

• 论著 •

基于 IMS 运动模型的 ICU 撤机困难患者早期运动方案的构建和实证研究

孙瑞祥¹ 江海娇¹ 姜小敢¹ 鲁卫华¹ 梅光亮¹ 方可¹ 余金甜¹ 周志庆^{1,2}¹皖南医学院第一附属医院重症医学科, 芜湖 241002; ²皖南医学院第一附属医院护理部, 芜湖 241002

通信作者: 周志庆, Email: 1274467404@qq.com

【摘要】 目的 探讨基于 ICU 活动量表(IMS)运动模型的重症监护病房(ICU)撤机困难患者早期运动方案在临床实证中的应用效果。**方法** 采用类实验性研究设计,选择皖南医学院第一附属医院重症医学科 2022 年 2 月至 2023 年 2 月收治的符合纳排标准的撤机困难患者作为对照组,2023 年 3 月至 2024 年 3 月收治的符合纳排标准的撤机困难患者作为试验组。对照组实施常规早期康复活动;试验组在常规康复基础上实施基于 IMS 运动模型的 ICU 撤机困难患者的早期运动方案。收集和比较各组患者一般资料,入组时和转出时的英国医学研究委员会评分(MRC)、Barthel 指数评分、广泛性焦虑量表(GAD-7)评分,入组时和拔管后 24 h 膈肌超声指标(包括膈肌厚度、膈肌增厚分数和膈肌移动度),以及预后相关指标。**结果** 共入组 52 例 ICU 撤机困难患者,其中对照组 25 例,试验组 27 例。两组患者性别、年龄等一般资料差异均无统计学意义,具有可比性。两组患者入组时 MRC 评分和 Barthel 指数评分差异均无统计学意义;试验组转出时 MRC 评分(分: 44.41 ± 2.61 比 35.32 ± 2.75)和 Barthel 指数评分[分: $45(35, 45)$ 比 $40(35, 45)$]均明显高于对照组(均 $P < 0.05$)。膈肌超声方面,两组患者入组时膈肌厚度、膈肌增厚分数和膈肌移动度差异均无统计学意义;试验组拔管后 24 h 膈肌增厚分数明显高于对照组(%: 26.53 ± 3.74 比 24.31 ± 3.71 , $P < 0.05$),膈肌移动度明显大于对照组(cm: 1.80 ± 0.40 比 1.52 ± 0.57 , $P < 0.05$)。焦虑状态方面,两组患者入组时 GAD-7 评分差异无统计学意义;试验组转出时 GAD-7 评分明显低于对照组[分: $12.0(8.5, 17.0)$ 比 $16.0(15.0, 17.0)$, $P < 0.05$]。预后方面,试验组的机械通气(MV)时间[h: $144.00(116.00, 304.00)$ 比 $396.00(240.50, 606.50)$]和 ICU 住院时间[d: $12.00(8.00, 24.00)$ 比 $24.00(18.00, 41.50)$]均明显短于对照组(均 $P < 0.05$);两组间总住院时间、48 h 再插管率、48 h 重返 ICU 率和总住院费用差异均无统计学意义。运动康复实施过程的整体安全性良好。**结论** 基于 IMS 模型的 ICU 撤机困难患者早期运动方案可有效改善此类患者的运动能力,改善膈肌功能,提升自我照顾水平,舒缓焦虑状态,缩短患者的 MV 时间和 ICU 住院时间。

【关键词】 ICU 活动量表运动模型; 撤机困难; 运动方案; 实证研究**基金项目:** 国家临床重点专科项目(2021-263)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20241021-00503

Construction and empirical study of an early exercise protocol based on the ICU mobility scale model for difficult-to-wean intensive care unit patients

Sun Ruixiang¹, Jiang Haijiao¹, Jiang Xiaogan¹, Lu Weihua¹, Mei Guangliang¹, Fang Ke¹, Yu Jintian¹, Zhou Zhiqing^{1,2}¹Department of Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241002, China;²Department of Nursing, the First Affiliated Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241002, China

Corresponding author: Zhou Zhiqing, Email: 1274467404@qq.com

【Abstract】 Objective To investigate the clinical effectiveness of an early mobilization protocol based on the ICU mobility scale (IMS) movement model in intensive care unit (ICU) patients with difficult weaning from mechanical ventilation. **Methods** A quasi-experimental study design was adopted. Patients with difficult weaning admitted to the department of critical care medicine, the First Affiliated Hospital of Wannan Medical College, from February 2022 to February 2023 were assigned to the control group, while those admitted from March 2023 to March 2024 were allocated to the experimental group, all meeting predefined inclusion and exclusion criteria. The control group received conventional early rehabilitation activities, whereas the experimental group received an IMS model-based early mobilization protocol in addition to standard care. General demographic data, Medical Research Council (MRC), Barthel index score, and generalized anxiety disorder-7 (GAD-7) score at the time of enrollment and discharge, diaphragmatic ultrasound parameters (including diaphragm thickness, diaphragm thickening fraction, and diaphragm excursion) at the time of enrollment and 24 hours after extubation, and outcomes-related indicators of each group of patients were collected and compared. **Results** A total of 52 patients with difficult weaning were enrolled, including 25 in the control group and 27 in the experimental group. No significant differences were observed between the two groups in terms of gender, age, or other baseline characteristics, indicating comparability. There were no statistically significant differences in MRC scores or Barthel index scores between the groups at enrollment. However, at ICU discharge, the experimental

group showed significantly higher MRC scores (44.41 ± 2.61 vs. 35.32 ± 2.75) and Barthel index scores [45 (35, 45) vs. 40 (35, 45), both $P < 0.05$]. Regarding diaphragmatic ultrasound parameters, no significant differences were found between groups at baseline in diaphragm thickness, diaphragm thickening fraction, or diaphragm excursion. At discharge, the experimental group exhibited a significantly higher diaphragm thickening fraction 24 hours after extubation (%: 26.53 ± 3.74 vs. 24.31 ± 3.71 , $P < 0.05$) and greater diaphragm excursion (cm: 1.80 ± 0.40 vs. 1.52 ± 0.57 , $P < 0.05$). In terms of anxiety status, there was no significant difference in GAD-7 scores between groups at enrollment; however, at discharge, the experimental group had a significantly lower GAD-7 score [12.0 (8.5, 17.0) vs. 16.0 (15.0, 17.0), $P < 0.05$]. For clinical outcomes, the experimental group had significantly shorter durations of mechanical ventilation (MV) [hours: 144.00 (116.00, 304.00) vs. 396.00 (240.50, 606.50)] and ICU length of stay [days: 12.00 (8.00, 24.00) vs. 24.00 (18.00, 41.50)], both $P < 0.05$. No significant differences were observed between the two groups in total hospital stay, 48-hour reintubation rate, 48-hour ICU readmission rate, or total hospitalization cost. The overall safety profile during the implementation of the mobilization protocol was favorable. **Conclusion** The early mobilization protocol based on the IMS model for ICU patients with difficulty in weaning can effectively enhance exercise capacity, improve diaphragmatic function, elevate self-care capacity, alleviate anxiety, and shorten the duration of MV and ICU length of stay.

