

# 神经肌肉电刺激对 ICU 机械通气患者肌力影响的累积 Meta 分析与试验序贯分析

李瑛<sup>1,2</sup> 侯铃宇<sup>2</sup> 朱建庭<sup>1,2</sup> 刘丽萍<sup>1,2</sup> 李冬英<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南昌大学第二附属医院重症医学科,江西南昌 330000; <sup>2</sup>南昌大学护理学院,江西南昌 330006  
通信作者:李冬英,Email:sunfang100@126.com

**【摘要】** 目的 应用累积 Meta 分析与试验序贯分析(TSA)评价神经肌肉电刺激(NMES)对机械通气患者肌力和机械通气时间的影响。方法 应用计算机分别检索美国国立医学图书馆 PubMed 数据库、荷兰医学文摘 EMBase 数据库、科学网(Web of Science)、中国生物医学文献服务系统(SinoMed)、中国知网(CNKI)、万方数据、维普等中英文数据库,从建库至 2021 年 7 月 15 日公开发表的有关 NMES 干预用于重症监护病房(ICU)机械通气患者的随机对照试验(RCT)。对照组采用 ICU 常规护理或康复训练;试验组在 ICU 常规护理基础上进行 NMES(低频电流通过电极刺激使肌肉群抽搐或收缩)。由 2 名研究者独立筛选文献、评价文献及提取相关数据。数据提取完成后利用 STATA 15.0 与 TSA 软件对数据进行分析,并对研究结果进行评价。结果 共纳入 9 篇文献,包括研究对象 619 例。纳入 9 篇文献中,2 篇质量等级为 A 级,7 篇为 B 级,文献总体质量较好。累积 Meta 分析结果显示,与 ICU 常规护理比较, NMES 能够改善机械通气患者的肌力[标准化均数差(SMD)=0.64, 95%可信区间(95%CI)为 0.07~1.21],缩短机械通气时间(SMD=-1.84, 95%CI 为 -2.58~-1.10)。分别对 2 个结局指标进行 TSA 分析显示,肌力结局指标样本量( $n=518$ )与机械通气结局指标样本量( $n=419$ )最终均未达到期望信息量(RIS;  $n$  值分别为 618、685);肌力结局指标中累积 Z 值线穿过了传统界值线与 TSA 界值线,说明无需更多的试验来验证此结果;在机械通气时间结局指标中发现累积 Z 值线仅穿过了传统界值线,并未穿过 TSA 界值线,说明今后还需继续开展此方面的研究,对该结果进行论证。结论 NMES 能够改善 ICU 患者的肌力,缩短机械通气时间。

**【关键词】** 神经肌肉电刺激; 机械通气; 累积 Meta 分析

基金项目:江西省研究生创新专项(YC2020-S139);江西省重点研发计划项目(20202BBGL73043)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210915-01375

## Effect of neuromuscular electrical stimulation on muscle strength in patients with mechanical ventilation in intensive care unit: cumulative Meta-analysis and trial sequential analysis

Li Ying<sup>1,2</sup>, Hou Lingyu<sup>2</sup>, Zhu Jianting<sup>1,2</sup>, Liu Liping<sup>1,2</sup>, Li Dongying<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Critical Care Medicine, Second Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330000, Jiangxi, China; <sup>2</sup>School of Nursing, Nanchang University, Nanchang 330006, Jiangxi, China

