

# 俯卧位通气在急性呼吸窘迫综合征中的应用研究进展

潘 晗<sup>1</sup>, 李树民<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>佳木斯大学临床医学院, 黑龙江 佳木斯

<sup>2</sup>佳木斯大学第一附属医院呼吸与危重症科, 黑龙江 佳木斯

收稿日期: 2026年5月18日; 录用日期: 2026年6月12日; 发布日期: 2026年6月23日

## 摘 要

急性呼吸窘迫综合征(ARDS)是一种严重的急性低氧性呼吸衰竭,与较高的发病率和死亡率相关,据报道死亡率在30%至40%之间。俯卧位通气(PPV)是肺保护性通气策略的重要组成部分,已被证实能显著改善中重度ARDS患者的氧合并降低死亡率。越来越多的证据表明,PPV通过多种机制发挥有益的生理作用,包括改善通气/血流比值、增强背侧肺复张以及使跨肺压分布更加均匀,从而减少呼吸机相关性肺损伤。本文综述了目前对PPV生理机制的认识,并探讨了其临床适应症、实施策略、潜在并发症和护理管理注意事项。此外,本文还重点介绍了特定临床场景下的最新进展,包括在ARDS中使用正压通气(PPV)、在非插管患者中采用清醒俯卧位通气(APP)、延长俯卧位通气策略、在肥胖患者中的应用以及与体外膜肺氧合(ECMO)联合应用。更好地了解俯卧位通气的最佳时机、持续时间和患者选择,可能有助于进一步改善ARDS患者的预后。

## 关键词

急性呼吸窘迫综合征, 俯卧位通气, 机械通气, 肺保护性通气, 重症监护

# Research Progress on the Application of Prone Position Ventilation in Acute Respiratory Distress Syndrome

Han Pan<sup>1</sup>, Shumin Li<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Clinical Medical College of Jiamusi University, Jiamusi Heilongjiang

<sup>2</sup>Department of Respiratory and Critical Care Medicine, The First Affiliated Hospital of Jiamusi University, Jiamusi Heilongjiang

Received: May 18, 2026; accepted: June 12, 2026; published: June 23, 2026

\*通讯作者。

## Abstract

Acute respiratory distress syndrome (ARDS) is a severe form of acute hypoxemic respiratory failure associated with substantial morbidity and mortality, with reported mortality rates ranging from 30% to 40%. Prone position ventilation (PPV), an essential component of lung-protective ventilation strategies, has been shown to significantly improve oxygenation and reduce mortality in patients with moderate-to-severe ARDS. Accumulating evidence indicates that PPV exerts beneficial physiological effects through several mechanisms, including improved ventilation-perfusion matching, enhanced dorsal lung recruitment, and a more homogeneous distribution of transpulmonary pressure, thereby reducing ventilator-induced lung injury. This review summarizes the current understanding of the physiological mechanisms underlying PPV and discusses its clinical indications, implementation strategies, potential complications, and nursing management considerations. In addition, recent advances in specific clinical scenarios are highlighted, including the use of PPV in ARDS, the use of awake prone positioning (APP) in non-intubated patients, prolonged prone ventilation strategies, its application in obese patients, and its combination with extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). A better understanding of the optimal timing, duration, and patient selection for prone positioning may help further improve the prognosis of patients with ARDS.

## Keywords

Acute Respiratory Distress Syndrome, Prone Position Ventilation, Mechanical Ventilation, Lung-Protective Ventilation, Critical Care

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

急性呼吸窘迫综合征(ARDS)是一种由各种肺内和肺外损伤引起的急性弥漫性肺损伤,其特征是严重的低氧性呼吸衰竭和高死亡率[1]。机械通气仍然是 ARDS 患者支持治疗的基石。然而,不恰当的通气策略可能导致呼吸机相关性肺损伤(VILI)或患者自伤性肺损伤(P-SILI),从而加重肺损伤并使临床结局恶化[2][3]。

俯卧位通气(PPV)通过体位改变和重力效应改善肺通气和灌注分布,从而优化通气/灌注比(V/Q)并促进肺泡复张[4]。多项国际临床指南推荐 PPV 作为中重度 ARDS 患者的重要治疗策略[5]-[7]。因此,PPV 的生理机制和临床应用对于改善 ARDS 的预后至关重要。