【Key words】 ICU mobility scale movement model; Difficult weaning; Mobilization protocol; Empirical study

Fund program: National Key Clinical Specialty Project (2021-263)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20241021-00503

机械通气 (mechanical ventilation, MV) 作为重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 患者重要的治疗手段之一,在改善患者机体氧供和内环境酸碱平衡紊乱等方面发挥重要作用,是治疗 ICU 患者的重要举措^[1]。在疾病本身和治疗需要等综合因素的影响下,ICU 患者短期内即可出现呼吸肌萎缩、获得性衰弱等 MV 并发症^[2],进而出现撤机困难。目前,国际上根据患者撤机难易程度和撤机时间将撤机结局分为 3 类情景,即简单撤机 [初次试验即可通过自主呼吸试验 (spontaneous breathing trial, SBT) 并成功撤机拔管]、困难撤机 (首次撤机失败后需要 SBT ≤ 3 次或首次 SBT 后需要 MV ≤ 7 d)、延迟撤机 (撤机失败 > 3 次或首次 SBT 后需要 MV > 7 d)^[3]。一旦患者发生困难撤机或延迟撤机,均被定义为撤机困难^[4]。相关研究显示,在计划性撤机患者中,首次撤机困难发生率高达 20%^[5],该数据在 MV > 48 h 的患者中更是高达 70%^[6],病死率为 25% ~ 50%^[7],严重威胁患者的预后。

因此,如何快速识别并尽早实施干预对促进 ICU 患者成功撤机显得尤为重要。尽管相关研究已证实运动等措施在 ICU 撤机困难中的积极作用,但目前国内外撤机困难的研究多集中在影响因素分析、个案、临床预测、综述或单一措施预防等方面,缺乏专门的运动指南指导^[8-12],且相关研究的干预方法与 ICU 患者的运动能力之间无明确的针对性,致使部分患者转出 ICU 时伴有不同程度的功能障碍^[11-12],严重影响患者的预后。ICU 活动量表 (ICU mobility scale, IMS) 是 Hodgson 等^[13]开发的客观测量 ICU 患者活动能力的模型工具,其 Kappa 系

数为 0.83 [95% 置信区间 (95% confidence interval, 95%CI) 为 0.76 ~ 0.90],可真实反映 ICU 患者的活动能力,在此基础上构建与 IMS 运动模型相匹配的运动方案可能更有针对性。

基于以上论述,本研究旨在构建基于 IMS 模型的 ICU 撤机困难患者的早期运动方案,并探讨其对 ICU 撤机困难患者撤机过程和结局指标的影响,为相关研究提供理论基础和实践参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象及分组: 采用非同期对照的类实验性研究方法,将皖南医学院第一附属医院重症医学科 2022 年 2 月至 2023 年 2 月收治的符合纳排标准的撤机困难患者作为对照组,2023 年 3 月至 2024 年 3 月收治的符合纳排标准的撤机困难患者作为试验组。

1.1.1 纳入标准: ① 年龄 ≥ 18 岁; ② 困难撤机或延迟撤机; ③ 小学及以上文化程度; ④ 认知功能正常,具有一定交流能力; ⑤ 知情同意,自愿签署知情同意书。

1.1.2 排除标准: ① 儿童和孕妇; ② 正在参与其他研究课题; ③ 伴有其他影响肢体活动或感觉的疾病,如颅脑创伤、脑血管病史、截瘫、重症肌无力、周围性低钾血症等造成神经肌肉病变的疾病; ④ 存在活动性出血或严重凝血障碍; ⑤ 四肢关节手术史; ⑥ 存在骨折、下肢血栓等必须制动情况; ⑦ 姑息治疗。

1.1.3 剔除或脱落标准: ① 患者治疗期间自行退出; ② 其他原因导致的非计划性出院或其他原因终止治疗; ③ 治疗期间出现其他严重并发症需停止治

疗;④未能按计划实施干预方案;⑤其他不可抗力因素导致患者治疗终止。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并获得患者知情同意和医院伦理委员会批准(审批号:2023-05)。