Corresponding author: Li Dongying, Email: sunfang100@126.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the effect of neuromuscular electrical stimulation (NMES) on muscle strength and duration of mechanical ventilation through cumulative Meta-analysis and sequential trial analysis (TSA). **Methods** Randomized controlled trial (RCT) of NMES intervention in intensive care unit (ICU) patients with mechanical ventilation were searched from PubMed database of US National Library of Medicine, EMBase database of Netherlands Medical Abstract, Web of Science, SinoMed database of China, CNKI, Wanfang data, VIP and other Chinese and English databases from database construction to July 15, 2021. The control group received ICU routine nursing or rehabilitation exercise; the experimental group received NMES (low frequency electric current through electrode stimulation to make muscle groups twitch or contract) based on routine care in ICU. Relevant data were screened, evaluated and extracted by two researchers independently. After extracting data, STATA 15.0 and TSA software were used to analyze the data and evaluate the research results. **Results** A total of 9 studies were enrolled, including 619 subjects. Among the 9 articles included, 2 were grade A and 7 were grade B, indicating good overall quality. Cumulative Meta-analysis showed that compared with ICU routine care, NMES improved muscle strength of patients undergoing mechanical ventilation [standardized mean difference (SMD) = 0.64, 95% confidence interval (95%CI) was 0.07 to 1.21] and shortened the duration of mechanical ventilation (SMD = -1.84, 95%CI was -2.58 to -1.10). TSA analysis of the two outcomes showed that the sample size of muscle strength outcome index ( $n = 518$ ) and mechanical ventilation outcome index ( $n = 419$ ) did not meet the expected information (RIS;  $n$  values of 618 and 685); the cumulative Z-value line of the muscle strength outcome index crossed the traditional boundary line and TSA boundary line, indicating that more tests were not needed to verify this result. In the outcome index of mechanical ventilation duration, it was found that the cumulative Z-value line only crossed the traditional boundary line, but did not cross the TSA boundary line, indicating that further studies in this area should be carried out in the future to demonstrate this result.

**Conclusion** NMES can improve ICU patients' muscle strength and reduce the duration of mechanical ventilation.

**【Key words】** Neuromuscular electrical stimulation; Mechanical ventilation; Cumulative Meta analysis

**Fund program:** Jiangxi Provincial Postgraduate Innovation Special Project (YC2020-S139); Jiangxi Provincial Science and Technology Department Planning Project (20202BBGL73043)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210915-01375

患者入重症监护病房(intensive care unit, ICU)后在各种危险因素的作用下导致机体肌肉系统功能紊乱而出现的肌无力现象被称为ICU获得性肌无力(ICU-acquired weakness, ICU-AW),又称为ICU获得性衰弱<sup>[1]</sup>。研究表明,危重患者ICU-AW发生率可高达70%<sup>[2]</sup>。患者一旦出现ICU-AW可延长机械通气时间、ICU住院时间和总住院时间,增加住院病死率与持续致残性虚弱发生率,后期生活质量降低<sup>[3-7]</sup>。目前,临床上尚无有效治疗ICU-AW的手段,对ICU患者早期给予相应的干预措施是预防ICU-AW发生的关键<sup>[8]</sup>。神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)是一种常用的物理治疗方法,其原理是通过低频的电流持续刺激肌肉群,引发肌肉收缩,是预防ICU-AW发生的重要手段<sup>[9-10]</sup>。当前,已有国内外学者就NMES对ICU-AW的影响进行了系统评价<sup>[11-13]</sup>与Meta分析<sup>[14-16]</sup>,但结果并不一致,也未针对研究结果开展进一步探究。本研究在以往研究的基础上,应用累积Meta分析与试验序贯分析(trial sequential analysis, TSA),通过动态分析结果与估算有效样本量,评价研究结果真实性,进一步明确NMES在ICU-AW中的应用价值,旨在为ICU机械通气患者早期康复训练提供更准确的依据。

## 1 资料与方法

**1.1 文献纳入标准:**①研究对象:入住ICU并进行机械通气的患者;②干预措施:对照组采用ICU常规护理或康复训练,试验组在ICU常规护理基础上进行NMES(低频电流通过电极刺激使肌肉群抽搐或收缩);③结局指标:通过国际通用的医学研究委员会(Medical Research Council, MRC)评分量表进行的肌力评价,ICU患者的机械通气时间。

**1.2 文献排除标准:**①非随机对照试验(randomized controlled trial, RCT);②数据缺失或不完整;③重复发表文献。

**1.3 文献检索:**检索美国国立医学图书馆PubMed数据库、荷兰医学文摘Embase数据库、科学网(Web of Science)等国外数据库,中国生物医学文献服务系统(China Biology Medicine disc, SinoMed)、中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)、万方数据与维普等国内数据库,检索时限为建库至2021年7月

