

机械通气患者 ICU 获得性衰弱的潜在类别分析及影响因素

张嘉跃^{1,2} 都志杰¹ 王健翔¹ 李敏^{1,2}

¹昆明市第一人民医院重症医学科,昆明 650051; ²昆明医科大学护理学院,昆明 650500

通信作者:李敏,Email:173088998420@163.com

【摘要】 **目的** 应用潜在类别分析(LCA)探讨机械通气患者 ICU 获得性衰弱(ICU-AW)的潜在类别,并分析其影响因素。**方法** 采用前瞻性观察性研究方法,选择 2024 年 6 月至 2025 年 4 月昆明市第一人民医院重症监护病房(ICU)收治的 360 例机械通气患者。采用 Richmond 躁动-镇静量表(RASS)评分评估意识状态;采用医学研究理事会(MRC)肌力评分评估 6 个肌群(肩部外展肌、肘屈肌、腕伸肌、髋屈肌、膝关节伸肌、踝关节背屈肌)的肌肉力量(总分<48 分提示存在 ICU-AW);采用自制 ICU-AW 危险因素量表收集数据,包括人口统计学特征(性别、年龄)、临床干预因素(总 ICU 住院时间、是否使用去甲肾上腺素、机械通气时间、制动时间、神经肌肉阻滞剂使用时间、是否使用镇静镇痛药物、入 ICU 前机械通气时间、是否使用有创血压监测、是否使用氨基糖苷类药物)、基础疾病和并发症[是否合并多器官功能障碍综合征(MODS)、是否合并脓毒症、是否有糖尿病史、是否有高血压史、急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II)]及实验室指标(血氧饱和度、血钙、血清白蛋白、乳酸、血糖)共 21 项条目。采用 LCA 动态优化模型类别数,依据 Akaike 信息准则(AIC)、贝叶斯信息准则(BIC)、调整贝叶斯信息准则(aBIC)最小化、分类精确度指标(熵值)>0.8 且 Lo-Mendell-Rubin 检验、Bootstrap 似然比检验结果显著原则确定最佳类别数。根据 LCA 结果将患者分为不同类别,并依据特征进行命名;采用单因素分析和无序多因素 Logistic 回归分析筛选机械通气患者 ICU-AW 潜在类别的影响因素。**结果** 在删除总 ICU 住院时间、入 ICU 前机械通气时间两项缺失量均超过 50% 的条目后,最终基于 19 项危险因素变量进行潜在类别建模,结果显示,类别数为 3 时 AIC(9 179)、BIC(9 455)和 aBIC(9 467)均优于其他类别数,在拟合优度与复杂度间平衡更佳,且熵值(0.937)高于其他类别数,表明其分类精确度最高,故最终确定类别数为 3。根据 ICU-AW 患者危险因素的条件类别概率分布,结合变量的临床意义,分别将 3 个潜在类别命名为治疗强度主导型(以机械通气时间>7 d、依赖去甲肾上腺素及有创操作为特征)、代谢紊乱主导型(核心表现为高血糖、低血钙及脓毒症合并代谢疾病)、器官衰竭相关型(以 APACHE II 评分高、多器官功能障碍及制动时间长为主)。根据 LCA 确定的 ICU-AW 类别数及类别特征,将 360 例机械通气患者分为 3 个 ICU-AW 潜在类别,其中治疗强度主导型 234 例(占 65.0%),代谢紊乱主导型 26 例(占 7.2%),器官衰竭相关型 100 例(占 27.8%)。单因素分析显示,3 个潜在类别患者在性别、年龄、机械通气时间、神经肌肉阻滞剂使用时间、是否合并脓毒症、APACHE II 评分方面差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。无序多因素 Logistic 回归分析显示,男性、机械通气时间长、神经肌肉阻滞剂使用时间长的患者更容易归属为治疗强度主导型或代谢紊乱主导型,合并脓毒症与治疗强度主导型关联更强。**结论** LCA 提示机械通气患者 ICU-AW 存在 3 类潜在类别,即治疗强度主导型、代谢紊乱主导型、器官衰竭相关型;性别、机械通气时间、神经肌肉阻滞剂使用时间及是否合并脓毒症是亚型分层的独立影响因素。

【关键词】 潜在类别分析; ICU 获得性衰弱; 影响因素

基金项目: 云南省昆明市卫生科技人才培养项目[2022-SW(带头)-15]

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250614-00333

Latent class analysis of ICU-acquired weakness in mechanically ventilated patients and its influencing factors

Zhang Jiayue^{1,2}, Du Zhijie¹, Wang Jianxiang¹, Li Min^{1,2}

¹Department of ICU, the First People's Hospital of Kunming, Kunming 650051, China; ²School of Medicine, Kunming University, Kunming 650500, China

Corresponding author: Li Min, Email: 173088998420@163.com

【Abstract】 **Objective** To apply latent class analysis (LCA) to explore the latent classes of ICU-acquired weakness (ICU-AW) in mechanically ventilated patients and to analyze their influencing factors. **Methods** A prospective observational study was conducted. From June 2024 to April 2025, 360 mechanically ventilated patients admitted to the intensive care unit (ICU) of the First People's Hospital of Kunming were enrolled. Consciousness was assessed using the Richmond Agitation-Sedation Scale (RASS). Muscle strength of six muscle groups (shoulder abductors, elbow flexors, wrist extensors, hip flexors, knee extensors, and ankle dorsiflexors) was evaluated using the Medical Research Council (MRC) score across, with a total score<48 indicating ICU-AW. Clinical data were collected via a self-designed ICU-AW risk factor scale, covering 21 items: demographic characteristics (gender, age), clinical interventions (total length of ICU stay, norepinephrine use or not, mechanical ventilation duration, immobilization time, neuromuscular blocker use duration, sedative/analgesic use or not, pre-ICU mechanical ventilation duration, invasive blood pressure