本文综述了近年来 PPV 在 ARDS 治疗中的生理机制、临床适应症、实施策略及新兴应用方面的最新进展。

## 2. 俯卧位通气的机制

### 2.1. 改善通气均匀性

仰卧位时,重力以及心脏和纵隔的压迫会降低背侧肺区的通气量,而肺灌注量则相对保持稳定。这种失衡会导致 V/Q 比失调,并加剧 ARDS 患者的低氧血症[8]。相比之下,PPV 可重新分配胸腔内压力梯度,改善背侧肺区的通气。虽然腹侧肺区可能受到相对压迫,但这些区域的肺灌注减少,从而改善了整体 V/Q 比[9]。多项研究表明,PPV 可以减少肺内分流,并显著改善氧合指数( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ) [10]。

## 2.2. 促进肺泡复张和增加功能残气量

PPV 可降低胸腔后壁的胸膜压力, 减轻心脏和腹腔内容物对肺组织的压迫。这种压力重新分布使先前塌陷的背侧肺泡得以重新开放, 从而增加功能残气量[11]。

## 2.3. 降低肺损伤风险

PPV 能使肺组织内的应力和应变分布更加均匀。这种更加均匀的力学环境可以减少局部过度扩张, 并最大限度地减少因肺泡反复开放和塌陷造成的剪切损伤。因此, PPV 可能降低与呼吸机相关性肺损伤(VILI)或机械性肺损伤(P-SILI)相关的肺损伤风险[2] [12] [13]。先前的研究也表明, PPV 可以降低肺部压力, 并使肺内平台压分布更加均匀[14]。

## 2.4. 促进气道分泌物引流

ARDS 患者常表现为肺功能受损, 并伴有气道分泌物增多。这些分泌物可能阻塞气道, 增加气道阻力, 并提高肺部感染的风险。PPV 可改善膈肌运动, 促进气道分泌物的重力引流, 从而有助于降低肺不张和肺部感染的风险[15]。

# 3. 俯卧位通气实施要点

## 3.1. 适应症和禁忌症

根据现行临床指南[6], PPV 主要推荐用于以下情况:

适应症: 机械通气时间不足 48 小时的患者以及中重度 ARDS 患者, 定义为  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 150 \text{ mmHg}$  (呼气末正压通气  $\geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$  且吸入氧浓度  $\geq 0.6$ ), 尤其适用于重度 ARDS 患者( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 100 \text{ mmHg}$ )。

禁忌症: 骨骼结构不稳定、未缓解的颅内高压、严重血流动力学不稳定、活动性出血以及妊娠晚期。

## 3.2. 实施的时间和持续时间

早期干预对于改善患者预后至关重要。多项指南[4]-[6]研究表明, 在 ARDS 诊断后 36 小时内开始 PPV 可显著降低 28 天和 90 天死亡率。关于持续时间, 目前的建议是俯卧位每天至少应保持 12 小时, 最佳持续时间为 16~20 小时[16]。长时间俯卧位通气(PPPV)可减少体位调整次数, 降低手术相关并发症的风险, 并有助于维持稳定的肺泡复张[17]。

## 3.3. 操作规程和安全注意事项

在实施 PPV 前, 临床医生应评估患者的血流动力学稳定性, 确认气管插管的位置和深度, 并核实中心静脉导管和动脉导管的位置。应暂时停止肠内营养, 并吸出胃内容物。此外, 还应准备好支撑设备, 例如体位垫、额枕和减压敷料。

在体位调整过程中, 建议采用“信封法”, 即由四至五名医护人员协同操作, 在调整患者体位的同时, 确保头部、颈部和躯干同步移动, 以防止导管意外移位。应指定一名工作人员负责整个操作过程中的气道管理。

为进行体位管理, 应将头部转向一侧, 交替按压前额、颧骨和下颌。肩关节外展角度应保持在  $90^\circ$  以内, 肘关节屈曲, 前臂旋前。髋部和膝部下方应放置软垫, 脚趾悬空。为预防压疮, 应每 2 小时调整一次头部和四肢的位置[18]。

## 4. 并发症和护理管理

### 4.1. 常见并发症

PPV 相关的并发症可能包括以下几种[19]:

- 1) 皮肤损伤: 面部、胸部、髂区和膝盖可能发生压疮[20]。
- 2) 导管移位: 气管插管、中心静脉导管和引流管在重新定位过程中可能发生移位或扭曲。
- 3) 血流动力学波动: 腹压升高可能影响静脉回流, 导致血流动力学不稳定。
- 4) 眼部并发症: 长时间眼部受压可能导致角膜损伤和结膜水肿[21]。
- 5) 呕吐和误吸: 胃肠功能紊乱可能增加误吸的风险。
- 6) 神经损伤: 周围神经丛长期受压可能导致神经损伤。