15日。英文检索词包括“intensive care unit acquired weakness”OR“ICU-AW”OR“muscular weakness”OR“myasthenia”AND“neuromuscular electrical stimulation”OR“NMES”OR“electrical nerve stimulation”OR“electrical muscle stimulation”OR“electrical stimulation”OR“rehabilitation treatment”OR“physical therapy”AND“randomized controlled trial”OR“RCT”;中文检索词包括“神经肌肉电刺激”或“神经电刺激”或“肌肉电刺激”或“电刺激”和“机械通气”或“气管插管”或“气管切开”或“人工气道”和“ICU获得性衰弱”或“危重症病人获得性衰弱”或“获得性肌无力”或“肌无力”和“RCT”或“随机对照试验”或“随机对照”或“随机”。

**1.4 文献筛选和资料提取:**依据本研究的目的和纳入标准进行文献筛选与资料提取,均由2名研究者独立进行,如遇分歧则咨询相关专家的意见。提取文章题目、作者、研究类型、样本量、发表时间、对照组与试验组干预措施等信息。

**1.5 文献质量评价:**由2名研究者分别根据评价量表Cochrane 5.1.0进行文献质量评价,若意见不同则请教相关专家,评价内容包括随机序列产生、分配隐藏情况、盲法的实施、结局数据的完整性、选择性报告、其他偏倚。按照Cochrane进行低风险(A级)、中风险(B级)、高风险(C级)的判断。

**1.6 统计学处理:**利用STATA 15.0软件对纳入的研究进行累积Meta分析。若不存在异质性( $P \geq 0.1$ ,  $I^2 \leq 50\%$ ),则采用固定效应模型进行分析;若存在异质性( $P < 0.1$ ,  $I^2 > 50\%$ ),则采用随机效应模型分析;连续变量采用标准化均数差(standardized mean difference, SMD)及其95%可信区间(95% confidence interval, 95%CI)表示。利用TSA分析对结果进行评价与有效样本量的估算,对研究结果的可靠性和真实性进行验证;纳入的文献 $\geq 10$ 篇时采用漏斗图法进行发表偏倚检验。

## 2 结果

**2.1 文献检索结果:**通过对数据库进行检索后共获得文献1931篇(英文480篇,中文1451篇);剔除后获得1587篇文献;通过阅读文献题目、摘要和关键词后剔除1561篇文献,剩余26篇文献;阅读文

献全文后,剔除无法获得全文的文献 4 篇,二次研究文献 8 篇,结局指标不符合要求文献 5 篇,最后共纳入 9 篇文献<sup>[9, 17-24]</sup>。

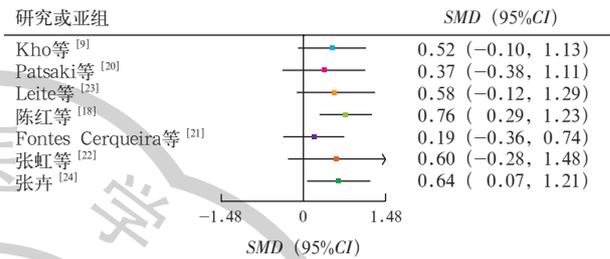
**2.2 文献的基本特征:**最终纳入的 9 篇文献中,英文文献 4 篇<sup>[9, 20-21, 23]</sup>,中文文献 5 篇<sup>[17-19, 22, 24]</sup>; 5 篇文献<sup>[17-19, 22, 24]</sup>来自国内,4 篇来自国外(加拿大 1 篇<sup>[9]</sup>,希腊 1 篇<sup>[20]</sup>,澳大利亚 1 篇<sup>[21]</sup>,巴西 1 篇<sup>[23]</sup>);共包括研究对象 619 例(试验组 300 例,对照组 319 例)。纳入研究基本特征见表 1。