monitoring or not, aminoglycoside use or not), underlying diseases and complications [combined with multiple organ dysfunction syndrome (MODS) or not, combined with sepsis or not, diabetes or not, hypertension or not, Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II (APACHE II) score], and laboratory indicators (blood oxygen saturation, calcium, albumin, lactic acid, glucose). LCA was used to optimize the number of classes. The optimal model was selected based on the minimization of Akaike information criterion (AIC), Bayesian information criterion (BIC), and adjusted Bayesian information criterion (aBIC), an entropy value > 0.8 , and significant results from the Lo-Mendell-Rubin test and the Bootstrap likelihood ratio test. Patients were classified and named based on LCA results. Univariate analysis and unordered multivariate Logistic regression analysis were used to identify influencing factors of latent class of ICU-AW in mechanically ventilated patients. **Results** After deleting entries with missing values for both total length of ICU stay and pre-ICU mechanical ventilation duration exceeding 50%, latent class modeling was ultimately performed based on 19 risk factor variables. The results showed that when the number of classes was 3, AIC (9 179), BIC (9 455), and aBIC (9 467) were all superior to other class numbers, achieving a better balance between goodness of fit and complexity. Additionally, the entropy value (0.937) was higher than that of other class numbers, indicating the highest classification accuracy. Therefore, the final number of classes was determined to be 3. Based on the conditional probability distribution of risk factors for ICU-AW patients, combined with the clinical significance of the variables, the three potential categories were named as follows: treatment intensity-dominant type (characterized by mechanical ventilation duration > 7 days, norepinephrine dependence, and invasive procedures), metabolic disorder-dominant type (characterized by hyperglycemia, hypocalcemia, and sepsis combined with metabolic diseases), and organ failure-related type (characterized by high APACHE II score, multiple organ dysfunction, and prolonged immobilization). Based on the number of ICU-AW categories and their characteristics determined by LCA, 360 patients undergoing mechanical ventilation were categorized into three potential ICU-AW categories. Among them, 234 (65.0%) were treatment intensity-dominant type, 26 (7.2%) were metabolic disorder-dominant type, and 100 (27.8%) were organ failure-related type. Univariate analysis showed significant differences among the three classes in gender, age, mechanical ventilation duration, neuromuscular blocker use duration, combined with sepsis or not, and APACHE II score (all $P < 0.05$). Unordered multivariate Logistic regression indicated that patients who were male, had a long duration of mechanical ventilation, and a long duration of neuromuscular blocking agent use were more likely to be classified as treatment intensity-dominant type or metabolic disorder-dominant type. Combined with sepsis was more strongly associated with treatment intensity-dominant type. **Conclusions** LCA identified three heterogeneous latent classes of ICU-AW in mechanically ventilated patients named treatment intensity-dominant type, metabolic disorder-dominant type, and organ failure-dominant type. Gender, mechanical ventilation duration, neuromuscular blocker use duration, and combined with sepsis or not were independent predictors of subtype stratification.

【Key words】 Latent class analysis; ICU-acquired weakness; Influencing factor

Fund program: Kunming Health Science and Technology Talent Training Project of Yunnan Province [2022-SW (Leading)-15]

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250614-00333

1993 年, Ramsay 等^[1]提出“ICU 获得性衰弱”(ICU-acquired weakness, ICU-AW)一词,是指患者在重症监护病房(intensive care unit, ICU)住院期间发生发展的,无法用除危重症疾病以外的原因解释的,以广泛性肢体乏力为特征的临床综合征。ICU-AW 的主要特征是肌肉萎缩和蛋白质丢失^[2]。研究结果表明,卧床 14 d 后,成人股四头肌的肌肉损失为 9%,导致肌肉力量损失高达 27%^[3]。接受有创机械通气患者在 ICU 住院的第 1 周,其股四头肌的横截面积可以减少高达 12.5%,这意味着患者在离开 ICU 后可能无法独立完成日常活动,同时患者也会因身体机能严重下降,产生焦虑、抑郁等心理问题,从而影响心理健康和社会融入,甚至出现 ICU 后综合征。

潜在类别分析(latent class analysis, LCA)是一种用于识别数据中未被直接观察到的潜在类别结构的统计学方法^[4]。LCA 通过分析个体在显变量(观测变量)上的反应模式,将个体划分为潜在类别,这些类别是不可观察的子群体,具有相似的响应特征,从

而为提出精准化干预措施提供证据^[5]。本研究聚焦 ICU-AW,通过 LCA 对不同表型特征的 ICU-AW 患者进行分类,深入剖析其影响因素,旨在助力临床医护人员精准识别患者的表型归属,为制定个体化干预策略提供理论与循证支撑。

1 对象与方法

1.1 研究对象:采用前瞻性观察性研究方法,选择 2024 年 6 月至 2025 年 4 月昆明市第一人民医院 ICU (包括神外 ICU、心脏 ICU)收治的机械通气患者。

1.1.1 纳入标准:① 年龄 ≥ 18 岁;② ICU 住院患者;③ 入 ICU 48 h 内进行机械通气治疗(不考虑机械通气持续时间);④ 处于 ICU 每日唤醒期,意识清晰且能配合,或经治疗后意识恢复且能配合〔Richmond 躁动-镇静量表(Richmond Agitation-Sedation Scale, RASS)评分为 $-1 \sim 1$ 分〕。