### 4.2. 护理管理要点

标准化的护理流程对于安全实施正压通气至关重要[22]。

首先, 应进行全面的术前评估, 以评估手术适应症、禁忌症以及患者的皮肤状况[18]。

其次, 有效的团队合作至关重要。通常建议由 5~6 名医护人员参与导管移位过程, 以确保所有导管的安全[23]。

第三, 应提供适当的体位支撑。在头部、胸部、髂区和小腿下方放置软垫, 同时保持腹部自由活动, 以最大程度地减少腹部受压。

第四, 应采取皮肤保护措施。每 2~4 小时调整头部和四肢的位置, 并使用减压敷料保护骨性隆起部位。

第五, 需要密切监测生理指标。俯卧位后约 30 分钟应重新进行动脉血气分析, 4 小时后重复一次, 并在患者恢复仰卧位前再次进行评估。

最后, 应维持充足的营养支持。如果胃肠蠕动允许, 可以继续肠内营养; 但是, 应密切监测胃残余量, 以降低误吸的风险[24]。

## 5. 俯卧位通气的临床应用

### 5.1. 清醒俯卧位的应用

研究表明, APP 可以显著改善低氧性呼吸衰竭患者的氧合, 并可能减少气管插管的需求[25]。临床指南建议, 在实施俯卧位通气时, 患者应大约每四小时尝试一次俯卧位通气, 包括夜间也应如此。每次俯卧位通气应尽可能延长, 理想情况下至少 30 分钟。最终目标是在 24 小时内累计俯卧位通气时间达到约 16 小时。在此过程中, 应密切监测患者的耐受情况和临床恶化迹象, 以避免延误必要的插管[7]。

尽管大量研究指出 APP 能够改善氧合并降低部分患者的插管率, 但关于其是否能够稳定改善死亡率和长期预后的证据仍存在争议。APP 的获益主要集中于接受高流量鼻导管氧疗(HFNC)的中度低氧血症患者, 而在病情较轻或依从性较差的患者中, 其效果并不显著。不同研究之间在患者选择、俯卧位持续时间、氧疗方式以及终点事件定义方面存在较大异质性, 可能导致结果差异。部分研究者还担心 APP 可能掩盖病情恶化, 延迟必要的气管插管时机。因此, 未来仍需开展更高质量的分层研究, 以明确最适合 APP 的患者群体及最佳实施策略。

### 5.2. 长程俯卧位通气的应用

2013 年, PROSEVA 试验首次证明, 对重症 ARDS 患者早期实施每天超过 16 小时的正压通气可显著降低 28 天死亡率, 从 32.8%降至 16.0% [26]。基于不断积累的临床证据, 长程俯卧位通气(PPPV)的概

念被提出。PPV 是指 ARDS 患者的一种强化干预策略, 其中单次俯卧位通气持续时间  $\geq 24$  小时, 总治疗持续时间  $\geq 7$  天。该方法的主要目标是实现持续的重力依赖性肺复张, 从而改善难治性低氧血症并降低呼吸机相关性肺损伤的风险[27]。

有研究[17]还表明, 减少俯卧位 - 仰卧位翻身的频率可能降低导管移位或意外拔管的风险, 预防因夜间人手不足而导致的安全隐患, 并减少摩擦引起的皮肤损伤。但目前相关证据主要来源于观察性研究, 缺乏大规模随机对照试验支持。此外, 多项观察性研究[17][28]表明, 压疮的发生可能与俯卧位通气的累积持续时间比与单次俯卧位通气的持续时间更密切相关。不过不同中心在人力资源、护理水平及患者管理经验方面存在差异, 也可能影响 PPPV 的安全性与有效性。

### 5.3. 在肥胖患者中的应用

在患有 ARDS 的肥胖患者(体重指数  $> 30 \text{ kg/m}^2$ )中, 仰卧位时腹内压显著升高。这会导致膈肌向上移位、功能残气量减少和更严重的肺不张[29]。俯卧位可以有效减轻腹部对肺部的压迫, 从而改善肺力学和氧合[30]。然而, 肥胖患者应使用专用的俯卧位垫来支撑胸骨和骨盆, 以避免腹部压力过大, 此外还要加强皮肤护理措施[31]。