**2.3 方法学质量(表 1):**9 篇文献中,2 篇<sup>[20, 24]</sup>质量等级为 A 级,7 篇<sup>[9, 17-19, 21-23]</sup>为 B 级,说明纳入文献整体质量较高。

**2.4 Meta 分析结果**

**2.4.1 肌力(图 1~2):**本研究共 7 篇文献<sup>[9, 18, 20-24]</sup>报告了 NMES 对 ICU 患者肌力的影响,根据异质性检验结果发现异质性较大( $P < 0.001, I^2 = 89.5\%$ ),故选用随机效应模型依次对纳入文献进行分析。对 Kho 等<sup>[9]</sup>研究中的对照组与试验组数据进行比较,结果显示差异无统计学意义( $SMD = 0.52, 95\%CI$  为  $-0.10 \sim 1.13$ );在加入 Patsaki 等<sup>[20]</sup>的研究后,差异仍无统计学意义( $SMD = 0.37, 95\%CI$  为  $-0.38 \sim 1.11$ );然后按照时间顺序依次加入 Leite 等<sup>[23]</sup>、陈红等<sup>[18]</sup>、Fontes Cerqueira 等<sup>[21]</sup>、张虹和朱凤喜<sup>[22]</sup>、张卉<sup>[24]</sup>的研究后,发现累积结局有所变化,最终的累积结果

为  $SMD = 0.64, 95\%CI$  为  $0.07 \sim 1.21$ ,提示 NMES 能够提升 ICU 患者肌力评分。TSA 分析结果显示,纳入的总样本量( $n = 518$ )未达到期望信息量(required information size, RIS;  $n = 618$ ),累积 Z 值线在加入第 6 项研究后穿过了传统界值线,在加入第 7 项研究时穿过了 TSA 界值线,表明当前研究的总样本量虽然未达 RIS,但是已经得到了肯定的结果,故不需要更多的试验来对此结果进行验证。



注: NMES 为神经肌肉电刺激, ICU 为重症监护病房, SMD 为标准化均数差, 95%CI 为 95% 可信区间

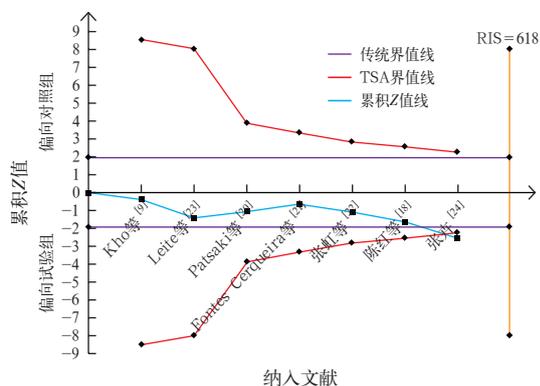
**图 1 NMES 对 ICU 机械通气患者肌力影响的累积 Meta 分析**

**2.4.2 机械通气时间(图 3~4):**本研究共有 6 篇文献<sup>[17-19, 22-24]</sup>报告了 NMES 对 ICU 患者机械通气时间的影响,根据异质性检验结果发现异质性较大( $P < 0.001, I^2 = 87.3\%$ ),故采用随机效应模型依次对纳入文献进行分析。对孙建兰等<sup>[19]</sup>研究中的对照组与试验组进行比较,结果显示差异有统计学意义

