·论著·

低磷血症对机械通气患者脱机的影响

鲍强 周明根 廖文华 彭鹭 邹子俊

中山大学孙逸仙纪念医院重症医学科，广东广州 510120

通信作者：邹子俊，Email：zouzij@mail.sysu.edu.cn

【摘要】 目的 探讨低磷血症对机械通气患者脱机的影响。**方法** 采用观察性研究方法，收集中山大学孙逸仙纪念医院重症医学科2018年1月至2020年8月收治的30例伴有低磷血症机械通气患者的临床资料，按照性别、年龄、急性生理学与慢性健康状况评分Ⅱ（APACHE Ⅱ）和序贯器官衰竭评分（SOFA），采用个案-控制方法，以1∶2的比例选择60例同期非低磷血症机械通气患者作为对照。比较两组患者机械通气时间、自主呼吸试验（SBT）次数、膈肌超声运动指标、脱机结局及住院期间的预后。绘制受试者工作特征曲线（ROC曲线），计算血磷预测机械通气患者脱机成功和住院期间生存的ROC曲线下面积（AUC）及阈值；采用Pearson偏相关分析检验膈肌超声运动指标与血磷的相关性。**结果** 与非低磷血症组比较，低磷血症组患者机械通气时间明显延长〔d：13.0（7.0，22.0）比10.0（5.5，14.0），$P<0.05$〕，SBT次数明显增加〔例次：3（0，5）比1（1，2），$P<0.01$〕，脱机成功率明显降低（53.3%比91.7%，$P<0.01$），住院病死率明显升高（20.0%比1.7%，$P<0.01$）。ROC曲线分析显示，血磷对机械通气患者脱机成功有预测价值，AUC为0.795，最佳阈值为0.85 mmol/L（敏感度73.2%、特异度84.2%）；血磷对机械通气患者住院生存也有预测价值，AUC为0.782，最佳阈值为0.48 mmol/L（敏感度81.9%、特异度85.7%）。与非低磷血症组比较，低磷血症组患者吸气末膈肌厚度（DTei）、呼气末膈肌厚度（DTee）、膈肌增厚分数（DTF）和膈肌移动度（DE）均明显降低〔DTei（cm）：0.19±0.07比0.27±0.08，DTee（cm）：0.14±0.05比0.19±0.06，DTF：（33.55±16.17）%比（45.04±18.66）%，DE（cm）：1.17±0.49比2.28±0.69，均$P<0.01$〕。Pearson偏相关分析结果显示，血磷与DTei、DTee、DTF和DE均呈线性相关（r值分别为0.442、0.351、0.293、0.628，均$P<0.01$）。**结论** 血磷水平与膈肌超声运动指标具有相关性，低磷血症可能会降低膈肌收缩功能，增加机械通气患者通气时间和SBT次数，影响机械通气患者脱机成功率和预后。

【关键词】 低磷血症； 机械通气； 脱机； 膈肌超声

基金项目：广东省自然科学基金（2018A0303130283）

临床试验注册：中国临床试验注册中心，ChiCTR 2100043987

DOI：10.3760/cma.j.cn121430-20210204-00208

Impact of hypophosphatemia on weaning from mechanical ventilation

Bao Qiang, Zhou Minggen, Liao Wenhua, Peng Lu, Zou Zijun

Department of Intensive Care Unit, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510120, Guangdong, China

Corresponding author: Zou Zijun, Email: zouzij@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 Objective To explore the influence of hypophosphatemia on weaning from mechanical ventilation. **Methods** An observational study was conducted. The medical records of 30 mechanical ventilated patients with hypophosphatemia admitted to intensive care unit of Sun Yat-sen Memorial Hospital of Sun Yat-sen University from January 2018 to August 2020 were analyzed; another 60 mechanical ventilated patients with normophosphatemia around the same time were enrolled as controls by 1∶2 case-control matching based on gender, age, acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ (APACHE Ⅱ) score, sequential organ failure assessment (SOFA) score. And then the duration of invasive mechanical ventilation, times of spontaneous breathing trial (SBT), the diaphragmatic ultrasonography movement indexes, and outcome of weaning and prognosis during hospitalization were compared between the two groups. Receiver operator characteristic curve (ROC curve) was plotted to calculate the areas under ROC curve (AUC) and cut-off values of serum phosphorus for successful weaning and hospital survival. The correlations between the diaphragmatic ultrasonography movement indexes and serum phosphorus were analyzed by Pearson partial correlation analysis. **Results** Compared with normophosphatemic group, the duration of invasive mechanical ventilation in hypophosphatemia group was significantly longer [days: 13.0 (7.0, 22.0) vs. 10.0 (5.5, 14.0), $P < 0.05$], and SBT attempts were more often [times: 3 (0, 5) vs. 1 (1, 2), $P < 0.01$], while the rate of successful weaning was lower (53.3% vs. 91.7%, $P < 0.01$), and the hospital mortality was higher (20.0% vs. 1.7%, $P < 0.01$). ROC curve analysis showed that serum phosphorus could predict successful weaning of mechanical ventilated patients, the AUC was 0.795, and the optimum cut-off value of serum phosphorus was 0.85 mmol/L with sensitivity of 73.2% and specificity of 84.2%. Serum phosphorus could predict hospital survival of mechanical ventilated patients, the AUC was 0.782, and the optimum cut-off value of serum phosphorus was 0.48 mmol/L with sensitivity of 81.9% and specificity of 85.7%. Compared with normophosphatemic group, diaphragm thickness at the end of inspiration (DTei), diaphragm thickness at the end of expiration (DTee), diaphragm thickening