1.1.2 排除标准:① 入院诊断为心搏骤停、神经肌肉疾病或中枢神经系统(central nervous system, CNS)疾病(包括中风、创伤性脑或脊髓损伤、CNS 感染或

CNS 肿瘤等);②入院前存在脊柱损伤;③ICU 住院时间 ≤ 24 h。

1.1.3 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并通过昆明市第一人民医院医学伦理委员会的审批(审批号:YLS2024-099)。

1.2 调查工具

1.2.1 RASS 评分^[6]:根据 RASS 评分对患者进行意识状态评估。依次向患者下达以下命令:“睁开眼睛”或“闭上眼睛”(根据患者眼部状态而定),观察患者能否准确执行;“抬起眉毛”;“将头移到一侧(或其他指定方向)”;“挤压我的手”;“张开嘴巴”;“伸出舌头”。若患者 RASS 评分为 $-1 \sim 1$ 分,即可继续进行医学研究理事会(Medical Research Council, MRC)肌力评分。

1.2.2 MRC 肌力评分^[7]:应用 MRC 肌力评分评估患者每侧 6 个肌群(肩部外展肌、肘屈肌、腕伸肌、髌屈肌、膝关节伸肌、踝关节背屈肌)的肌肉力量,并分别进行评分:0 分为没有明显收缩;2 分为主动运动,但不能克服重力;3 分为主动运动,能够克服重力;4 分为主动运动,能够克服重力和部分阻力;5 分为主动运动,能够克服重力和完全阻力。总分范围为 $0 \sim 60$ 分(即 6 组肌群 \times 双侧 $\times 5$ 分/项), < 48 分提示存在 ICU-AW。

1.2.3 ICU-AW 危险因素量表:阅读相关文献,整合相关危险因素信息,制定 ICU-AW 危险因素收集表,内容涵盖人口统计学特征(性别、年龄)、临床干预因素(总 ICU 住院时间、是否使用去甲肾上腺素、机械通气时间、制动时间、神经肌肉阻滞剂使用时间、是否使用镇静镇痛药物、入 ICU 前机械通气时间、是否使用有创血压监测、是否使用氨基糖苷类药物)、基础疾病和并发症[是否合并多器官功能障碍综合征(multiple organ dysfunction syndrome, MODS)、是否合并脓毒症、是否有糖尿病史、是否有高血压史、急性生理学及慢性健康状况评分 II (Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II, APACHE II)]、实验室指标(血氧饱和度、血钙、血清白蛋白、乳酸、血糖)共 21 项条目。

1.3 资料收集方法:在调查开始前,课题组人员进行 7 d 集中培训,重点学习 MRC 肌力评分(评估患者肢体肌力)、RASS 评分(评估患者意识状态)及自制 ICU-AW 危险因素量表填写细节(21 项条目填写规范),明确调查过程中的注意事项,并制定调查计划。

1.4 统计学分析:以外显变量 MRC 肌力评分 3 个

维度得分作为基础,通过 LCA 动态优化模型类别数目($k=2$ 至 $k=5$),依据 Akaike 信息准则(Akaike information criterion, AIC; 值越小表明模型拟合越好且越简洁)、贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC; 值越小表明模型越好)、调整贝叶斯信息准则(adjusted Bayesian information criterion, aBIC; 值越小表明模型越好)最小化,而且分类精确度指标(熵值) > 0.8 (取值范围为 $0 \sim 1$,越接近 1 表明分类精度越高),同时 Lo-Mendell-Rubin 检验($P < 0.05$ 表明 k 类模型显著优于 $k-1$ 类模型)与 Bootstrap 似然比检验($P < 0.05$ 支持选择类别数更多的模型)结果显著原则,综合确定最佳潜在类别数。经过正态性检验,计量资料均符合正态分布,以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用单因素方差分析;计数资料组间比较采用 χ^2 检验。采用无序多因素 Logistic 回归分析探讨 ICU-AW 潜在类别的影响因素。采用双侧检验,检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 人口统计学一般特征:最终 360 例机械通气患者纳入分析,其中男性 193 例(占 53.6%),女性 167 例(占 46.4%);年龄(64.5 ± 9.3)岁(范围 $30 \sim 89$ 岁);209 例患者发生 ICU-AW,发生率为 58.1%。

2.2 机械通气患者 ICU-AW 的 LCA:21 项条目中,总 ICU 住院时间、入 ICU 前机械通气时间的缺失量均超过 50%,故删除这两项条目。最终将 19 项条目作为外显变量,探索性建立 2~5 个类别。表 1 显示,类别数为 3 时,AIC、BIC 和 aBIC 均优于其他类别数,拟合优度与复杂度间平衡更佳,尽管类别数为 4 时 AIC 略低,但其熵值低于类别数为 3;类别数为 3 时熵值高于其他类别数,表明其分类精确度最高。由于类别数为 4 或 5 时熵值均低于类别数为 3,以此推测类别数为 6 或以上时的结果不会再优于类别数为 3,故不再继续分类别进行分析。基于以上综合判断,LCA 最终选择类别数为 3。

2.3 机械通气患者 ICU-AW 的潜在类别命名:根据 ICU-AW 危险因素的条件类别概率分布(图 1),结合变量的临床意义,分别对 3 个潜在类别进行命名。

2.3.1 类别 1 [治疗强度主导型(占 65.0%)]:治疗强度主导型中“机械通气时间是否 > 7 d”“是否使用有创血压监测”“是否使用氨基糖苷类药物”等治疗干预相关条目的条件类别概率相对较高,提示此类患者由于病情危重而需要持续依赖高强度生命支持与侵入性诊疗措施,故以此命名。