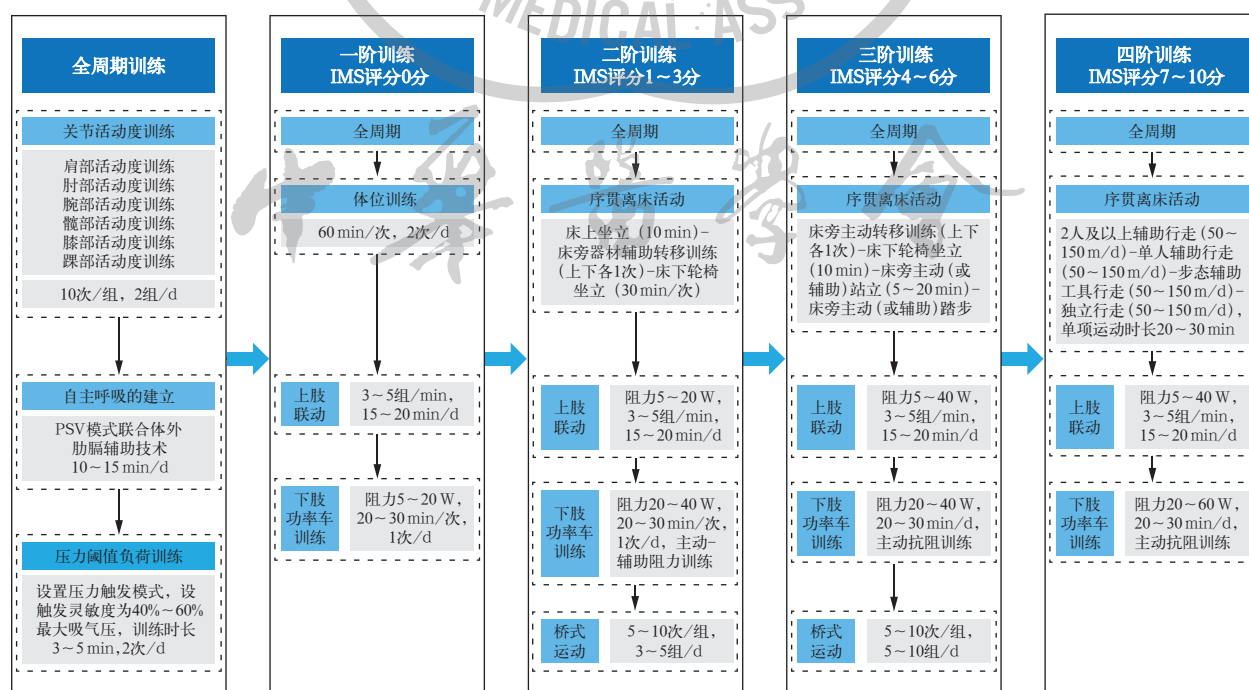
1.3 研究方法

1.3.1 对照组活动方案:对照组患者入组后接受 ICU 常规早期活动护理,包括每日对患者进行病情评估;设定镇静镇痛目标量;每日定时唤醒,评估能否脱机;按需做好良肢体位摆放;遵医嘱采取膈肌起搏治疗;物理疗法预防下肢静脉血栓;协助床上体位转换;大小便排便训练;按需行胃肠减压、灌肠、肛管排气等消化道治疗;协助有效咳嗽和震动排痰;由医生根据需求对患者进行早期活动指导。

1.3.2 试验组活动方案:试验组在对照组的基础上按照基于 IMS 运动模型的 ICU 撤机困难患者早期运动方案进行干预。所有患者均在 MV [低水平压力支持通气 (pressure support ventilation, PSV) 模式:压力支持 (pressure support, PS) 8~15 cmH₂O (1 cmH₂O=0.098 kPa), 呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP) 3~5 cmH₂O, 触发流速 0.2~2.0 L/min, 氧浓度 0.30~0.50] 支持下开展运动训练, 干预周期为自患者入组至转出 ICU [患者转出时需满足以下标准:①生命体征平稳, 如呼吸、循环、神经系统等

关键指标稳定;②无需高级生命支持, 如不再依赖 MV、血管活性药物、体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) 等;③经上级医师评估同意并查房确认, 与接收科室协商一致], 具体流程见图 1。

1.3.2.1 全周期干预策略策略:①关节活动度训练:每日开展肩部、肘部、腕部、髋部、膝部和踝部活动度训练, 各关节 10 次/组, 2 组/d。②自主呼吸的建立:针对自主呼吸微弱的患者, 实施 PSV 模式联合体外肋膈辅助诱发自主呼吸建立, 具体实施步骤为患者取 30°~45°坐立位, 调整呼吸机参数至 PSV 模式, 设 PS 8~15 cmH₂O、PEEP 3~5 cmH₂O、触发流速 0.2~2.0 L/min、氧浓度 0.30~0.50; 体外肋膈辅助技术为操作者立于患者右侧, 双手均匀张开置于左右肋区, 若患者无自主呼吸, 操作者双手向下向内辅助气体呼出, 深度 3~5 cm, 时长 2~3 s, 呼气末保持 0.5~1.0 s; 吸气相, 操作者双手向上向内外自然扩展 1~2 s (吸气末双手不离开胸壁平面), 保持模拟吸呼比 1:2~1:3, 诱发时间 10~15 min/d; 此过程中, 另一操作者调整呼吸参数, 根据患者自主呼吸水平, 逐级将触发流速由 0.2 L/min 调至 2.0 L/min, PS 由 15 cmH₂O 调至 8 cmH₂O, 直至达到撤机指征。③压力阈值负荷训练:患者清醒时, 设置压力触发模式, 设触发灵敏度为 40%~60% 最大吸气压, 训



注: IMS 为 ICU 活动量表, ICU 为重症监护病房, PSV 为压力支持通气

图1 基于IMS运动模型的ICU撤机困难患者的早期运动方案流程图

练时长 3~5 min/次, 2 次/d。

1.3.2.2 IMS 评分 0 分(无自主活动)患者: 在全周期干预策略的基础上, 开展以下运动方案: ① 体位训练: 直立床训练, 患者床身抬高 30°, 每 5 min 抬高 15°, 直至 75° 体位; 若患者不能耐受, 则重新回到上一阶段水平, 10 min 后重新训练; 若仍不能维持当前强度则退回上阶段训练, 每日累积 2 h, 次日调整至新强度。② 上肢联动: 患者左右上肢固定于上肢功率车, 单侧肢体 1 次升降算 1 轮, 每组 10 轮, 被动训练 3~5 组/min, 维持 15~20 min。③ 下肢功率车训练: 患者左右下肢固定于功率车, 设被动模式, 即踏频 45~60 次/min, 阻力 5~20 W, 被动训练 20~30 min/d。

1.3.2.3 IMS 评分 1~3 分(床上稳定坐立-床下稳定坐立)患者: 在 IMS 评分 0 分运动方案的基础上, 开展以下运动方案: ① 序贯离床活动: 床上坐立(10 min)-床旁器材辅助转移训练(上下各 1 次)-床下轮椅坐立(30 min)。② 上肢联动: 患者左右上肢固定于上肢功率车, 单侧肢体 1 次升降算 1 轮, 每组 10 轮, 被动训练 3~5 组/min, 阻力 5~20 W, 维持 15~20 min。③ 下肢功率车训练: 患者左右下肢固定于功率车, 设反馈运动模式, 即踏频 45~60 次/min, 阻力 20~40 W, 主动-辅助阻力训练 20~30 min/d; ④ 桥式运动: 患者平卧位, 双腿并拢垂直平面, 双臂自然放于身体两侧, 双腿发力臀部离开床面, 维持 3~5 s, 休息 5~10 s 后重新发力, 5~10 次/组, 3~5 组/d。

