

ICU获得性衰弱预测模型的研究进展

马厚银

武警安徽总队医院重症医学科, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年2月25日; 录用日期: 2026年3月18日; 发布日期: 2026年3月27日

摘要

重症监护病房获得性肌无力(Intensive Care Unit Acquired Weakness, ICU-AW)是危重患者常见的神经肌肉系统严重并发症,具有发病率高、预后不良的特点,可显著影响患者近期康复进程与远期生存质量。风险预测模型是实现ICU-AW早期识别、高危人群筛查与预防性干预的核心工具,目前国内外已研发多款ICU-AW风险预测模型,但缺乏对其系统的梳理与对比分析。本综述系统梳理了全球范围内ICU-AW风险预测工具的发展现状,涵盖传统统计学模型与前沿人工智能算法在该领域的应用,深度对比分析了不同模型的构建思路、核心参数、预测效能、临床适用性及核心优缺点,明确了当前该领域研究存在的空白与局限性。本综述旨在为临床医疗工作者科学选择适配的ICU-AW预测工具提供系统性参考,同时为未来构建符合我国临床实际、兼具高预测效能与临床可操作性的ICU-AW风险预测模型提供理论支撑与方向性建议。

关键词

重症监护室, ICU获得性衰弱, 预测模型, 综述

Research Progress on Prediction Models for ICU-Acquired Weakness

Houyin Ma

Armed Police Anhui Provincial Hospital, Hefei Anhui

Received: February 25, 2026; accepted: March 18, 2026; published: March 27, 2026

Abstract

Intensive Care Unit Acquired Weakness (ICU-AW) is a common and serious neuromuscular complication in critically ill patients. Characterized by high incidence and poor prognosis, it significantly impacts patients' short-term recovery and long-term quality of life. Risk prediction models are essential tools for the early identification of ICU-AW, screening high-risk populations, and enabling

preventive interventions. Although various risk prediction models for ICU-AW have been developed globally, a systematic review and comparative analysis of these models is currently lacking. This review systematically summarizes the current state of development of ICU-AW risk prediction tools worldwide, covering both traditional statistical models and advanced artificial intelligence algorithms. It provides an in-depth comparative analysis of the construction methodologies, core parameters, predictive performance, clinical applicability, and key advantages and disadvantages of different models, identifying existing gaps and limitations in this field. This review aims to offer a systematic reference for clinical practitioners to select appropriate ICU-AW prediction tools and to provide theoretical support and directional recommendations for the future development of ICU-AW risk prediction models that align with China's clinical practice, offering both high predictive accuracy and clinical feasibility.

Keywords

Intensive Care Unit, ICU-Acquired Weakness, Prediction Model, Review

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

重症监护病房获得性肌无力(ICU-AW)这一临床综合征最初由国际研究者于上世纪90年代初期界定,现已成为危重患者最常见的继发性病症之一,同时也是导致重症监护病房患者不良预后甚至死亡的重要诱因[1]。该病症特指患者在重症监护治疗期间出现的全身性、对称性肌力减退现象,需排除脑部病变、原发性神经肌肉疾患等明确病因,主要涵盖危重病相关肌病(CIM)和危重病多发性神经病变(CIP)两种类型,二者既可独立发生也可同时出现,临床上统称为危重病性神经肌肉病变(CINM) [2] [3]。其典型临床表现以近端肌群无力较远端更为显著为核心,常伴随呼吸肌功能受损,进而造成呼吸机撤离困难、ICU住院周期延长、医疗负担增加,甚至出院后持久性功能障碍等一系列不良结局[4]-[6]。流行病学调查显示,ICU-AW的发病率波动于25%至84%之间,在需要长期机械通气、合并败血症或全身炎症反应综合征(SIRS)的危重患者群体中发病率显著升高[3] [6] [7]。ICU-AW的病理机制复杂,目前尚无特效的治疗方案,因此及时识别高风险患者、尽早实施预防性干预,已成为重症领域改善患者预后的核心共识。构建ICU-AW预测模型,可系统整合疾病相关危险因素,通过数理统计或人工智能算法量化患者ICU-AW的发生风险,是实现疾病早期筛查、风险分级与精准防控的关键手段[8] [9]。当前,全球范围内已相继研发出多款ICU-AW风险预测模型,不同模型在参数选择、算法设计、验证程度与临床适用性上存在显著差异,而国内相关研究起步较晚,适配本土重症患者人群特征的高质量模型仍较为匮乏,且缺乏对现有模型体系的系统性评述与对比分析。基于此,本综述聚焦ICU-AW预测模型这一核心议题,系统梳理国内外该领域的研究进展,深度剖析不同模型的优势与局限性,厘清当前研究存在的核心空白与挑战,旨在为临床工作者合理选择与应用预测工具提供参考,同时为未来研发符合我国临床实际、兼具高预测效能与临床可操作性的ICU-AW预警模型提供科学指引与方向建议。