表 1 机械通气患者 ICU-AW 的 LPA

类别数	AIC	BIC	aBIC	熵值
2	9 235	9 418	9 424	0.804
3	9 179	9 455	9 467	0.937
4	9 144	9 513	9 531	0.797
5	9 163	9 625	9 649	0.757

类别数	LMR 检验 P 值	BLRT 检验 P 值	类别比例分布 (%)
2	<0.001	0.001	76.5、23.5
3	0.002	<0.001	65.0、7.2、27.8
4	0.043	0.000	27.1、42.7、6.2、24.0
5	0.648	0.001	21.0、4.1、5.9、45.2、23.8

注：ICU-AW 为 ICU 获得性衰弱，LPA 为潜在类别分析，AIC 为 Akaike 信息准则，BIC 为贝叶斯信息准则，aBIC 为调整贝叶斯信息准则，LMR 检验为 Lo-Mendell-Rubin 检验，BLRT 检验为 Bootstrap 似然比检验；类别比例分布中各数值分别代表依据模型划分到每个潜在类别的个体数占总样本量的百分比

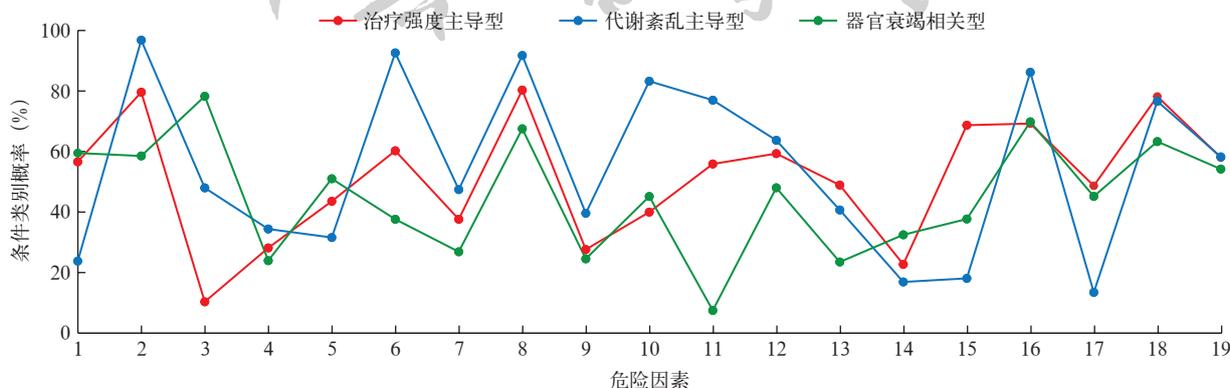
2.3.2 类别 2 [代谢紊乱主导型(占 7.2%)]：代谢紊乱主导型中“是否合并脓毒症”“是否有糖尿病史”“是否有高血压史”“血钙”“乳酸”“血糖”等代谢异常及感染相关条目的条件类别概率相对突出，提示此类患者脓毒症叠加基础代谢病引发糖、电解质、酸碱平衡紊乱，故以此命名。

2.3.3 类别 3 [器官衰竭相关型(占 27.8%)]：器官衰竭相关型中“APACHE II 评分”“制动时间”等器官功能与病情严重程度相关条目的条件类别概率相对较高，提示此类患者存在以多器官功能障碍、高疾病严重程度及长期制动的继发性损伤构成的特征链，故以此命名。

2.4 机械通气患者 ICU-AW 潜在类别影响因素的单因素分析：根据 LCA 确定的 ICU-AW 类别数及类别特征，将 360 例机械通气患者分为 3 个 ICU-AW 潜在类别，其中治疗强度主导型 234 例(占 65.0%)，

代谢紊乱主导型 26 例(占 7.2%)，器官衰竭相关型 100 例(占 27.8%)。单因素分析显示(表 2)，3 个潜在类别患者在性别、年龄、机械通气时间、神经肌肉阻滞剂使用时间、是否合并脓毒症、APACHE II 评分方面差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。

2.5 机械通气患者 ICU-AW 潜在类别影响因素的无序多因素 Logistic 回归分析(表 3)：为探讨机械通气患者 ICU-AW 潜在类别(治疗强度主导型、代谢紊乱主导型、器官衰竭主导型)的影响因素，以 3 种潜在类别作为因变量，以单因素分析中差异有统计学意义的变量作为自变量，进行无序多因素 Logistic 回归分析。结果显示，机械通气时间每增加 1 d、神经肌肉阻滞剂使用时间每增加 1 d，患者属于治疗强度主导型的风险较器官衰竭主导型分别降低 9.4%、升高 12.9%；男性患者属于代谢紊乱主导型的风险是器官衰竭主导型的 9.88 倍，机械通气时间每增加 1 d，患者属于代谢紊乱主导型的风险较器官衰竭主导型降低 26.1%；合并脓毒症的属于治疗强度主导型的风险是代谢紊乱主导型的 2.57 倍，女性患者属于治疗强度主导型的风险较代谢紊乱主导型降低 81.0%，机械通气时间每增加 1 d，患者属于治疗强度主导型的风险较代谢紊乱主导型升高 8.7%。说明性别、机械通气时间、神经肌肉阻滞剂使用时间、是否合并脓毒症是机械通气患者 ICU-AW 潜在类别的独立影响因素，男性、机械通气时间长、神经肌肉阻滞剂使用时间长的患者更容易归属为治疗强度主导型或代谢紊乱主导型，合并脓毒症与治疗强度主导型关联更强，临床可据此进行早期风险分层与精准干预。