**表 1 NMES 对 ICU 机械通气患者肌力影响的累积 Meta 分析与试验序贯分析纳入文献的基本特征和质量评价**

纳入文献	年份(年)	国家	样本量(例)		干预措施		NMES 干预频率	结局指标	文献质量评价(级)
			试验组	对照组	试验组	对照组			
Kho 等 <sup>[9]</sup>	2015	加拿大	16	18	NMES: 股四头肌, 脉冲持续时间为 400 μs; 胫骨前肌和腓肠肌, 脉冲持续时间为 250 μs	常规护理	未提及	肌力	B
许卓谦等 <sup>[17]</sup>	2019	中国	23	22	NMES: 上肢肱三头肌、下肢股直肌、胫骨前肌的运动点(肌腹中央), 脉冲为 500 Hz	ICU 常规护理	每次 30 min, 每日 2 次, 每周 5 d	机械通气时间	B
陈红等 <sup>[18]</sup>	2018	中国	36	38	NMES	翻身 2 h 1 次、叩背被动活动	每次 30 min, 每日 2 次	肌力、机械通气时间	B
孙建兰等 <sup>[19]</sup>	2016	中国	28	28	NMES: 左右腹股沟下 6 cm 大腿两侧与膝盖上 10 cm, 脉冲为 30 ~ 100 Hz	ICU 常规护理	每次 30 min, 每日 2 次	机械通气时间	B
Patsaki 等 <sup>[20]</sup>	2017	希腊	51	56	NMES: 股直肌和双下肢腓骨长肌, 脉冲为 45 Hz	常规护理 + 假 NMES	每次 55 min, 每周 7 d	肌力	A
Fontes Cerqueira 等 <sup>[21]</sup>	2018	澳大利亚	26	33	NMES: 股四头肌和腓肠肌腹部	ICU 常规护理	每日 2 次	肌力	B
张虹等 <sup>[22]</sup>	2018	中国	44	44	NMES: 上肢与下肢	常规护理	未提及	肌力、机械通气时间	B
Leite 等 <sup>[23]</sup>	2018	巴西	24	26	NMES: 股四头肌, 脉冲为 30 Hz	常规护理	未提及	肌力、机械通气时间	B
张卉 <sup>[24]</sup>	2020	中国	52	54	NMES: 下肢股四头肌和胫前肌群, 常规护理上肢肱二头肌、肱三头肌	常规护理	每次 30 min, 每日 2 次	肌力、机械通气时间	A

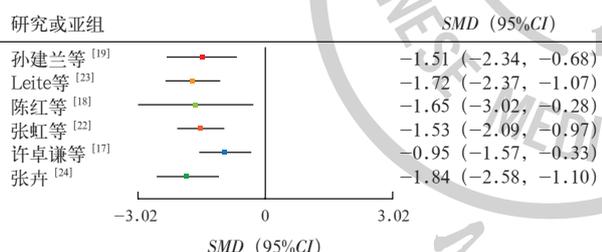
注: NMES 为神经肌肉电刺激, ICU 为重症监护病房



注: NMES 为神经肌肉电刺激, ICU 为重症监护病房, TSA 为试验序贯分析, RIS 为期望信息量

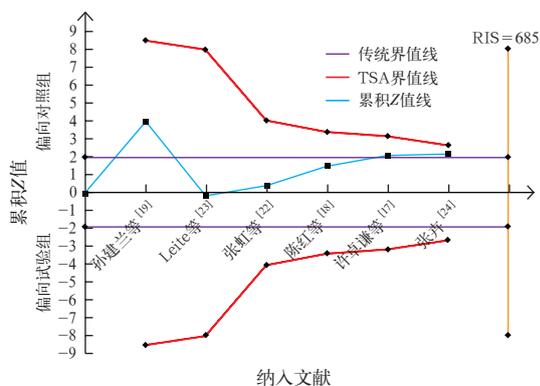
图2 NMES对ICU机械通气患者肌力影响的TSA分析

( $SMD=-1.51$ , 95%CI 为  $-2.34 \sim -0.68$ ); 依次加入其他研究后累积 Meta 分析的结果并未发生变化, 最终 Meta 分析的累积结果为  $SMD=-1.84$ , 95%CI 为  $-2.58 \sim -1.10$ , 提示 NMES 能缩短 ICU 患者机械通气时间。TSA 分析结果显示,  $RIS(n=685) >$  纳入总样本量 ( $n=419$ ), 累积 Z 值线虽然在加入第 5 项研究时穿过了传统界值线但是未穿过 TSA 界值线, 表示此研究结果可能得到的是假阳性结果, 在今后还需要更多试验来确定 NMES 对机械通气时间的影响。