### 5.4. ECMO 联合俯卧位通气

对于合并难治性低氧血症的重症 ARDS 患者, ECMO 联合俯卧位通气可能提供额外的肺保护作用[32]。近年来, 在 ECMO 支持期间实施 PPV 的临床经验日益丰富, 静脉 - 静脉体外膜肺氧合(VV-ECMO)常被用作抢救疗法。但目前仍缺乏统一的操作标准与高质量循证证据。部分研究未能明确证明其对长期生存率的独立改善作用。此外, 在 ECMO 支持期间实施俯卧位操作复杂, 可能增加导管移位、血流动力学不稳定及护理负担等风险。因此, 该策略目前更适用于具备丰富经验的 ECMO 中心, 其真实获益仍需进一步验证[33]。

## 6. 未来展望

目前, PPV 的临床应用日趋成熟。然而, 为了真正优化 ARDS 患者的预后, 仍需在个体化医疗、影像引导通气策略和人工智能等关键领域进行进一步创新。个体化医疗、影像引导通气策略和人工智能等新兴技术的融合发展, 有望为未来实现更精准、更个体化的呼吸支持开辟新的途径。

### 6.1. 个体化俯卧位通气

虽然 PPV 被广泛推荐用于中重度 ARDS 患者, 但由于肺损伤的异质性, 个体对 PPV 的生理反应存在显著差异[34]。近期研究表明, 患者个体特征(例如肺复张、区域通气分布和呼吸力学)可能会影响俯卧位通气的有效性[35] [36]。因此, 个性化 PPV 的概念日益受到关注。它与统一的通气方式不同, 个性化策略能够根据每位患者的生理反应, 优化俯卧位通气的时机、持续时间和频率。

此外, 整合影像数据、驱动压力、跨肺压和机械功率等多维监测的精准通气策略正成为研究热点, 旨在实现通气管理的个体化控制[37] [38]。然而, 近期荟萃分析表明, 尽管个体化通气方法具有坚实的生理学基础, 但其相对于传统方法的临床优势尚未得到充分证实, 需要通过大规模临床试验进一步验证[37] [38]。

### 6.2. 电阻抗断层扫描引导通气

床旁成像技术, 例如电阻抗断层扫描(EIT), 已成为指导个体化通气策略的极具前景的工具[39]。EIT 技术能够对肺区域通气进行连续、无创监测, 并提供有关肺复张、肺过度充气和通气分布的实时信息[39]

[40]。这项功能使临床医生能够精确优化通气参数, 并评估 PPV 的生理效应[40]。

近期研究表明, EIT 指导的策略可以通过促进个体化调整呼气末正压(PEEP)和优化通气分布, 改善呼吸力学和氧合[37]。此外, 随机对照试验表明, EIT 指导下的管理能够改善氧合, 提高患者舒适度, 并延长俯卧位耐受时间[41]。

凭借其在床旁可视化区域肺功能的独特优势, EIT 有望成为精准呼吸监测的核心技术, 尤其是在指导 PPV 和评估 ARDS 治疗反应方面[40] [41]。

### 6.3. 人工智能辅助通气管理

人工智能和机器学习在重症监护医学中的应用日益广泛, 逐渐成为辅助机械通气决策的重要工具[42] [43]。人工智能算法可以通过分析大量的生理参数和呼吸机数据, 预测疾病进展、优化通气参数设置, 并及时识别呼吸机相关性肺损伤的早期迹象[38] [42] [43]。

近期计算研究表明, 机器学习模型和基于物理的模拟能够准确预测患者个体化的肺力学和区域通气模式, 为个体化呼吸机管理提供了重要的理论基础[38] [44]。人工智能驱动的系统也被提出, 它被用于根据实时生理反馈自动优化通气策略, 从而在改善氧合的同时, 降低肺损伤的风险[43]。

尽管这些技术大多仍处于实验阶段, 但人工智能与先进监测模型的结合有望改变 ARDS 的通气管理, 实现数据驱动的自适应呼吸支持[38] [42]-[44]。

### 6.4. 精准的 ARDS 表型

ARDS 的异质性日益受到重视, 其多样化的生物学特征和临床表现表明, 它并非单一疾病实体[45]。识别特定的 ARDS 亚表型可能有助于解释对 PPV 等治疗反应的差异[45] [46]。近期研究提出了基于表型的分类系统——例如高炎症表型与低炎症表型, 或局灶性与非局灶性肺部形态——这些分类系统可能会影响治疗反应和预后[45] [46]。