注：ICU-AW 为 ICU 获得性衰弱，LPA 为潜在类别分析；1 为性别，2 为年龄，3 为是否使用去甲肾上腺素，4 为是否合并多器官功能障碍综合征(MODS)，5 为制动时间，6 为机械通气时间是否 > 7 d，7 为是否合并脓毒症，8 为急性生理学及慢性健康状况评分 II (APACHE II)，9 为是否有糖尿病史，10 为是否有高血压史，11 为神经肌肉阻滞剂使用时间，12 为是否使用镇静镇痛药物，13 为是否使用有创血压监测，14 为是否使用氨基糖苷类药物，15 为血氧饱和度，16 为血钙，17 为血清白蛋白，18 为乳酸，19 为血糖

图 1 机械通气患者 ICU-AW 的 LPA 中危险因素条件类别概率分布

表 2 机械通气患者 3 个 ICU-AW 潜在类别影响因素的单因素分析

变量	类别 1 (234 例)	类别 2 (26 例)	类别 3 (100 例)	统计量值	P 值	变量	类别 1 (234 例)	类别 2 (26 例)	类别 3 (100 例)	统计量值	P 值
性别				$\chi^2=19.187$	<0.001	合并脓毒症 〔例(%)〕	162(69.2)	13(50.0)	73(73.0)	$\chi^2=40.316$	0.032
男性	104(44.4)	5(19.2)	58(58.0)			糖尿病史 〔例(%)〕	171(73.1)	16(61.5)	77(77.0)	$\chi^2=0.089$	0.766
女性	130(55.6)	21(80.8)	42(42.0)			高血压史 〔例(%)〕	141(60.3)	3(11.5)	56(56.0)	$\chi^2=0.982$	0.322
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	65.1 \pm 9.1	67.0 \pm 5.4	62.8 \pm 10.4	$F=27.158$	<0.001	APACHE II (分, $\bar{x} \pm s$)	24.4 \pm 6.1	26.2 \pm 5.8	23.7 \pm 7.4	$F=129.478$	<0.001
使用去甲肾上腺素 〔例(%)〕	219(93.6)	13(50.0)	8(8.0)	$\chi^2=4.005$	0.454	血氧饱和度 ($\bar{x} \pm s$)	0.95 \pm 0.03	0.94 \pm 0.03	0.95 \pm 0.02	$F=0.015$	0.903
机械通气时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	8.1 \pm 4.6	10.8 \pm 3.5	6.44 \pm 3.48	$F=47.073$	0.005	血钙(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	2.22 \pm 0.32	2.17 \pm 0.32	2.16 \pm 0.29	$F=1.470$	0.226
制动时间(d, $\bar{x} \pm s$)	6.2 \pm 2.3	5.2 \pm 2.5	6.4 \pm 2.5	$F=0.599$	0.440	血清白蛋白 (g/L, $\bar{x} \pm s$)	35.0 \pm 4.7	38.2 \pm 4.3	34.6 \pm 5.2	$F=1.607$	0.206
神经肌肉阻滞剂使用 时间(d, $\bar{x} \pm s$)	3.1 \pm 2.3	3.0 \pm 2.5	3.2 \pm 2.4	$F=123.250$	0.001	乳酸(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	2.24 \pm 0.67	2.23 \pm 0.70	2.06 \pm 0.74	$F=0.020$	0.889
使用镇静镇痛药物 〔例(%)〕	106(45.3)	0(0)	52(52.0)	$\chi^2=0.005$	0.945	血糖(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	6.43 \pm 1.19	6.40 \pm 1.11	6.54 \pm 1.30	$F=0.446$	0.505
使用有创血压监测 〔例(%)〕	202(86.3)	2(7.7)	3(3.0)	$\chi^2=0.552$	0.458						
使用氨基糖苷类药物 〔例(%)〕	180(76.9)	21(80.8)	69(69.0)	$\chi^2=0.643$	0.423						
合并 MODS 〔例(%)〕	168(71.8)	0(0)	76(76.0)	$\chi^2=0.308$	0.579						

注:类别 1 为治疗强度主导型,类别 2 为代谢紊乱主导型,类别 3 为器官衰竭主导型;ICU-AW 为 ICU 获得性衰弱,MODS 为多器官功能障碍综合征,APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II

表 3 机械通气患者 ICU-AW 潜在类别影响因素的无序多因素 Logistic 回归分析

类别比较	变量	β 值	s_e	χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
类别 1 比类别 2	截距	-5.074	2.119	5.733	0.017		
	性别	-1.663	0.542	0.427	0.002	0.190	0.066 ~ 0.548
	年龄	0.027	0.029	0.872	0.350	1.027	0.971 ~ 1.087
	机械通气时间	0.083	0.040	4.249	0.039	1.087	1.004 ~ 1.176
	神经肌肉阻滞剂使用时间	-0.077	0.111	0.481	0.488	0.926	0.745 ~ 1.151
	是否合并脓毒症	0.942	0.477	3.908	0.048	2.565	1.008 ~ 6.527
	APACHE II	0.041	0.041	1.012	0.314	1.042	0.962 ~ 1.129
类别 2 比类别 3	截距	6.356	2.604	5.958	0.015		
	性别	2.290	0.686	11.137	0.001	9.878	2.573 ~ 37.922
	年龄	-0.057	0.035	2.734	0.098	0.944	0.882 ~ 1.011
	机械通气时间	-0.302	0.081	13.81	<0.001	0.739	0.630 ~ 0.867
	神经肌肉阻滞剂使用时间	0.186	0.136	1.867	0.172	1.205	0.922 ~ 1.574
	是否合并脓毒症	-0.908	0.691	1.727	0.189	0.403	0.104 ~ 1.563
	APACHE II	0.026	0.054	0.229	0.632	1.026	0.923 ~ 1.142
类别 1 比类别 3	截距	0.781	1.004	0.606	0.437		
	性别	-0.033	0.257	0.017	0.898	0.982	0.957 ~ 1.601
	年龄	-0.019	0.013	1.984	0.159	0.982	0.957 ~ 1.007
	机械通气时间	-0.099	0.039	6.377	0.012	0.906	0.548 ~ 0.978
	神经肌肉阻滞剂使用时间	0.121	0.062	3.855	0.050	1.129	1.000 ~ 1.275
	是否合并脓毒症	-0.034	0.290	0.014	0.906	0.966	0.548 ~ 1.705
	APACHE II	0.006	0.023	0.076	0.784	1.006	0.963 ~ 1.052