注: NMES 为神经肌肉电刺激, ICU 为重症监护病房, SMD 为标准化均数差, 95%CI 为 95% 可信区间

图3 NMES对ICU患者机械通气时间影响的累积Meta分析



注: NMES 为神经肌肉电刺激, ICU 为重症监护病房, TSA 为试验序贯分析, RIS 为期望信息量

图4 NMES对ICU患者机械通气时间影响的TSA分析

### 3 讨论

**3.1 NMES对ICU患者肌力与机械通气时间影响的累积Meta分析:** 通过本研究累积 Meta 分析结果发现, NMES 可以增加 ICU 机械通气患者的肌力, 缩短机械通气时间, 随着不断纳入研究, 增加样本量, 虽然 95%CI 发生了变化, 但是最终的结局表明两组间差异存在统计学意义, 与张桂宁等<sup>[14]</sup>和刘苗等<sup>[15]</sup>传统 Meta 分析的结局相同。随着 ICU 幸存患者的增加<sup>[25]</sup>, 提升 ICU 患者后期生活质量与促进患者康复成为当前的热点话题。早期康复训练对于促进 ICU 患者康复十分重要, 而 NMES 作为 ICU 患者早期康复训练的形式之一, 具有无创、安全、可行性高且无需患者配合等优点, 受到了广泛关注<sup>[26]</sup>。ICU-AW 是由多个机制共同作用而产生的以骨骼肌蛋白质分解代谢为主的病理过程, 一旦发生 ICU-AW 可严重影响患者的康复与预后<sup>[27]</sup>。研究表明, NMES 通过一定强度的电流刺激肌肉内运动神经分支, 引发肌肉收缩<sup>[26, 28-29]</sup>, 增加患者肌力<sup>[30]</sup>, 预防 ICU-AW 的发生。此外, NMES 可在一定程度上降低机体的分解代谢, 并促进肌肉蛋白合成, 从而防止机体肌肉萎缩<sup>[31]</sup>, 促进早期活动能力的恢复, 从而提高生活自理能力<sup>[32-33]</sup>。通过本研究累积 Meta 分析结果发现, NMES 可以缩短 ICU 患者的机械通气时间。可能是因为最大吸气压 (maximum inspiratory pressure, MIP) 和最大呼气压 (maximum expiratory pressure, MEP) 与四肢肌力存在高度的相关性, 因此改善患者肌力的同时可以一定程度上缩短机械通气时间<sup>[34]</sup>。

**3.2 NMES对ICU患者肌力与机械通气时间影响的TSA分析:** 分别对 2 个结局指标进一步进行 TSA 分析, 肌力结局的结果显示, 累积 Meta 分析的总样本量虽然未达到 RIS, 但累积 Z 值线依次穿过了传统界值线和 TSA 界值线, 不需要更多试验来验证此结论, NMES 可以增加 ICU 患者的肌力。对机械通气的结果进行 TSA 分析发现, 累积 Meta 分析的总样本量未达到 RIS, 累计 Z 值线仅穿过了传统界值线, 未穿过 TSA 界值线, 表明今后还要继续开展相关研究, 增加 Meta 分析的样本量, 对本研究结果进行验证。

**3.3 本研究的局限性:** 本研究虽严格按照累积 Meta 分析流程实施, 但仍存在一定局限性: ① NMES 的干预频率不同, 虽然纳入 9 篇文献中试验组的干预措施都为 NMES, 但在干预时间、频率、部位等方面均有不同; ② 本研究纳入的 9 篇文献中, 大部分文献质量评价为 B 级, 部分文献对盲法与分配隐藏的方法

没有提及,对于随机序列的产生未交代清楚,在一定程度上影响了本研究结果;③在本研究中,部分结局指标涉及的研究较少,无法进行累积 Meta 分析,还需继续开展大样本的研究,增加样本量,针对机械通气患者 ICU-AW 的结局指标开展多元化的研究;④本研究纳入的文献 < 10 篇,未绘制漏斗图验证发表偏倚,可能存在发表偏倚的风险。