研究表明, 根据肺形态或炎症特征进行匹配的表型指导通气策略(包括个体化的呼气末正压通气和正压通气)可以改善临床结局[46]。未来整合生物标志物、影像学和机器学习方法的研究有望实现更准确的 ARDS 表型分类, 并促进个体化治疗策略的制定[47] [48]。

## 7. 结论

PPV 已成为中重度 ARDS 患者肺保护性通气策略的重要组成部分, 其在改善氧合、促进肺泡复张及降低呼吸机相关性肺损伤方面具有明确价值。然而, 随着研究不断深入, 当前领域仍存在若干尚未解决的关键科学问题与临床挑战。

ARDS 具有高度异质性, 不同患者对 PPV 的反应差异显著, 目前尚缺乏可靠的生物标志物或影像学指标用于精准筛选最可能获益的人群。PPV 的最佳启动时机、持续时间及终止标准尚未统一, 尤其是在清醒俯卧位与长程俯卧位策略中, 不同研究结果之间仍存在明显争议。PPV 与 ECMO、高流量氧疗及个体化 PEEP 滴定等联合策略的最佳整合模式仍需进一步探索。最后, 如何利用 EIT、人工智能及机器学习等新兴技术实现 ARDS 精准表型识别和动态通气管理, 也是未来的重要研究方向。

基于上述问题, 未来研究可围绕以下路线图展开: 通过多中心前瞻性研究建立 ARDS 精准表型数据库, 明确不同表型患者对 PPV 的反应特征; 结合 EIT、肺超声及跨肺压监测等床旁技术, 构建动态个体化 PPV 管理体系; 推动人工智能辅助决策模型在机械通气中的临床转化, 实现实时风险评估与参数优化; 最后, 应开展高质量随机对照试验, 系统评估 APP、PPPV 及 ECMO 联合 PPV 等新兴策略对长期生存率及生活质量的影响。