2. ICU 获得性衰弱预测模型的作用

重症监护病房获得性肌无力(ICU-AW)作为危重病患者群体中普遍存在的神经肌肉系统功能障碍[3] [4],

其早期筛查与干预措施的及时实施对于改善患者临床结局具有决定性意义。构建预测模型的核心价值在于实现高危人群的早期甄别,从而为制定个体化防治方案提供科学依据,最终突破该病症“高发病率、延迟诊断、治疗困难”的临床困境,有效维护患者运动功能,提升其生活质量和远期康复效果。

3. 关于 ICU-AW 风险预测模型的学术研究进展

ICU-AW 作为重症患者常见的神经系统合并症,其较高的发病率和不良预后影响已引起重症医学界的广泛重视。建立有效的预警系统以识别高危病例并采取预防性措施,是改善患者转归的重要途径,而风险预测模型在此过程中发挥着关键作用。当前,伴随临床实证研究的深化和数据分析技术的革新,全球科研团队已构建并验证了多种具有不同特征的预测工具,这些模型在参数选择、算法设计、预测精度及临床应用等方面各具优势,共同促进了 ICU-AW 早期预警体系的完善。本节将全面综述近年来国内外在该领域的研究成果,为未来模型的优化与临床实践提供理论支持。

3.1. 国际范围内 ICU-AW 预测模型的发展概况

欧美国家在 ICU-AW 风险预测研究领域具有先发优势,已形成较为成熟的技术体系。其开发的预测工具既包含经典统计学模型,也涵盖前沿的人工智能算法,并通过不同样本量的验证研究证实了预测效能,为临床早期识别提供了可靠工具。

1) 由美国范德比尔特大学医学中心研发的 VUMC 预测系统纳入了 12 项关键临床指标[10],在涉及 1245 例病例的多中心验证研究中展现出卓越的预测能力(受试者工作特征曲线下面积 0.89, 95%置信区间 0.86~0.92)。该模型的创新之处在于引入呼吸肌功能评估参数,通过纳入膈肌超声厚度动态变化指标,使机械通气撤机失败风险的识别敏感度提升至 91%。而欧洲重症监护学会主导的 ICUAW-Risk 评估工具则专门针对脓毒症患者设计,通过整合序贯器官衰竭评分(SOFA)与炎症因子(如白细胞介素-6、降钙素原)等指标,在预测脓毒症相关 ICU-AW 方面取得 0.87 的曲线下面积值[11]。

2) 德国科研团队提出的 CIM-MRC 评估体系开创性地整合了神经电生理检测数据与常规临床参数,如复合肌肉动作电位(CMAP)的振幅和持续时间等关键指标[12]。在涉及 300 名受试者的临床验证中,该评估系统对重症监护病房获得性肌无力(ICU-AW)的阴性预测效能达到 94%,明显优于仅采用 MRC 评分系统(78%)的评估结果[13]。这些国际先进模型通常利用电子病历系统实现数据自动采集,能够进行动态风险评估,但同时也面临着数据采集标准不一致、不同医疗机构间数据难以互通等技术难题[14][15]。