1.3.2.4 IMS 评分 4~6 分(床旁辅助站立-床旁辅助原地踏步)患者: 在 IMS 评分 1~3 分运动方案的基础上, 开展以下运动方案: ① 序贯离床活动: 床旁主动转移训练(上下各 1 次)-床下轮椅坐立(10 min)-床旁主动(或辅助)站立(5~20 min)-床旁主动(或辅助)踏步(左右交替抬脚计 1 轮, 每组 5~10 轮, 5~10 组/d)。② 上肢联动: 每组 10 轮, 主动训练 3~5 组/min, 阻力 5~40 W, 维持 15~20 min。③ 下肢功率车训练: 设主动抗阻模式, 踏频 45~60 次/min, 阻力 20~40 W, 主动抗阻训练 20~30 min/d; ④ 桥式运动 5~10 次/组, 5~10 组/d。

1.3.2.5 IMS 评分 7~10 分(辅助行走-独立行走)患者: 在 IMS 评分 4~6 分运动方案的基础上, 开展以下运动方案: ① 序贯离床活动: 2 人及以上辅助行走(单次行走距离 5 m, 间歇 1~5 min, 50~150 m/d, 运动时长 20~30 min)-单人辅助行走(单次行走距离 5 m, 间歇 1~5 min, 50~150 m/d, 运动时长 20~

30 min)-步态辅助工具行走(单次行走距离 5 m, 间歇 1~5 min, 50~150 m/d, 运动时长 20~30 min)-独立行走(单次行走距离 5 m, 间歇 1~5 min, 50~150 m/d, 运动时长 20~30 min)。② 上肢联动: 每组 10 轮, 抗阻训练 5~10 组/min, 阻力 5~40 W, 维持 15~20 min。③ 下肢功率车训练: 设主动抗阻模式, 踏频 45~60 次/min, 阻力 20~60 W, 20~30 min/d。

1.4 观察指标: 使用课题组自行设计的一般资料调查量表, 于患者入组 24 h 内收集年龄、性别、基础疾病、生命体征、血气分析、影像学资料、序贯器官衰竭评分(sequential organ failure assessment, SOFA)、急性生理学与慢性健康状况评分 II(acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)、临床肺部感染评分(clinical pulmonary infection score, CPIS); 收集患者英国医学研究委员会评分(Medical Research Council, MRC)、Barthel 指数评分、广泛性焦虑量表(generalized anxiety disorder-7, GAD-7)评分、预后相关指标(包括 MV 时间、ICU 住院时间、总住院时间、48 h 再插管率、48 h 重返 ICU 率等), 每日由项目组成员完成数据收集并上传至医院信息系统(hospital information system, HIS)。

1.5 质量控制(质控): 课题组对执行团队的进行了严格的同质化筛选和培训。所有运动康复执行团队成员必须参与课题相关理论和实践知识的培训, 所有培训资料均经医院管理系统上传至终端, 终端接口设置查看时间和考核, 所有课题组成员均需培训合格后方可上岗。所有患者的干预均由同一组主任医师、康复治疗师、康复专科护士、责任护士进行措施的落实、评估和反馈记录。评估记录产生的数据, 需在当前班次内上传至 HIS 系统, 如遇到数据上传错误需要修改, 需填写《数据更改申请表》并将原始资料一并交至数据安全委员会, 由数据安全委会仲裁公示, 公示期结束后方可更改, 重新上传数据。影像学资料数据由两位具备资质的执业医师测量后取平均值, 若数据相差较大, 需由第 3 位评估者评估后取 3 次的平均值。所有试验数据均由两名研究生从 HIS 系统收集。治疗组组长、护士长进行全周期的质控, 在措施执行过程中, 对过程及结局事件进行评价和控制, 保证干预方案真实、有效、高质量落实。研究方案数据的质控, 由两名研究生分别从 HIS 系统和纸质记录单中提取所需数据并录入 Excel 表后进行函数比对, 确认无误后方可进入数据分析阶段。若遇到比对错误, 需在质控人员的督导

下,查阅原始文案进行数据比对,核对无误后方可进入数据分析阶段。数据分析时根据统计专家的建议选择合适的统计学方法,保证统计方法和分析结果的准确性。

1.6 统计学方法:所收集资料由双人分别录入到 WPS office 软件中,形成的原始资料运用函数比对无误后,形成最终分析资料,导入 SPSS 22.0 软件对最终的数据进行统计分析。正态分布且方差齐的计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,两组间采用独立样本 t 检验;非正态分布或方差不齐的计量资料以中位数(四分位数)[$M(Q_1, Q_3)$]表示,两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验,多组间比较采用非参数 Kruskal-Wallis H 检验。计数资料以率表示,组间比较采用 χ^2 检验。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

2.1 患者基线资料(表 1):共入组 52 例 ICU 撤机困难患者,其中对照组 25 例,试验组 27 例。两组患者在入组时年龄、性别、基础疾病、心率、平均动脉压、射血分数(ejection fraction, EF)值、pH 值、血乳酸、氧合指数(oxygenation index, PaO_2/FiO_2)、SOFA 评分、APACHE II 评分、CPIS 评分方面差异均无统计学意义(均 $P>0.05$;表 1),具有可比性。