PPV 未来的发展方向将不仅局限于传统体位治疗, 而是逐步向精准化、智能化和个体化呼吸支持模

式转变。通过基础研究、临床试验及多学科协作的持续推进,有望进一步提升 ARDS 患者的治疗效果与长期预后。

## 参考文献

- [1] Matthay, M.A., Arabi, Y., Arroliga, A.C., Bernard, G., Bersten, A.D., Brochard, L.J., *et al.* (2024) A New Global Definition of Acute Respiratory Distress Syndrome. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **209**, 37-47. <https://doi.org/10.1164/rccm.202303-0558ws>
- [2] Brochard, L., Slutsky, A. and Pesenti, A. (2017) Mechanical Ventilation to Minimize Progression of Lung Injury in Acute Respiratory Failure. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **195**, 438-442. <https://doi.org/10.1164/rccm.201605-1081cp>
- [3] Merola, R., Rocco, P.R.M. and Battaglini, D. (2026) Patient Self-Inflicted Lung Injury in ARDS: From Physiological Concept to Clinical Syndrome. *Journal of Clinical Medicine*, **15**, Article 1412. <https://doi.org/10.3390/jcm15041412>
- [4] Liao, X., Meng, L. and Zeng, Z. (2024) Prone Position Ventilation for the Relief of Acute Respiratory Distress Syndrome through Improved Pulmonary Ventilation: Efficacy and Safety. *Nursing in Critical Care*, **29**, 255-273. <https://doi.org/10.1111/nicc.12948>
- [5] Grasselli, G., Calfee, C.S., Camporota, L., Poole, D., Amato, M.B.P., Antonelli, M., *et al.* (2023) ESICM Guidelines on Acute Respiratory Distress Syndrome: Definition, Phenotyping and Respiratory Support Strategies. *Intensive Care Medicine*, **49**, 727-759. <https://doi.org/10.1007/s00134-023-07050-7>
- [6] Qadir, N., Sahetya, S., Munshi, L., Summers, C., Abrams, D., Beitler, J., *et al.* (2024) An Update on Management of Adult Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome: An Official American Thoracic Society Clinical Practice Guideline. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **209**, 24-36. <https://doi.org/10.1164/rccm.202311-2011st>
- [7] Fan, E., Del Sorbo, L., Goligher, E.C., Hodgson, C.L., Munshi, L., Walkey, A.J., *et al.* (2017) An Official American Thoracic Society/European Society of Intensive Care Medicine/Society of Critical Care Medicine Clinical Practice Guideline: Mechanical Ventilation in Adult Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **195**, 1253-1263. <https://doi.org/10.1164/rccm.201703-0548st>
- [8] Wu, Y., Wang, A., Peng, C., Ouyang, Y., Su, J., Yang, X., *et al.* (2025) Predicting Early Prone Position Ventilation Responsiveness in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome Based on Electrical Impedance Tomography: A Prospective Study. *Critical Care*, **30**, Article No. 21. <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05778-w>
- [9] Wang, Y., Song, J., Lin, S., Zheng, X., Zhao, Z. and Zhong, M. (2025) Influence of Prone Position on Regional Ventilation/Perfusion Matching in Patients with ARDS over Time. *Respiratory Care*, **70**, 821-829. <https://doi.org/10.1089/respcare.12247>
- [10] Kallet, R.H. (2015) A Comprehensive Review of Prone Position in ARDS. *Respiratory Care*, **60**, 1660-1687. <https://doi.org/10.4187/respcare.04271>
- [11] Marklin, G.F., O'Sullivan, C. and Dhar, R. (2021) Ventilation in the Prone Position Improves Oxygenation and Results in More Lungs Being Transplanted from Organ Donors with Hypoxemia and Atelectasis. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, **40**, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2020.11.014>
- [12] Gorman, E.A., O'Kane, C.M. and McAuley, D.F. (2022) Acute Respiratory Distress Syndrome in Adults: Diagnosis, Outcomes, Long-Term Sequelae, and Management. *The Lancet*, **400**, 1157-1170. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(22\)01439-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)01439-8)
- [13] Beitler, J.R., Guérin, C., Ayzac, L., Mancebo, J., Bates, D.M., Malhotra, A., *et al.* (2015) PEEP Titration during Prone Positioning for Acute Respiratory Distress Syndrome. *Critical Care*, **19**, Article No. 436. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-1153-9>
- [14] Guerin, C., Baboi, L. and Richard, J.C. (2014) Mechanisms of the Effects of Prone Positioning in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Intensive Care Medicine*, **40**, 1634-1642. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3500-8>
- [15] Pelosi, P., Brazzi, L. and Gattinoni, L. (2002) Prone Position in Acute Respiratory Distress Syndrome. *European Respiratory Journal*, **20**, 1017-1028. <https://doi.org/10.1183/09031936.02.00401702>
- [16] Albert, R.K. (2020) Prone Ventilation for Patients with Mild or Moderate Acute Respiratory Distress Syndrome. *Annals of the American Thoracic Society*, **17**, 24-29. <https://doi.org/10.1513/annalsats.201906-456ip>
- [17] Jung, C., Gillmann, H. and Stueber, T. (2025) Effectiveness and Safety of Prolonged Prone Positioning in Adult Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS): A Systematic Review and Meta-Analysis. *Critical Care*, **29**, Article No. 475. <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05712-0>
- [18] Bruni, A., Garofalo, E. and Longhini, F. (2021) Avoiding Complications during Prone Position Ventilation. *Intensive and Critical Care Nursing*, **66**, Article ID: 103064. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2021.103064>