综上所述,本研究结果显示, NMES 可改善 ICU 患者的肌力并且缩短患者机械通气时间, TSA 分析表明今后还要继续增加 NMES 相关研究的样本量,开展高质量的研究。本研究受纳入文献数量与文献质量的限制,结果存在一定偏倚,在今后临床试验中还需要开展大样本、多中心、高质量的研究,进一步对本研究结果进行论证。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] 卞红,俞萍.早期目标导向活动方案对 ICU 机械通气病人获得性衰弱的影响[J]. 护理研究, 2021, 35 (7): 1248-1251. DOI: 10.12102/j.issn.1009-6493.2021.07.026.
- [2] Geng ZX, Zhang BM. Electroacupuncture for intensive care unit acquired weakness: review and perspectives [J]. *Acupunct Med*, 2021, 39 (4): 387-388. DOI: 10.1177/0964528420938390.
- [3] Stevens RD, Marshall SA, Cornblath DR, et al. A framework for diagnosing and classifying intensive care unit-acquired weakness [J]. *Crit Care Med*, 2009, 37 (10 Suppl): S299-308. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181b6ef67.
- [4] Garnacho-Montero J, Amaya-Villar R, García-Garmendia JL, et al. Effect of critical illness polyneuropathy on the withdrawal from mechanical ventilation and the length of stay in septic patients [J]. *Crit Care Med*, 2005, 33 (2): 349-354. DOI: 10.1097/01.ccm.0000153521.41848.7e.
- [5] Stevens RD, Dowdy DW, Michaels RK, et al. Neuromuscular dysfunction acquired in critical illness: a systematic review [J]. *Intensive Care Med*, 2007, 33 (11): 1876-1891. DOI: 10.1007/s00134-007-0772-2.
- [6] Latronico N, Shehu I, Seghelini E. Neuromuscular sequelae of critical illness [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2005, 11 (4): 381-390. DOI: 10.1097/01.ccx.0000168530.30702.3e.
- [7] Guarneri B, Bertolini G, Latronico N. Long-term outcome in patients with critical illness myopathy or neuropathy: the Italian multicentre CRIMYNE study [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2008, 79 (7): 838-841. DOI: 10.1136/jnnp.2007.142430.
- [8] 胡燕,李冬英,胡晓莹,等.早期活动对机械通气病人 ICU 获得性肌无力影响的累计 Meta 分析及试验序贯分析 [J]. 护理研究, 2020, 34 (18): 3190-3196. DOI: 10.12102/j.issn.1009-6493.2020.18.002.
- [9] Kho ME, Truong AD, Zanni JM, et al. Neuromuscular electrical stimulation in mechanically ventilated patients: a randomized, sham-controlled pilot trial with blinded outcome assessment [J]. *J Crit Care*, 2015, 30 (1): 32-39. DOI: 10.1016/j.jcrc.2014.09.014.
- [10] Trethewey SP, Brown N, Gao F, et al. Interventions for the management and prevention of sarcopenia in the critically ill: a systematic review [J]. *J Crit Care*, 2019, 50: 287-295. DOI: 10.1016/j.jcrc.2019.01.008.
- [11] 刘晶涛,董大伟,陆巍,等.神经肌肉电刺激对 ICU 患者肌力及临床结局影响的系统评价 [J]. 中国康复, 2019, 34 (11): 599-604. DOI: 10.3870/zgkf.2019.11.011.
- [12] Parry SM, Berney S, Granger CL, et al. Electrical muscle stimulation in the intensive care setting: a systematic review [J]. *Crit Care Med*, 2013, 41 (10): 2406-2418. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3182923642.
- [13] Maffiuletti NA, Roig M, Karatzanos E, et al. Neuromuscular electrical stimulation for preventing skeletal-muscle weakness and