注:类别 1 为治疗强度主导型,类别 2 为代谢紊乱主导型,类别 3 为器官衰竭主导型;ICU-AW 为 ICU 获得性衰弱,APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II,OR 为优势比,95%CI 为 95% 置信区间;空白代表无此项

3 讨论

3.1 机械通气患者 ICU-AW 存在 3 种潜在类别,以治疗强度主导型占比最高:本研究中 LCA 提示机械通气患者 ICU-AW 存在 3 种潜在类别,其中治疗强度主导型 234 例(占 65.0%),代谢紊乱主导型 26 例(占 7.2%),器官衰竭相关型 100 例(占 27.8%)。

治疗强度主导型患者主要表现为对高强度生命

支持和侵入性治疗的依赖,机械通气时间较长、需有创血压监测及使用氨基糖苷类药物。这类患者通常病情危重,存在多器官功能障碍,需要长期维持生命体征稳定^[8]。此类 ICU-AW 的病理生理机制主要与交感神经兴奋性增强和炎症反应失控有关^[9-10]。在存在严重感染、全身炎症反应的情况下,氨基糖苷类药物的使用可能带来额外的神经肌肉毒性负

担。药物可能干扰神经肌肉接头的功能或加剧已有的线粒体功能障碍与能量代谢危机,从而与炎症协同,加速神经肌肉损伤的进程^[11]。此外,长期机械通气、有创操作可能引发呼吸机相关性肺炎和感染性休克^[12],加重全身炎症反应,形成恶性循环^[13]。

代谢紊乱主导型患者主要表现为高血糖、低血钙、乳酸升高及合并脓毒症等感染相关疾病。这类患者常伴有基础代谢疾病和脓毒症,导致代谢紊乱和免疫功能受损^[14],可能与脓毒症引发全身炎症反应和代谢失衡密切相关^[15]。脓症患者肌肉活检提示,氮氧化物产生过多、抗氧化剂耗竭、线粒体 DNA 受损、钙失调^[16]、三磷酸腺苷水平降低^[17]。研究提示,脓毒症时,巨噬细胞和中性粒细胞被激活,释放肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、白细胞介素 (interleukins, IL-6、IL-1 β) 等大量炎症介质^[18],线粒体功能受损导致组织损伤和 ICU-AW。脓毒症引起胰岛素抵抗^[19],血糖升高,代谢紊乱还可能影响肌肉能量代谢,导致肌肉萎缩和无力^[20]。

器官衰竭主导型患者主要表现为 APACHE II 评分升高、制动时间长。这类患者常因长期制动和机械通气导致继发性器官损伤^[21],造成呼吸肌无力、循环功能障碍。研究表明,ICU-AW 的常见死因为脓毒性休克,其次为器官衰竭^[22],与多器官功能障碍和制动导致肌肉萎缩有关^[11,19]。长期制动可导致肌肉萎缩、神经肌肉接头功能障碍,影响呼吸肌力量和耐力,加重呼吸衰竭^[11]。APACHE II 评分升高反映患者病情严重程度加重,提示其预后较差^[23]。

3.2 LCA 视角下机械通气患者 ICU-AW 的影响因素分析:本研究表明,相同的影响因素在不同机械通气患者 ICU-AW 潜在类别亚型中存在主导差异。在单因素分析中,3 种潜在类别在性别、年龄、机械通气时间、神经肌肉阻滞剂使用时间、是否合并脓毒症、APACHE II 评分方面的差异均表现出统计学意义;进一步无序多因素 Logistic 回归分析显示,性别、机械通气时间、神经肌肉阻滞剂使用时间、是否合并脓毒症是 ICU-AW 潜在类别的独立影响因素。

传统 ICU-AW 研究通常由于忽视了人群异质性而导致研究结论间存在矛盾。Núñez-Seisdedos 等^[24]认为,神经肌肉阻滞剂的使用与 ICU-AW 的发生显著相关;然而, Moss 等^[25]则认为,使用神经肌肉阻滞剂并不增加 ICU-AW 的发生风险。本研究通过 LCA 发现,ICU-AW 的影响因素存在显著的亚型依赖性。针对神经肌肉阻滞剂这一危险因素的分析显示,其

在治疗强度主导型中表现为强风险因素,可能与双重路径相关,即直接抑制肌肉收缩功能加速废用性萎缩,以及通过延长制动时间阻碍早期康复^[26];而神经肌肉阻滞剂的使用与患者被归为代谢紊乱主导型的可能性之间,没有表现出统计学意义上的关联,可能因为其作为脓毒症管理的短期工具,未主导核心代谢病理进程^[27]。此异质性阐明了传统研究的矛盾结论,即同一因素在不同亚型中作用方向与强度存在差异。

3.3 针对不同 ICU-AW 潜在类别机械通气患者的干预措施:基于表型特征的干预策略需根据机械通气患者 ICU-AW 的 3 种潜在类别(治疗强度主导型、代谢紊乱主导型、器官衰竭相关型)进行区分。