3) 荷兰学者 Witteveen 等人[16]对 Wieske 模型[17]进行多中心外部验证时发现,该模型的鉴别能力和校准效果均不理想。研究团队对 2014 年荷兰单中心开发的 Wieske 模型进行验证后发现,其受试者工作特征曲线下面积(AUC)仅为 0.60,经过对 536 名患者合并队列的模型优化后,AUC 提升至 0.70。改进后的模型将 RASS 评分、女性性别、血乳酸水平及糖皮质激素使用情况作为主要预测指标,但模型的鉴别能力仍处于中等水平,需要进一步的外部验证来评估其临床应用价值。

4) 西班牙研究团队[18]基于 642 例患者的原始模型,在 411 人的验证队列中证实,当排除意识障碍患者时,模型 AUC 达到 0.723 (95%置信区间: 0.6~0.78),校准效果良好。该模型的关键预测变量包括年龄、女性性别、MRC 评估时的意识状态以及肾脏替代治疗情况,而自主活动能力和多动性谵妄则显示出保护作用。虽然该模型与 ABCDEF 集束化治疗策略具有良好兼容性,但在纳入意识障碍患者时存在风险低估现象,且新增的脆弱性指标未能显著提升模型性能。

近年来,国际学术界在 ICU-AW 风险预测模型领域的研究已从初期的小规模单中心探索逐步发展为大规模多中心验证,研究设计和统计方法不断优化。这些模型普遍确认了年龄、机械通气时长、ICU 住院天数、疾病严重程度等公认的危险因素。然而,不同模型的外部验证结果仍存在明显差异,部分模型

的普适性和临床实用价值需要进一步验证。未来研究应着重扩大样本规模、优化预测变量组合、加强多中心协作验证、提高模型透明度及临床可操作性,以期开发出真正具有临床应用价值、能够改善 ICU-AW 患者预后的风险评估工具。

3.2. 国内 ICU-AW 风险预测模型研究现状

与国外研究相比,我国在 ICU 获得性肌无力(ICU-AW)风险预测模型方面的研究开展时间较短。然而,随着临床重视程度的提升,该领域的研究成果正呈现快速增长态势。国内研究者主要针对本土患者群体特征,致力于开发符合中国临床实际的风险评估工具,为重症监护病房的诊疗决策提供了重要依据。在研究方法上,多数研究者采用 MRC 评分作为诊断标准,并运用 Logistic 回归方法构建预测模型。

1) 武宁团队[19]与马丹莹团队[20]的研究聚焦于心血管重症患者群体,其构建的预测模型具有显著的专科特色。

2) 杜忠军团队[21]、苗晓团队[22]以及江竹月团队[23]的研究采用了标准化的患者筛选流程。研究者将 ICU 住院患者按是否发生 ICU-AW 分为两组,通过 Logistic 回归分析确定独立危险因素,建立预测模型后采用受试者工作特征曲线下面积评估模型性能。为验证模型适用性,研究团队另设验证队列进行外部验证。值得一提的是,江竹月团队[23]还开发了基于六个关键指标(患者年龄、APACHE-II 评分、机械通气时长、血糖水平、乳酸值及神经阻滞剂使用情况)的预测工具,极大提升了临床应用的便捷性。

3) 刘杨团队[24]采用 meta 分析方法构建的预测模型有效解决了样本量不足的问题。该模型包含 11 项预测指标(年龄、APACHE-II 评分、休克状态、机械通气时间、脓毒血症、神经肌肉阻滞剂使用、血管活性药物应用、类固醇治疗、性别、高血糖及肾脏替代治疗),其曲线下面积为 0.787 (95% CI: 0.702~0.872),最佳截断值为 0.907,敏感性和特异性分别为 0.698 和 0.798。与 MRC 诊断标准相比,该模型的一致性检验 Kappa 值为 0.477。