表 1 不同活动方案两组 ICU 撤机困难患者入组时的一般资料比较				
指标	对照组 ($n=25$)	试验组 ($n=27$)	t/χ^2 值	P 值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	65.16 \pm 12.13	64.96 \pm 12.71	0.065	0.948
性别[例(%)]			0.090	0.764
男性	14(56)	14(52)		
女性	11(44)	13(48)		
基础疾病[例(%)]			3.097	0.377
糖尿病	14(56)	11(41)		
高血压	9(36)	5(19)		
高血脂	1(4)	4(15)		
COPD	9(36)	7(26)		
心率(次/min, $\bar{x} \pm s$)	80.60 \pm 14.91	82.74 \pm 17.87	-0.556	0.580
平均动脉压(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	67.32 \pm 8.75	66.41 \pm 9.01	0.422	0.674
EF 值(% , $\bar{x} \pm s$)	48.64 \pm 5.32	50.88 \pm 5.92	-1.620	0.109
pH 值($\bar{x} \pm s$)	7.40 \pm 0.06	7.41 \pm 0.06	-0.888	0.377
血乳酸(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	1.93 \pm 0.55	2.14 \pm 0.54	-1.583	0.118
PaO_2/FiO_2 (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	180.96 \pm 52.53	178.63 \pm 67.09	0.153	0.879
SOFA 评分(分, $\bar{x} \pm s$)	11.80 \pm 4.41	11.07 \pm 4.67	0.654	0.515
APACHE II 评分(分, $\bar{x} \pm s$)	25.20 \pm 8.46	24.59 \pm 6.57	0.348	0.729
CPIS 评分(分, $\bar{x} \pm s$)	4.84 \pm 1.40	5.37 \pm 1.87	-1.263	0.210

注:对照组采取常规早期康复活动,试验组在常规康复基础上采取基于 ICU 活动量表(IMS)运动模型的重症监护病房(ICU)困难撤机患者早期运动方案;COPD 为慢性阻塞性肺疾病,EF 为射血分数, PaO_2/FiO_2 为氧合指数,SOFA 为序贯器官衰竭评分,APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II,CPIS 为临床肺部感染评分;1 mmHg=0.133 kPa

2.2 不同活动方案两组患者治疗前后 MRC 评分和 Barthel 指数评分比较(表 2):两组患者入组时 MRC 评分和 Barthel 指数评分差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);试验组转出时 MRC 评分和 Barthel 指数评分均明显高于同期对照组(均 $P<0.05$)。

表 2 不同活动方案两组 ICU 撤机困难患者治疗前后 MRC 评分和 Barthel 指数评分比较				
组别	时间	例数 (例)	MRC 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	Barthel 指数评分 (分, $M(Q_1, Q_3)$)
对照组	入组时	25	49.20 \pm 2.60	10(10, 15)
	转出时	25	35.32 \pm 2.75	40(35, 45)
试验组	入组时	27	49.56 \pm 2.42	10(5, 15)
	转出时	27	44.41 \pm 2.61 ^a	45(35, 45) ^a

注:对照组采取常规早期康复活动,试验组在常规康复基础上采取基于 ICU 活动量表(IMS)运动模型的重症监护病房(ICU)困难撤机患者早期运动方案;MRC 为英国医学研究委员会评分;与对照组同期比较,^a $P<0.05$

2.3 不同活动方案两组患者治疗前后膈肌超声指标比较(表 3):两组患者入组时膈肌厚度、膈肌增厚分数和膈肌移动度差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);试验组拔管后 24 h 膈肌增厚分数明显高于同期对照组,膈肌移动度明显大于同期对照组(均 $P<0.05$)。

表 3 不同活动方案两组 ICU 撤机困难患者治疗前后膈肌超声指标比较($\bar{x} \pm s$)					
组别	时间	例数 (例)	膈肌厚度 (cm)	膈肌增厚分数 (%)	膈肌移动度 (cm)
对照组	入组时	25	0.25 \pm 0.05	28.17 \pm 3.98	1.81 \pm 0.62
	拔管后 24 h	25	0.24 \pm 0.06	24.31 \pm 3.71 ^a	1.52 \pm 0.57
试验组	入组时	27	0.26 \pm 0.05	27.86 \pm 3.67	1.86 \pm 0.51
	拔管后 24 h	27	0.23 \pm 0.05	26.53 \pm 3.74 ^b	1.80 \pm 0.40 ^b

注:对照组采取常规早期康复活动,试验组在常规康复基础上采取基于 ICU 活动量表(IMS)运动模型的重症监护病房(ICU)困难撤机患者早期运动方案;与本组入组时比较,^a $P<0.05$;与对照组同期比较,^b $P<0.05$

2.4 不同活动方案两组患者治疗前后焦虑状态指标比较:两组患者入组时 GAD-7 评分差异无统计学意义[分:16.0(15.5, 18.0)比 17.0(15.0, 17.0), $P>0.05$];试验组转出时 GAD-7 评分明显低于同期对照组[分:12.0(8.5, 17.0)比 16.0(15.0, 17.0), $P<0.05$]。

2.5 不同活动方案两组患者预后相关指标比较(表 4):试验组 MV 时间和 ICU 住院时间均明显短于对照组(均 $P<0.05$);两组间总住院时间、48 h 再插管率、48 h 重返 ICU 率和总住院费用差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。

表 4 不同活动方案两组 ICU 撤机困难患者
预后相关指标比较

组别	例数 (例)	MV 时间 [h, $M(Q_1, Q_3)$]	ICU 住院时间 [d, $M(Q_1, Q_3)$]	总住院时间 [d, $M(Q_1, Q_3)$]
对照组	25	396.00 (240.50, 606.50)	24.00 (18.00, 41.50)	30.00 (20.00, 40.50)
试验组	27	144.00 (116.00, 304.00)	12.00 (8.00, 24.00)	25.00 (17.00, 40.00)
Z 值		-2.573	-2.483	-0.878
P 值		0.010	0.013	0.380

组别	例数 (例)	48 h 再插管率 [% (例)]	48 h 重返 ICU 率 [% (例)]	总住院费用 [万元, $M(Q_1, Q_3)$]
对照组	25	12 (3)	16 (4)	18.50 (14.39, 38.75)
试验组	27	7 (2)	4 (1)	14.13 (9.52, 24.45)
χ^2/Z 值		0.008	1.065	-1.557
P 值		0.302	0.302	0.120

注：对照组采取常规早期康复活动，试验组在常规康复基础上采取基于 ICU 活动量表 (IMS) 运动模型的重症监护病房 (ICU) 困难撤机患者早期运动方案；MV 为机械通气

2.6 两组患者治疗前后不良事件发生情况：运动康复实施过程中，试验组有 1 例患者氧合下降超过 0.04，但氧饱和度最低值仍 >0.94 ，课题组基于安全需要，降低运动强度后患者氧合恢复到基线水平，未造成不良后果，整体安全性良好。