治疗强度主导型患者通常需高强度生命支持与侵入性诊疗措施,因此其干预应侧重于循序渐进,以减轻对高强度治疗的依赖,通过早期活动^[28]、康复训练^[26]改善肌肉力量和功能。一项纳入 48 项随机对照试验(3 548 例患者)的 Meta 分析表明,优化镇静策略可减少不必要的药物使用和机械通气时间^[29]。采用浅镇静策略、减少镇静药物剂量^[2]、鼓励患者自主呼吸试验、早期进行物理活动^[30]等措施,有助于降低 ICU-AW 发生率,并促进患者向自主呼吸过渡。

代谢紊乱主导型患者常伴有高血糖、电解质失衡等代谢异常,其干预应包括严格血糖控制^[31]、营养支持^[32]和电解质平衡管理,强化胰岛素治疗、早期肠内营养、维持电解质稳定等。de Jonghe 等^[33]的研究表明,高血糖是 ICU-AW 的重要危险因素之一。因此,通过动态血糖监测和制定个体化胰岛素方案,可有效降低血糖波动,减少代谢紊乱对肌肉功能的负面影响。应尽早实施营养支持,尤其是肠内营养,以维持肌肉蛋白质合成,防止肌肉萎缩和衰弱。

器官衰竭相关型患者多器官功能衰竭严重,其干预应侧重于多器官支持和综合治疗,多学科团队协作进行器官功能支持^[31]。由于这类患者基础疾病复杂、器官功能储备差,因此干预应更加系统和全面,包括呼吸支持^[34]、循环管理、肾脏替代治疗、营养支持、心理支持^[35]等。此外,多学科团队协作是改善这类患者预后的关键,通过制定个体化综合干预方案,可有效降低 ICU-AW 发生率和病死率。

综上所述,LCA 提示机械通气患者 ICU-AW 存在 3 种潜在类别,即治疗强度主导型、代谢紊乱主导型、器官衰竭相关型,分型主要由性别、机械通气时间、神经肌肉阻滞剂使用时间、是否合并脓毒症等

核心因素驱动。本研究的局限性在于单中心研究且样本量较小,未来需扩大样本量进一步验证亚型稳定性,推动多中心研究大样本调查,还需开展纵向研究追踪,进行机械通气患者 ICU-AW 的轨迹分析。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 张嘉跃: 酝酿和设计实验、实施研究、起草文章、统计分析; 都志杰: 采集数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、支持性贡献; 王健翔: 分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅; 李敏: 酝酿和设计实验, 获取研究经费, 行政、技术或材料支持