- wasting in critically ill patients: a systematic review [J]. *BMC Med*, 2013, 11: 137. DOI: 10.1186/1741-7015-11-137.
- [14] 张桂宁,杨丽,郭明娟,等.神经肌肉电刺激对 ICU 机械通气病人影响的 Meta 分析 [J]. 护理研究, 2013, 32 (2): 187-194. DOI: 10.12102/j.issn.1009-6493.2019.02.002.
- [15] 刘苗,罗健,朱晓敏,等.神经肌肉电刺激预防 ICU 获得性衰弱效果的 Meta 分析 [J]. 护理研究, 2020, 34 (17): 3060-3067. DOI: 10.12102/j.issn.1009-6493.2020.17.010.
- [16] Liu M, Luo J, Zhou J, et al. Intervention effect of neuromuscular electrical stimulation on ICU acquired weakness: a meta-analysis [J]. *Int J Nurs Sci*, 2020, 7 (2): 228-237. DOI: 10.1016/j.ijnss.2020.03.002.
- [17] 许卓谦,叶家骏,姚淑雯,等.早期神经肌肉电刺激在脓毒症机械通气患者治疗中的效果 [J]. 中国当代医药, 2019, 26 (18): 55-57. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4721.2019.18.016.
- [18] 陈红,任小莉,程青虹,等.神经肌肉电刺激与早期被动活动对机械通气患者 ICU 获得性虚弱的影响 [J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33 (2): 146-150. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2018.02.005.
- [19] 孙建兰,徐进步,丁玉琴.神经电刺激对 ICU 获得性衰弱的预防作用研究 [J/CD]. 实用临床护理学电子杂志, 2016, 1 (11): 12-13. DOI: 10.3969/j.issn.2096-2479.2016.11.008.
- [20] Patsaki I, Gerovasilis 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.
- [21] Fontes Cerqueira TC, Cerqueira Neto ML, Cacao LAP, et al. Ambulation capacity and functional outcome in patients undergoing neuromuscular electrical stimulation after cardiac valve surgery: a randomised clinical trial [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97 (46): e13012. DOI: 10.1097/MD.00000000000013012.
- [22] 张虹,朱凤喜. ICU 获得性肌无力患者应用功能性电刺激对康复训练的效果影响 [J]. 中国医学创新, 2018, 15 (36): 56-59. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4985.2018.36.015.
- [23] Leite MA, Osaku EF, Albert J, et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation of the quadriceps and diaphragm in critically ill patients: a pilot study [J]. *Crit Care Res Pract*, 2018, 2018: 4298583. DOI: 10.1155/2018/4298583.
- [24] 张卉.神经肌肉电刺激联合早期活动对机械通气患者 ICU 获得性衰弱的影响 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2020.
- [25] Spragg RG, Bernard GR, Checkley W, et al. Beyond mortality: future clinical research in acute lung injury [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2010, 181 (10): 1121-1127. DOI: 10.1164/rccm.201001-0024WS.
- [26] 杨梦璇,黄维,苏建华,等.神经肌肉电刺激治疗在加速重症监护病房患者康复方面的应用进展 [J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36 (3): 370-374. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2021.03.024.
- [27] 张宏,侯维维,李韦韦,等.中西医结合干预 ICU 获得性衰弱研究进展 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2021, 28 (6): 751-754. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2021.06.026.
- [28] Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function [J]. *Yale J Biol Med*, 2012, 85 (2): 201-215.
- [29] Maffiuletti NA. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 110 (2): 223-234. DOI: 10.1007/s00421-010-1502-y.
- [30] 朱春艳,刘宝,杨田军,等.早期康复理疗对危重症患者肌肉质量和功能的影响 [J]. 中华危重病急救医学, 2018, 30 (6): 569-572. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-4352.2018.06.013.
- [31] Gibson JN, Smith K, Rennie MJ. Prevention of disuse muscle atrophy by means of electrical stimulation: maintenance of protein synthesis [J]. *Lancet*, 1988, 2 (8614): 767-770. DOI: 10.1016/s0140-6736(88)92417-8.
- [32] 谌绍林,蒋玉兰,禹斌,等.经皮神经肌肉电刺激对 COPD 机械通气患者 ICU-AW 的预防效果 [J]. 中华危重病急救医学, 2019, 31 (6): 709-713. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-4352.2019.06.010.
- [33] 程洁,孔佳佳,王瑞,等.下肢部位神经肌肉电刺激对 ICU 机械通气患者影响的 Meta 分析 [J]. 中华危重病急救医学, 2021, 33 (10): 1243-1248. DOI: 10.3760/ema.j.cn121430-20210628-00962.
- [34] De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Durand MC, et al. Respiratory weakness is associated with limb weakness and delayed weaning in critical illness [J]. *Crit Care Med*, 2007, 35 (9): 2007-2015. DOI: 10.1097/01.ccm.0000281450.01881.d8.

(收稿日期: 2021-09-15)