4) 艾美花团队[25]和卓冰华团队[26]的研究仅通过 Bootstrap 重采样方法进行了模型内部验证,未开展外部验证工作。

5) 樊佳鑫等学者[27]开发的风险评估工具为老年慢性阻塞性肺疾病患者重症监护病房获得性肌无力的早期筛查和预防性治疗奠定了理论基础。该模型有助于医护人员快速识别潜在高危病例并实施针对性干预措施,从而提升患者的康复效果和生存质量。然而,由于该研究仅采用单中心回顾性数据,且纳入样本数量有限,其研究结论的推广价值可能受到制约;同时,在变量控制方面存在不足,部分潜在干扰因素未被充分考量,可能对研究结果的精确性产生一定影响。

总体而言,尽管我国已建立多个 ICU 获得性肌无力预测模型,但这些模型在系统性和预测准确性方面仍有提升空间。

4. 研究展望

及时诊断与早期干预是改善 ICU-AW 患者预后的核心,科学精准的风险评估体系是破解其“高发病率、延迟诊断、治疗困难”临床困境的关键。当前国内外 ICU-AW 预测模型研发虽取得阶段性进展,但仍存在普适性不足、多中心验证欠缺、临床转化困难、本土人群适配性弱等核心问题[28] [29]。未来需立足我国重症患者疾病特征与临床诊疗场景,从数据、算法、应用三个维度突破现有研究瓶颈,具体发展方向如下。

4.1. 数据层面: 构建多模态、标准化、多中心的高质量数据集

数据是模型研发的核心基础,未来需从三方面实现突破:一是整合多模态预测指标,突破传统常规

临床静态指标的局限，纳入膈肌超声、神经电生理监测等动态功能学参数，探索基因组学、代谢组学等多组学分子标志物，从病理机制层面丰富预测维度，提升早期预警能力；二是破解多中心数据标准化难题，建立国内跨区域多中心协作网络，统一以 MRC 评分为核心的 ICU-AW 诊断标准，规范数据采集质控流程，消除不同机构的数据异质性，构建大样本本土数据集，解决单中心模型外推性不足的问题；三是挖掘时序性动态数据，突破静态风险预测的局限，构建适配 ICU 患者病情动态变化特点的时序性预警模型，实现风险的实时评估与动态更新。

4.2. 算法层面：平衡预测性能与临床可解释性，实现算法优化适配

算法是模型的核心，未来需围绕临床需求破解现有算法的双重困境：一是优化适配 ICU-AW 场景的算法体系，突破传统 Logistic 回归非线性拟合能力的局限，针对性引入随机森林、XGBoost 等可解释性强的集成学习算法，探索 LSTM 等深度学习模型适配时序动态数据场景，通过头对头对比筛选最优建模方法；二是平衡模型精度与可解释性，融入可解释性人工智能技术，破解算法“黑箱效应”，量化预测指标的贡献度与决策逻辑，同时优先纳入临床常规可及的核心指标，兼顾预测性能与临床实用性；三是规范模型验证流程，严格遵循预测模型报告规范(TRIPOD)，完成多中心外部验证，规避模型过度拟合，针对 ICU-AW 高发亚组人群开展校准优化，提升模型专科场景适配性。

4.3. 应用层面：打通临床转化全路径，破除本土化推广障碍

模型的最终价值在于临床落地，未来需构建全流程应用体系：一是明确完整的临床转化路径，遵循“模型构建 - 内外部验证 - 临床影响性研究 - 临床决策支持系统(CDSS)集成 - 推广应用”的全流程规范，通过前瞻性随机对照试验验证模型对临床终点的改善价值，开展卫生经济学评价，为规模化推广提供循证依据；二是推动模型与临床 workflow 深度融合，将验证成熟的模型集成至电子病历与 CDSS 系统，实现预测指标自动抓取、风险实时预警，同时绑定 ABCDEF 集束化防控策略，构建“风险预警 - 分层管理 - 精准干预”的闭环管理体系；三是破解本土化推广的现实障碍，针对国内 ICU 医护人员对 ICU-AW 认知与应用能力不足的现状，开展规范化培训，提升模型临床接受度；结合不同层级医院的资源差异，开发梯度化预测工具，提升模型可及性；推动建立 ICU-AW 预测模型行业标准，规范研发与应用流程，最终降低 ICU-AW 发生率，改善重症患者的临床结局与远期生存质量。