参考文献

- [1] Ramsay DA, Zochodne DW, Robertson DM, et al. A syndrome of acute severe muscle necrosis in intensive care unit patients[J]. *J Neuropathol Exp Neurol*, 1993, 52(4): 387-398. DOI: 10.1097/00005072-199307000-00006. Erratum in: *J Neuropathol Exp Neurol*, 1993, 52(6): 666.
- [2] Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS, et al. Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients: a randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2009, 373(9678): 1874-1882. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)60658-9.
- [3] Patel BK, Pohlman AS, Hall JB, et al. Impact of early mobilization on glycemic control and ICU-acquired weakness in critically ill patients who are mechanically ventilated[J]. *Chest*, 2014, 146(3): 583-589. DOI: 10.1378/chest.13-2046.
- [4] 温忠麟, 谢晋艳, 王惠惠. 潜在类别模型的原理、步骤及程序[J]. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 2023, 41(1): 1-15. DOI: 10.16382/j.cnki.1000-5560.2023.01.001.
- [5] Yang Q, Zhao A, Lee C, et al. Latent profile/class analysis identifying differentiated intervention effects[J]. *Nurs Res*, 2022, 71(5): 394-403. DOI: 10.1097/NNR.0000000000000597.
- [6] Sessler CN, Grap MJ, Brophy GM. Multidisciplinary management of sedation and analgesia in critical care[J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2001, 22(2): 211-226. DOI: 10.1055/s-2001-13834.
- [7] ATS Committee on ICU-acquired Weakness in Adults, American Thoracic Society. An official American Thoracic Society Clinical Practice guideline: the diagnosis of intensive care unit-acquired weakness in adults[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2014, 190(12): 1437-1446. DOI: 10.1164/rccm.201411-2011ST.
- [8] Weller BE, Bowen NK, Faubert SJ. Latent class analysis: a guide to best[J]. *J Black Psychol*, 2020, 46(4): 287-311. DOI: 10.1177/0095798420930932.
- [9] Wolfe KS, Patel BK, MacKenzie EL, et al. Impact of vasoactive medications on ICU-acquired weakness in mechanically ventilated patients[J]. *Chest*, 2018, 154(4): 781-787. DOI: 10.1016/j.chest.2018.07.016.
- [10] Delbono O, Rodrigues ACZ, Bonilla HJ, et al. The emerging role of the sympathetic nervous system in skeletal muscle motor innervation and sarcopenia[J]. *Ageing Res Rev*, 2021, 67: 101305. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101305.
- [11] Rodrigues ACZ, Messi ML, Wang ZM, et al. The sympathetic nervous system regulates skeletal muscle motor innervation and acetylcholine receptor stability[J]. *Acta Physiol (Oxf)*, 2019, 225(3): e13195. DOI: 10.1111/apha.13195.
- [12] Kane SL, Dasta JF. Clinical outcomes of critical illness polyneuropathy[J]. *Pharmacotherapy*, 2002, 22(3): 373-379. DOI: 10.1592/phco.22.5.373.33199.
- [13] Huang A, Salazar M, Weber H, et al. ICU-acquired weakness: critical illness myopathy and polyneuropathy[J]. *J Crit Care*, 2025, 88: 155074. DOI: 10.1016/j.jccr.2025.155074.
- [14] Kobara S, Rad MG, Grunwell JR, et al. Bioenergetic crisis in ICU-acquired weakness gene signatures was associated with sepsis-related mortality: a brief report[J]. *Crit Care Explor*, 2022, 4(12): e0818. DOI: 10.1097/CCE.0000000000000818.
- [15] Liu Y, Zhao W, Chen WX, et al. Effects of early enteral nutrition on immune function and prognosis of patients with sepsis on mechanical ventilation[J]. *J Intensive Care Med*, 2020, 35(10): 1053-1061. DOI: 10.1177/0885066618809893.
- [16] Maestraggi Q, Lebas B, Clere-Jehl R, et al. Skeletal muscle and lymphocyte mitochondrial dysfunctions in septic shock trigger ICU-acquired weakness and sepsis-induced immunoparalysis[J]. *Biomed Res Int*, 2017, 2017: 7897325. DOI: 10.1155/2017/7897325.
- [17] 郑卉, 史源, 张钊龙, 等. ICU 获得性衰弱的研究进展[J]. *中华危重病急救医学*, 2024, 36(3): 308-312. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20231113-00975.
- [18] Winkelman C, Johnson KD, Gordon N. Associations between muscle-related cytokines and selected patient outcomes in the ICU[J]. *Biol Res Nurs*, 2015, 17(2): 125-134. DOI: 10.1177/1099800414532709.
- [19] 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. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220216-00142.
- [20] 于晓帆, 万晓红, 万林骏, 等. 脓毒症患者 ICU 获得性肌无力的高危因素分析[J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30(4): 355-359. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.04.014.
- [21] Batt J, dos Santos CC, Cameron JJ, et al. Intensive care unit-acquired weakness: clinical phenotypes and molecular mechanisms[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 187(3): 238-246. DOI: 10.1164/rccm.201205-0954SO.
- [22] van Wagenberg L, Witteveen E, Wieske L, et al. Causes of mortality in ICU-acquired weakness[J]. *J Intensive Care Med*, 2020, 35(3): 293-296. DOI: 10.1177/0885066617745818.
- [23] Yu QM, Song JM, Yang LY, et al. A scoping review of preclinical intensive care unit-acquired weakness models[J]. *Front Physiol*, 2024, 15: 1423567. DOI: 10.3389/fphys.2024.1423567.
- [24] Núñez-Seisdedos MN, Lázaro-Navas I, López-González L, et al. Intensive care unit-acquired weakness and hospital functional mobility outcomes following invasive mechanical ventilation in patients with COVID-19: a single-centre prospective cohort study[J]. *J Intensive Care Med*, 2022, 37(8): 1005-1014. DOI: 10.1177/08850666221100498.
- [25] Moss M, Huang DT, Brower RG, et al. Early neuromuscular blockade in the acute respiratory distress syndrome[J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(21): 1997-2008. DOI: 10.1056/NEJMoa1901686.
- [26] Hiser SL, Casey K, Nydahl P, et al. Intensive care unit acquired weakness and physical rehabilitation in the ICU[J]. *BMJ*, 2025, 388: e077292. DOI: 10.1136/bmj-2023-077292.
- [27] Pan XJ, Liu J, Zhang S, et al. Application of neuromuscular blockers in patients with ARDS in ICU: a retrospective study based on the MIMIC-III database[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(5): 1878. DOI: 10.3390/jcm12051878.
- [28] Kress JP, Hall JB. ICU-acquired weakness and recovery from critical illness[J]. *N Engl J Med*, 2014, 370(17): 1626-1635. DOI: 10.1056/NEJMra1209390.
- [29] Dinglas VD, Faraone LN, Needham DM. Understanding patient-important outcomes after critical illness: a synthesis of recent qualitative, empirical, and consensus-related studies[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2018, 24(5): 401-409. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000533.
- [30] Patel BK, Wolfe KS, Patel SB, et al. Effect of early mobilisation on long-term cognitive impairment in critical illness in the USA: a randomised controlled trial[J]. *Lancet Respir Med*, 2023, 11(6): 563-572. DOI: 10.1016/S2213-2600(22)00489-1.
- [31] 孙瑞祥, 江海娇, 汪君, 等. 机械通气 ICU 获得性衰弱患者早期运动康复的最佳证据总结[J]. *中华危重病急救医学*, 2024, 36(7): 745-752. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240227-00169.
- [32] Formenti P, Menozzi A, Sabbatini G, et al. Combined effects of early mobilization and nutrition on ICU-acquired weakness[J]. *Nutrients*, 2025, 17(6): 1073. DOI: 10.3390/nu17061073.
- [33] de Jonghe B, Lacherade JC, Sharshar T, et al. Intensive care unit-acquired weakness: risk factors and prevention[J]. *Crit Care Med*, 2009, 37(10 Suppl): S309-S315. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181b6e64c.
- [34] ATS/CHEST Ad Hoc Committee on Liberation from Mechanical Ventilation in Adults. An official American Thoracic Society/American College of Chest Physicians clinical practice guideline: liberation from mechanical ventilation in critically ill adults. Rehabilitation protocols, ventilator liberation protocols, and cuff leak tests[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195(1): 120-133. DOI: 10.1164/rccm.201610-2075ST.
- [35] 浙江省医学会物理医学与康复学会重症康复专业委员会. 浙江省重症康复专家共识[J]. *浙江医学*, 2017, 39(24): 2191-2196, 2209. DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2017.39.24.2017-2801.

(收稿日期: 2025-06-14)

(本文编辑: 孙茜 张耘菲)