3 讨论

3.1 ICU 撤机困难患者的救治现状依然严峻，全流程的早期识别、管理是关键：受疾病谱变化和老龄化加剧等综合因素的影响，全球慢性病和相关慢性危重病患者的患病率逐年升高^[14]，每年有高达 2 000 万例患者需要入住 ICU 并接受 MV 治疗^[15]。MV 作为危重症患者救治的重大支持手段之一，可有效提高危重患者的短期生存率，但部分患者受内外因素的综合影响可出现部分或完全呼吸机依赖。相关研究提示，在 ICU 内接受 MV 治疗的成人患者，6 h 内就可出现膈肌力量丧失，并在 6 d 内功能逐渐恶化，累及全身肌群^[16]。部分接受 MV 治疗的患者撤机时受获得性衰弱、脓毒症、皮质类固醇肌病和膈神经损伤、过度镇静或镇痛等多重因素的影响，出现呼吸肌负荷和呼吸肌能力之间的不平衡，导致吸气肌努力增加，进而出现脱机失败^[17]，部分报道其发生率可高达 70%^[6]，给患者、医务工作者和卫生服务机构带来了大量的临床问题，不仅占用大量的人力和财力资源，长期预后也不容乐观^[18]。为最大程度地降低 MV 患者撤机困难的发生率，改善患者的预后，当务之急便是自患者接受 MV 开始，确定减少 MV 支持的最佳管理策略^[6]。

截至目前，受多方面因素的影响，MV 患者能否

成功撤机、如何开展早期干预、采取何种方法来改善患者的预后，部分研究结果仍然存在争议，尚未建立最佳的干预策略^[19]，部分研究的干预方案与 ICU 患者的运动能力之间无明确的针对性，缺乏专门的运动指南指导，需要临床进一步研究佐证。基于以上研究基础，构建一种与患者运动模型相匹配的运动方案可能更具有针对性。

3.2 早期运动康复可使 ICU 撤机困难患者受益，但依然面临着重大的实施问题：相关文献报道显示，通过早期的运动康复，如被动、主动和（或）阻力练习、床上活动、床椅转移等，可对 MV 撤机困难患者产生积极影响^[20]。然而，不同的研究结果提示患者获得的效益各不相同。Morris 等^[21]的研究表明，大量患者仅在出院后才能从早期康复活动中受益；而其他的相关研究则提示，早期的运动康复介入可改善患者的过程和结局指标，加速患者的康复过程，缩短 MV 时间^[22-23]。究其原因可能与受人力资源等因素制约，大多数 ICU 未充分开展早期康复有关。Zanni 等^[24]的调查研究显示，受人力资源等客观因素的影响，高达 56% 的患者未能接受高质量的康复治疗干预，运动康复多以床上运动为主，离床运动的实施率低至 4%^[25]，使得当前的运动强度无法与患者的实际活动能力相匹配，推迟了更高等级强度的训练，影响患者的康复进程。因此，一种与患者实际运动能力相匹配的训练方案可能是突破点。

3.3 基于 IMS 运动模型的康复方案可改善 MV 撤机困难患者的运动、自理能力，缓解焦虑状态：本研究在之前研究的基础上，通过组建以“医生、康复治疗师、呼吸治疗师、康复专科护士、责任护士”为主体的多学科救治团队，充分发挥人力资源优势，构建了一套与患者运动能力相匹配的训练方案，即基于 IMS 运动模型的早期康复策略，以期改善患者的结局。相关研究显示，膈肌增厚分数和膈肌移动度对 MV 患者能否成功撤机具有较高的预测价值，膈肌每摆动 1 cm 可增加患者约 350 ~ 500 mL 的潮气量^[9, 26]，这也是本研究的研究基础。方案实施后，试验组患者膈肌增厚分数和膈肌移动度较对照组显著改善，这也为患者的成功撤机和运动能力的提升提供了重要基础；其潜在的受益途径可能包含直接和间接两个层面：首先，此方案实施的过程当中，通过全周期的压力阈值负荷训练，直接作用于吸气肌，短期内提升了患者的吸气肌力量，膈肌功能得到显著改善，这与 Elkins 和 Dentice^[6]的研究基本一致。

需引起注意的是,当前吸气肌负荷训练在不同研究之间差异很大,其训练方法参差不齐、训练时长长短不一。尽管相关研究证实了吸气肌负荷训练的安全性,但一项单中心研究也报道了反常呼吸(5%)、呼吸急促(4%)、氧饱和度降低(3%)、血流动力学不稳定(2%)等不良事件的发生^[27]。有文献回顾显示,相较以往研究,该研究采取阈值负荷训练的时间较长,未明确提出间歇休息的调整方案,单次训练时长达 30 min,可能是其发生不良事件的潜在机制^[28]。因此,本次方案实施过程中严格控制终止指征和单次时间(采取 3~5 min),吸气肌负荷训练和其他抗阻训练间隔 10 min 以上,避免患者出现呼吸衰竭和其他不良事件,全周期压力负荷训练过程中未见不良事件发生,安全性较高。其次,通过构建与患者运动能力相匹配的活动方案,在运动中充分调动患者的全身肌群,适当的运动强度使得患者在运动负荷中全身氧耗稳定增加,被动引起患者肺功能发生适应性改变,这也可能是其潜在的受益机制之一。

方案实施后,试验组患者的整体运动能力(MRC 评分)得到显著改善,有效地遏止了患者的衰弱进程,这与研究[22-23]结果基本一致;但需要引起注意的是,受疾病因素等综合影响,患者转出时仍存在不同程度的衰弱现象[MRC 评分(44.41 ± 2.61)分],需进一步探讨其内在机制和优化综合管理,以期持续改善患者的运动能力和预后。

此外,本研究显示,基于 IMS 运动模型的早期康复策略实施后,试验组患者的自理能力和焦虑状态得到显著改善,其中自理能力提升可能与患者运动干预后具有较高的肺功能和运动能力有关。患者的焦虑状态得到显著缓解,其潜在的机制可能与运动本身导致机体释放 β -内啡肽和神经递质多巴胺有关,因其二者具有镇静和镇痛的作用,可在某种程度上减轻焦虑症状^[29];同时,伴随患者运动能力的提升和自理能力的提高,患者从失能状态中恢复过来,也可能是患者焦虑症状得到改善的重要原因之一。