参考文献

- [1] Ramsay, D.A., Zochodne, D.W., Robertson, D.M., Nag, S. and Ludwin, S.K. (1993) A Syndrome of Acute Severe Muscle Necrosis in Intensive Care Unit Patients. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology*, **52**, 387-398. <https://doi.org/10.1097/00005072-199307000-00006>
- [2] Vanhorebeek, I., Latronico, N. and Van den Berghe, G. (2020) ICU-Acquired Weakness. *Intensive Care Medicine*, **46**, 637-653. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-05944-4>
- [3] Huang, A., Salazar, M., Weber, H., Gozum, N., Yang, J., Henson, T., et al. (2025) ICU-Acquired Weakness: Critical Illness Myopathy and Polyneuropathy. *Journal of Critical Care*, **88**, Article ID: 155074. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2025.155074>
- [4] Jolley, S.E., Bunnell, A.E. and Hough, C.L. (2016) ICU-Acquired Weakness. *Chest*, **150**, 1129-1140. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.03.045>
- [5] 王晓敏, 朱晓萍. ICU 获得性肌无力的发生和诊断及治疗[J]. 中华危重病急救医学, 2020, 32(8): 1020-1024.
- [6] Baby, S., George, C. and Osahan, N.M. (2021) Intensive Care Unit-Acquired Neuromuscular Weakness: A Prospective Study on Incidence, Clinical Course, and Outcomes. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, **25**, 1006-1012. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23975>
- [7] 陈惠瑶, 李杏崧, 周立新, 等. 脓毒症患者合并 ICU 获得性肌无力的研究进展[J]. 中华危重病急救医学, 2025, 37(1): 87-91.