- [19] Elmer, N., Reißhauer, A., Brehm, K., Vockeroth, C. and Liebl, M.E. (2023) Long-Term Complications of Prone Position Ventilation with Relevance for Acute and Postacute Rehabilitation: A Systematic Review of the Literature. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, **59**, 111-121. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.22.07529-3>
- [20] Girard, R., Baboi, L., Ayzac, L., Richard, J. and Guérin, C. (2014) The Impact of Patient Positioning on Pressure Ulcers in Patients with Severe ARDS: Results from a Multicentre Randomised Controlled Trial on Prone Positioning. *Intensive Care Medicine*, **40**, 397-403. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-3188-1>
- [21] Sanghi, P., Malik, M., Hossain, I.T. and Manzouri, B. (2021) Ocular Complications in the Prone Position in the Critical Care Setting: The COVID-19 Pandemic. *Journal of Intensive Care Medicine*, **36**, 361-372. <https://doi.org/10.1177/0885066620959031>
- [22] Alshahrani, B., Sim, J. and Middleton, R. (2021) Nursing Interventions for Pressure Injury Prevention among Critically Ill Patients: A Systematic Review. *Journal of Clinical Nursing*, **30**, 2151-2168. <https://doi.org/10.1111/jocn.15709>
- [23] Lucchini, A., Bambi, S., Mattiussi, E., Elli, S., Villa, L., Bondi, H., et al. (2020) Prone Position in Acute Respiratory Distress Syndrome Patients: Retrospective Analysis of Complications. *Dimensions of Critical Care Nursing*, **39**, 39-46. <https://doi.org/10.1097/dcc.0000000000000393>
- [24] Bruni, A., Garofalo, E., Grande, L., Auletta, G., Cubello, D., Greco, M., et al. (2020) Nursing Issues in Enteral Nutrition during Prone Position in Critically Ill Patients: A Systematic Review of the Literature. *Intensive and Critical Care Nursing*, **60**, Article ID: 102899. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2020.102899>
- [25] Ding, L., Wang, L., Ma, W. and He, H. (2020) Efficacy and Safety of Early Prone Positioning Combined with HFNC or NIV in Moderate to Severe ARDS: A Multi-Center Prospective Cohort Study. *Critical Care*, **24**, Article No. 28. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-2738-5>
- [26] Guérin, C., Reignier, J., Richard, J., Beuret, P., Gacouin, A., Boulain, T., et al. (2013) Prone Positioning in Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. *New England Journal of Medicine*, **368**, 2159-2168. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1214103>
- [27] Walter, T. and Ricard, J. (2023) Extended Prone Positioning for Intubated ARDS: A Review. *Critical Care*, **27**, Article No. 264. <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04526-2>
- [28] Felder-Minder, S., Morgen-Ludwig, A., Amrein, M., Emsden, C., Tuchscherer, D.T., Wesch, C., et al. (2026) Incidence of Pressure Ulcers in ICU Patients with ARDS Positioned in the Prone Position: A Retrospective Single-Centre Cohort Study. *Journal of Tissue Viability*, **35**, Article ID: 101012. <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2026.101012>
- [29] De Jong, A., Verzilli, D. and Jaber, S. (2019) ARDS in Obese Patients: Specificities and Management. *Critical Care*, **23**, Article No. 74. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2374-0>
- [30] Ashra, F., Chen, R., Kang, X.L., Chiang, K., Pien, L., Jen, H., et al. (2022) Effectiveness of Prone Position in Acute Respiratory Distress Syndrome and Moderating Factors of Obesity Class and Treatment Durations for COVID-19 Patients: A Meta-Analysis. *Intensive and Critical Care Nursing*, **72**, Article ID: 103257. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2022.103257>
- [31] Amato, S., Napolitano, D., Lo Cascio, A., Conoscenti, E., Lappa, A., D'avino, E., et al. (2026) Evidence on Measures for the Prevention of Pressure Injuries in Mechanically Ventilated Patients in Prone Positioning: A Systematic Review. *Healthcare*, **14**, Article 443. <https://doi.org/10.3390/healthcare14040443>
- [32] Sud, S., Fan, E., Adhikari, N.K.J., Friedrich, J.O., Ferguson, N.D., Combes, A., et al. (2024) Comparison of Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation, Prone Position and Supine Mechanical Ventilation for Severely Hypoxemic Acute Respiratory Distress Syndrome: A Network Meta-Analysis. *Intensive Care Medicine*, **50**, 1021-1034. <https://doi.org/10.1007/s00134-024-07492-7>
- [33] Papazian, L., Schmidt, M., Hajage, D., Combes, A., Petit, M., Lebreton, G., et al. (2022) Effect of Prone Positioning on Survival in Adult Patients Receiving Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation for Acute Respiratory Distress Syndrome: A Systematic Review and Meta-analysis. *Intensive Care Medicine*, **48**, 270-280. <https://doi.org/10.1007/s00134-021-06604-x>
- [34] Al-Husinat, L., Azzam, S., Al Sharie, S., Araydah, M., Battaglini, D., Abushehab, S., et al. (2025) A Narrative Review on the Future of ARDS: Evolving Definitions, Pathophysiology, and Tailored Management. *Critical Care*, **29**, Article No. 88. <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05291-0>
- [35] Wang, R., Wang, W., Tang, X., Qi, Z., Li, T., Liu, Y., et al. (2025) Association between Ventilation-Perfusion Matching Improvement during Initial Prone Positioning and ICU Mortality in Patients with Moderate to Severe ARDS: A Prospective Two-Center Study. *Annals of Intensive Care*, **15**, 69. <https://doi.org/10.1186/s13613-025-01489-1>
- [36] Wu, Y., Liufu, R., Wang, Y., Chen, Y., Li, S., Dong, R., et al. (2025) Association between Mechanical Power during Prone Positioning and Mortality in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. *Critical Care Medicine*, **53**, e2144-e2155. <https://doi.org/10.1097/ccm.00000000000006811>