3.4 基于 IMS 运动模型的康复方案可改善 MV 撤机困难患者的过程和结局,具有较高的安全性:受多种因素的影响,一旦患者进展为撤机困难状态,常导致住院时间延长、致死和致残率升高,严重影响患者的预后^[1-2]。本研究结果证实,基于 IMS 运动模型的康复方案可显著缩短试验组患者的 MV 时间和 ICU 住院时间,这与研究[22,29]结果基本一致。遗憾的是,两组间总住院时间、48 h 重返率、48 h 再

插管率、总住院费用差异无统计学意义。可能与以下原因有关:首先,相较于非撤机困难患者,撤机困难患者病情更加复杂多变,在年龄(>65 岁)、合并症[肾功能不全、心功能不全、慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)]和各种实验室参数[血小板计数(platelet count, PLT)降低、血尿素氮升高、肌酐升高、血清白蛋白降低、血糖升高、高钠血症、 HCO_3^- 或 pH 值较低、动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO_2)较高等]的综合影响下^[30-32],患者短期内可进展为撤机困难,一旦并发撤机困难状态,患者短期内住院期间病死率显著升高,幸存者受其影响可达 5 年以上,恢复较慢^[33],增加了 60% 的治疗费用^[34],给临床救治增添了不确定性。其次,本研究纳入的两组患者病情较重,APACHE II 评分和 SOFA 评分均高于普遍危重患者,可能会对部分结局指标产生影响。此外,本研究为单中心、小样本量研究,未对该类患者开展转出 ICU 后的康复措施落实的督导,需进一步扩大样本量、开展持续措施的落实,以控制潜在的混杂因素来验证方案对总住院时间、48 h 再插管率、48 h 重返 ICU 率、总住院费用的作用。

本研究实施过程具有较高的安全性,运动康复实施过程中,试验组仅 1 例患者出现氧合下降超过 0.04 的情况,但氧饱和度最低值依然 >0.94 ,课题组基于安全需要,降低运动强度后患者氧合恢复到基线水平,未造成不良后果,安全性良好。

3.5 创新性和局限性:本研究以危重症患者 IMS 运动模型为切入点,构建与患者实际活动能力相匹配的运动方案,并探讨该方案在 MV 撤机困难患者临床救治中的作用,为解决该类型的临床问题提供了新思路,推动相关临床研究的进一步发展。本研究是一项单中心、非同期对照的小样本量类实验性研究,涉及的患者群体为广泛的 ICU 患者,该群体具有多样性和个体差异性等特征,可能导致研究结果的差异。受限于本研究的局限性,受样本量影响,小样本可能会导致结果的偶然性增加,这一部分的混合偏倚可能会影响结论的可靠性。本研究中,由于救治措施涉及多种康复手段的组合,这增加了研究的复杂性,不同治疗手段之间的相互作用也可能导致结果的不确定性,需要进一步扩大样本量和多元分析来验证研究成果。

4 小 结

通过基于 IMS 运动模型康复方案的构建和实证

研究,证明了实施方案的可行性、安全性、有效性和可推广性,可有效改善患者的运动能力和膈肌功能,提升自我照顾水平,舒缓患者的焦虑状态,缩短 MV 时间和 ICU 住院时间,一定程度上减少了并发症的发生,为该类型患者的临床救治提供了重要参考。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 孙瑞祥:课题酝酿、设计实验、实验操作、数据采集和整理、数据分析和解释、文章撰写;江海娇、姜小敢:课题酝酿、设计实验、对文章的知识性内容作批评性审阅、行政支持;鲁卫华:课题酝酿、设计实验、对文章的知识性内容作批评性审阅、行政支持、经费支持;梅光亮:课题酝酿、设计实验、数据分析和解释、文章撰写;方可:课题酝酿、设计实验、实验操作、数据采集和整理;余金甜:课题酝酿、设计实验、实验操作、数据采集和整理、数据分析和解释、经费支持;周志庆:课题酝酿、设计实验、对文章的知识性内容作批评性审阅、经费支持