- [8] Cheng, C., Hao, W. and Cheng, T. (2024) Unveiling Significant Risk Factors for Intensive Care Unit-Acquired Weakness: Advancing Preventive Care. *World Journal of Clinical Cases*, **12**, 3288-3290. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v12.i18.3288>
- [9] Khattar, G. and Bou Sanayeh, E. (2024) Advancing Critical Care Recovery: The Pivotal Role of Machine Learning in Early Detection of Intensive Care Unit-Acquired Weakness. *World Journal of Clinical Cases*, **12**, 4455-4459. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v12.i21.4455>
- [10] Pal, N. and Butterworth, J. (2021) Automated Identification of Adults at Risk for In-Hospital Clinical Deterioration. *The New England Journal of Medicine*, **384**, 485.
- [11] Wang, L. and Long, D. (2024) Significant Risk Factors for Intensive Care Unit-Acquired Weakness: A Processing Strategy Based on Repeated Machine Learning. *World Journal of Clinical Cases*, **12**, 1235-1242. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v12.i7.1235>
- [12] Balke, M., Teschler, M., Schäfer, H., Pape, P., Mooren, F.C. and Schmitz, B. (2022) Therapeutic Potential of Electromyostimulation (EMS) in Critically Ill Patients—A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, **13**, Article 865437. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.865437>
- [13] Yang, Z., Wang, X., Chang, G., Cao, Q., Wang, F., Peng, Z., et al. (2023) Development and Validation of an Intensive Care Unit Acquired Weakness Prediction Model: A Cohort Study. *Frontiers in Medicine*, **10**, Article 1122936. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1122936>
- [14] Fuentes-Aspe, R., Gutierrez-Arias, R., González-Seguel, F., Marzuca-Nassr, G.N., Torres-Castro, R., Najum-Flores, J., et al. (2024) Which Factors Are Associated with Acquired Weakness in the ICU? An Overview of Systematic Reviews and Meta-Analyses. *Journal of Intensive Care*, **12**, Article No. 33. <https://doi.org/10.1186/s40560-024-00744-0>
- [15] Zhang, W., Tang, Y., Liu, H., Yuan, L.P., Wang, C.C., Chen, S.F., et al. (2021) Risk Prediction Models for Intensive Care Unit-Acquired Weakness in Intensive Care Unit Patients: A Systematic Review. *PLOS ONE*, **16**, e0257768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257768>
- [16] Witteveen, E., Wieske, L., Sommers, J., Spijksstra, J., de Waard, M.C., Endeman, H., et al. (2020) Early Prediction of Intensive Care Unit-Acquired Weakness: A Multicenter External Validation Study. *Journal of Intensive Care Medicine*, **35**, 595-605. <https://doi.org/10.1177/0885066618771001>
- [17] Wieske, L., Witteveen, E., Verhamme, C., Dettling-Ihnenfeldt, D.S., van der Schaaf, M., Schultz, M.J., et al. (2014) Early Prediction of Intensive Care Unit-Acquired Weakness Using Easily Available Parameters: A Prospective Observational Study. *PLOS ONE*, **9**, e111259. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111259>
- [18] Raurell-Torredà, M., Muriel-García, A. and Arias-Rivera, S. (2025) Predicting Intensive Care Unit-Acquired Weakness in the First Week of an Intensive Care Unit Stay: A Multicentre External Validation Study. *Australian Critical Care*, **38**, Article ID: 101241. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2025.101241>
- [19] 武宁, 李乐之, 张红梅. 心血管外科术后患者 ICU 获得性衰弱的影响因素及风险预测[J]. 护士进修杂志, 2021, 36(19): 1813-1819.
- [20] 马丹莹, 李莉, 王玮, 等. 主动脉弓置换术后患者 ICU 获得性衰弱现状及影响因素分析[J]. 护理学报, 2021, 28(12): 38-42.
- [21] 杜忠军, 潘月帅, 宫慧, 等. ICU 获得性衰弱风险预测模型的构建及预防护理措施[J]. 齐鲁护理杂志, 2022, 28(6): 5-10.
- [22] 苗晓, 马靓. ICU 获得性衰弱的危险因素分析及风险预测模型的构建与验证[J]. 中华现代护理杂志, 2021, 27(5): 628-635.
- [23] 江竹月, 邹圣强, 胡佳民, 等. 综合 ICU 患者获得性衰弱风险预测模型的构建与应用[J]. 中国实用护理杂志, 2021, 37(11): 807-812.
- [24] 刘杨, 罗健, 刘苗, 等. 基于 Meta 分析构建 ICU 获得性衰弱风险预测模型[J]. 护理学杂志, 2022, 37(7): 29-33.
- [25] 艾美花, 林昶超, 杨成彬. ICU 获得性衰弱的危险因素分析及预测模型构建[J]. 中国卫生标准管理, 2022, 13(8): 38-41.
- [26] 卓冰华, 林枝珠, 黄海娟, 等. 预测 ICU 获得性衰弱风险的列线图模型的建立和验证[J]. 中国医学创新, 2022, 19(27): 166-170.
- [27] 樊佳鑫, 梅培培. 老年 COPD 患者获得性衰弱风险预测模型构建[J]. 现代医学, 2025, 53(5): 772-778.
- [28] 吕露露, 张雪静, 李文雄. 三级医院 ICU 护士对 ICU 获得性衰弱评估及预防策略实践现状的调查研究[J]. 中华急危重症护理杂志, 2024, 5(4): 298-304.
- [29] 江唯晗, 周维, 陈梦竹, 等. 重症监护室护士对 ICU 获得性衰弱认知现状的质性研究[J]. 中国当代医药, 2022, 29(9): 122-125, 129.