- [37] Songsangvorn, N., Xu, Y., Lu, C., Rotstein, O., Brochard, L., Slutsky, A.S., *et al.* (2024) Electrical Impedance Tomography-Guided Positive End-Expiratory Pressure Titration in ARDS: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Intensive Care Medicine*, **50**, 617-631. <https://doi.org/10.1007/s00134-024-07362-2>
- [38] Rixner, M., Ludwig, M., Lindner, M., Frerichs, I., Sablewski, A., Wichmann, K., *et al.* (2025) Patient-Specific Prediction of Regional Lung Mechanics in Patients with ARDS with Physics-Based Models: A Validation Study. *Journal of Applied Physiology*, **139**, 1029-1049. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00313.2025>
- [39] Frerichs, I., Amato, M.B.P., van Kaam, A.H., Tingay, D.G., Zhao, Z., Grychtol, B., *et al.* (2017) Chest Electrical Impedance Tomography Examination, Data Analysis, Terminology, Clinical Use and Recommendations: Consensus Statement of the Translational EIT Development Study Group. *Thorax*, **72**, 83-93. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-208357>
- [40] Jimenez, J.V., Weirauch, A.J., Culter, C.A., Choi, P.J. and Hyzy, R.C. (2022) Electrical Impedance Tomography in Acute Respiratory Distress Syndrome Management. *Critical Care Medicine*, **50**, 1210-1223. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000005582>
- [41] Wang, X., Li, M., Liu, Y., Yu, W., Li, Y. and Huang, L. (2025) EIT-Guided Chest Physiotherapy for Airway Clearance during Awake Prone Ventilation in ARDS: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Thoracic Disease*, **17**, 11186-11199. <https://doi.org/10.21037/jtd-2025-1473>
- [42] Topol, E.J. (2019) High-Performance Medicine: The Convergence of Human and Artificial Intelligence. *Nature Medicine*, **25**, 44-56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
- [43] Al-Anazi, S., Al-Omari, A., Alanazi, S., Marar, A., Asad, M., Alawaji, F., *et al.* (2024) Artificial Intelligence in Respiratory Care: Current Scenario and Future Perspective. *Annals of Thoracic Medicine*, **19**, 117-130. [https://doi.org/10.4103/atm.atm\\_192\\_23](https://doi.org/10.4103/atm.atm_192_23)
- [44] Li, S., Yue, R., Lu, S., Luo, J., Wu, X., Zhang, Z., *et al.* (2025) Artificial Intelligence and Machine Learning in Acute Respiratory Distress Syndrome Management: Recent Advances. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1597556. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1597556>
- [45] Bos, L.D.J. and Ware, L.B. (2022) Acute Respiratory Distress Syndrome: Causes, Pathophysiology, and Phenotypes. *The Lancet*, **400**, 1145-1156. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(22\)01485-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)01485-4)
- [46] Famous, K.R., Delucchi, K., Ware, L.B., Kangelaris, K.N., Liu, K.D., Thompson, B.T., *et al.* (2017) Acute Respiratory Distress Syndrome Subphenotypes Respond Differently to Randomized Fluid Management Strategy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **195**, 331-338. <https://doi.org/10.1164/rccm.201603-0645oc>
- [47] Sinha, P., Delucchi, K.L., McAuley, D.F., O’Kane, C.M., Matthay, M.A. and Calfee, C.S. (2020) Development and Validation of Parsimonious Algorithms to Classify Acute Respiratory Distress Syndrome Phenotypes: A Secondary Analysis of Randomised Controlled Trials. *The Lancet Respiratory Medicine*, **8**, 247-257. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(19\)30369-8](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(19)30369-8)
- [48] Gordon, A.C., Alipanah-Lechner, N., Bos, L.D., Dianti, J., Diaz, J.V., Finfer, S., *et al.* (2024) From ICU Syndromes to ICU Subphenotypes: Consensus Report and Recommendations for Developing Precision Medicine in the ICU. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **210**, 155-166. <https://doi.org/10.1164/rccm.202311-2086so>