参考文献

- [1] Pham T, Brochard LJ, Slutsky AS. Mechanical ventilation: state of the art [J]. *Mayo Clin Proc*, 2017, 92 (9): 1382–1400. DOI: 10.1016/j.mayocp.2017.05.004.
- [2] 王娇,张秀琰,张玉想.高流量湿化氧序贯撤机模式在老年撤机困难患者中的应用效果[J].*中国急救医学*, 2021, 41 (5): 374–379. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2021.05.002.
- [3] Boles JM, Bion J, Connors A, et al. Weaning from mechanical ventilation [J]. *Eur Respir J*, 2007, 29 (5): 1033–1056. DOI: 10.1183/09031936.00010206.
- [4] 杨子浩,张晨美.困难撤机患儿的综合康复干预策略[J].*中国小儿急救医学*, 2020, 27 (6): 430–433. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2020.06.007.
- [5] Thille AW, Cortés-Puch I, Esteban A. Weaning from the ventilator and extubation in ICU [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2013, 19 (1): 57–64. DOI: 10.1097/MCC.0b013e32835c5095.
- [6] Elkins M, Dentice R. Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in the intensive care unit: a systematic review [J]. *J Physiother*, 2015, 61 (3): 125–134. DOI: 10.1016/j.jphys.2015.05.016.
- [7] Thille AW, Richard JC, Brochard L. The decision to extubate in the intensive care unit [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 187 (12): 1294–1302. DOI: 10.1164/rccm.201208-1523CI.
- [8] 王诗雅,蒋振杰,张宝珠,等.低水平辅助通气与 T 管法对机械通气患者撤机时呼吸力学的影响比较[J].*中华危重病急救医学*, 2021, 33 (6): 697–701. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20201026-00686.
- [9] 孙瑞祥,方可,江海娇,等.膈肌增厚分数联合 MRC 评分对 ICU 获得性衰弱患者机械通气撤机结局的预测价值[J].*中华危重病急救医学*, 2023, 35 (10): 1080–1084. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230404-00241.
- [10] HIGH-WEAN Study Group and for the REVA Research Network. Pressure-support ventilation vs T-piece during spontaneous breathing trials before extubation among patients at high risk of extubation failure: a post-hoc analysis of a clinical trial [J]. *Chest*, 2020, 158 (4): 1446–1455. DOI: 10.1016/j.chest.2020.04.053.
- [11] Michels JD, Trudzinski FC, Bornitz F, et al. Costs of weaning failure: a prospective, multicentre, controlled, non-randomised, interventional study on economic implications for the German Health Care System [J]. *Respiration*, 2023, 102 (9): 813–820. DOI: 10.1159/000533333.
- [12] Vignon P. Cardiopulmonary interactions during ventilator weaning [J]. *Front Physiol*, 2023, 14: 1275100. DOI: 10.3389/fphys.2023.1275100.
- [13] Hodgson C, Needham D, Haines K, et al. Feasibility and inter-rater reliability of the ICU mobility scale [J]. *Heart Lung*, 2014, 43 (1): 19–24. DOI: 10.1016/j.hrtlung.2013.11.003. Erratum in: *Heart Lung*, 2014, 43 (4): 388.
- [14] Kontis V, Bennett JE, Mathers CD, et al. Future life expectancy in 35 industrialised countries: projections with a Bayesian model ensemble [J]. *Lancet*, 2017, 389 (10076): 1323–1335. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)32381-9.
- [15] Ambrosino N, Gabbriellini L. The difficult-to-wean patient [J]. *Expert Rev Respir Med*, 2010, 4 (5): 685–692. DOI: 10.1586/ers.10.58.
- [16] Jaber S, Petrof BJ, Jung B, et al. Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011, 183 (3): 364–371. DOI: 10.1164/rccm.201004-0670OC.
- [17] Magalhães PAF, Camillo CA, Langer D, et al. Weaning failure and respiratory muscle function: What has been done and what can be improved? [J]. *Respir Med*, 2018, 134: 54–61. DOI: 10.1016/j.rmed.2017.11.023.
- [18] Hill AD, Fowler RA, Burns KE, et al. Long-term outcomes and health care utilization after prolonged mechanical ventilation [J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2017, 14 (3): 355–362. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201610-792OC.
- [19] McConville JF, Kress JP. Weaning patients from the ventilator [J]. *N Engl J Med*, 2013, 368 (11): 1068–1069. DOI: 10.1056/NEJMc1300398.
- [20] Cameron S, Ball I, Cepinskas G, et al. Early mobilization in the critical care unit: a review of adult and pediatric literature [J]. *J Crit Care*, 2015, 30 (4): 664–672. DOI: 10.1016/j.jcrc.2015.03.032.
- [21] Morris PE, Griffin L, Berry M, et al. Receiving early mobility during an intensive care unit admission is a predictor of improved outcomes in acute respiratory failure [J]. *Am J Med Sci*, 2011, 341 (5): 373–377. DOI: 10.1097/MAJ.0b013e32831820ab4f6.
- [22] Patsaki I, Gerovasili V, Sidiras G, et al. Effect of neuromuscular stimulation and individualized rehabilitation on muscle strength in Intensive Care Unit survivors: a randomized trial [J]. *J Crit Care*, 2017, 40: 76–82. DOI: 10.1016/j.jcrc.2017.03.014.
- [23] Veldema J, Bösl K, Kugler P, et al. Cycle ergometer training vs resistance training in ICU-acquired weakness [J]. *Acta Neurol Scand*, 2019, 140 (1): 62–71. DOI: 10.1111/ane.13102.
- [24] Zanni JM, Korupolu R, Fan E, et al. Rehabilitation therapy and outcomes in acute respiratory failure: an observational pilot project [J]. *J Crit Care*, 2010, 25 (2): 254–262. DOI: 10.1016/j.jcrc.2009.10.010.
- [25] Nydahl P, Ruhl AP, Bartoszek G, et al. Early mobilization of mechanically ventilated patients: a 1-day point-prevalence study in Germany [J]. *Crit Care Med*, 2014, 42 (5): 1178–1186. DOI: 10.1097/CCM.0000000000000149.
- [26] 张磊,陈国忠,王华英,等.膈肌超声联合评估对急性呼吸衰竭机械通气患者撤机结局的预测价值[J].*中华危重病急救医学*, 2022, 34 (9): 941–946. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220303-00200.
- [27] Vorona S, Sabatini U, Al-Maqbali S, et al. Inspiratory muscle rehabilitation in critically ill adults. A systematic review and Meta-analysis [J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2018, 15 (6): 735–744. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201712-961OC.
- [28] Caruso P, Denari SD, Ruiz SA, et al. Inspiratory muscle training is ineffective in mechanically ventilated critically ill patients [J]. *Clinics (Sao Paulo)*, 2005, 60 (6): 479–484. DOI: 10.1590/s1807-59322005000600009.
- [29] Di Meo S, Napolitano G, Venditti P. Mediators of physical activity protection against ROS-linked skeletal muscle damage [J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20 (12): 3024. DOI: 10.3390/ijms20123024.
- [30] Chang YC, Huang KT, Chen YM, et al. Ventilator dependence risk score for the prediction of prolonged mechanical ventilation in patients who survive sepsis/septic shock with respiratory failure [J]. *Sci Rep*, 2018, 8 (1): 5650. DOI: 10.1038/s41598-018-24028-4.
- [31] Clark PA, Inocencio RC, Lettieri CJ. I-TRACH: validating a tool for predicting prolonged mechanical ventilation [J]. *J Intensive Care Med*, 2018, 33 (10): 567–573. DOI: 10.1177/0885066616679974.
- [32] Wang X, Long Y, He HW, et al. Left ventricular-arterial coupling is associated with prolonged mechanical ventilation in severe post-cardiac surgery patients: an observational study [J]. *BMC Anesthesiol*, 2018, 18 (1): 184. DOI: 10.1186/s12871-018-0649-7.
- [33] Thille AW, Boissier F, Ben Ghezala H, et al. Risk factors for and prediction by caregivers of extubation failure in ICU patients: a prospective study [J]. *Crit Care Med*, 2015, 43 (3): 613–620. DOI: 10.1097/CCM.0000000000000748.
- [34] Wieseke L, Dettling-Ihnenfeldt DS, Verhamme C, et al. Impact of ICU-acquired weakness on post-ICU physical functioning: a follow-up study [J]. *Crit Care*, 2015, 19 (1): 196. DOI: 10.1186/s13054-015-0937-2.

(收稿日期: 2024-10-21)

(本文编辑: 张耘菲)