fraction (DTF), diaphragm excursion (DE) in hypophosphatemia group were all significantly decreased [DTei (cm): 0.19±0.07 vs. 0.27±0.08, DTee (cm): 0.14±0.05 vs. 0.19±0.06, DTF: (33.55±16.17)% vs. (45.04±18.66)%, DE (cm): 1.17±0.49 vs. 2.28±0.69, all $P < 0.01$]. Pearson partial correlation analysis showed that linear correlations were found between serum phosphorus and DTei, DTee, DTF, DE (r values were 0.442, 0.351, 0.293, 0.628 respectively, all $P < 0.01$). **Conclusions** Serum phosphorus may have correlation with the diaphragmatic ultrasonography movement indexes. Hypophosphatemia may impair the contractile properties of diaphragm, induce more SBT attempts and longer duration of invasive mechanical ventilation, and affect outcome of weaning and prognosis.

【Key words】 Hypophosphatemia; Mechanical ventilation; Weaning; Diaphragm ultrasound
Fund program: Natural Science Foundation of Guangdong Province of China (2018A0303130283)
Trial Registration: Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR 2100043987
DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210204-00208

机械通气是抢救危重症患者的重要措施之一，但机械通气患者脱机困难并不少见。脱机困难可导致患者机械通气时间延长，并发症增多，造成社会、家庭大量的医疗资源消耗[1]。有研究报道，即使机械通气患者通过了自主呼吸试验（spontaneous breathing trial，SBT），也仍有 12%～38% 的脱机失败率[2]。

磷是人体重要的元素之一，在维持人体细胞能量、代谢和调节免疫方面具有重要意义。研究结果显示，重症监护病房（intensive care unit，ICU）患者低磷血症的发生率为 28.85%～33.90%，约为普通病房患者的 15 倍，脓毒症和严重创伤等重症患者低磷血症的发生率甚至高达 70%～80%[3]。目前涉及低磷血症对机械通气患者脱机结局影响的研究较少，本研究旨在探讨低磷血症与机械通气患者脱机结局以及主要呼吸肌膈肌功能之间的关系，以期为临床工作提供参考。

1　资料与方法

1.1　研究对象：采用观察性研究方法，收集本院重症医学科 2018 年 1 月至 2020 年 8 月收治的 30 例合并低磷血症的机械通气患者的临床资料；采用个案-控制方法，以 1∶2 的比例选择 60 例同期非低磷血症机械通气患者作为对照。

1.1.1　纳入标准：① 年龄≥18 周岁；② 机械通气时间≥3 d；③ 患者授权家属对膈肌超声等相关检查均知情同意。

1.1.2　排除标准：① 妊娠期；② 膈下感染；③ 原发神经肌肉疾病；④ 既往存在或近期发现单侧或双侧膈肌麻痹；⑤ 大量胸腔积液、气胸、连枷胸；⑥ 开放伤口或外科术区原因导致膈肌超声无法获得。

1.2　伦理学：本研究符合医学伦理学标准，获得医院医学伦理委员会批准（审批号：SYSEC-KY-KS-2021-034），并在中国临床试验注册中心注册（注册号：ChiCTR 2100043987），膈肌超声检查均取得过患者授权家属的知情同意。

1.3　资料收集

1.3.1　基本临床资料：包括性别、年龄、急性生理学与慢性健康状况评分Ⅱ（acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ，APACHE Ⅱ）、序贯器官衰竭评分（sequential organ failure assessment，SOFA）、血清磷水平、转入诊断、人工气道方式、机械通气时间、SBT次数、膈肌超声运动指标〔吸气末膈肌厚度（diaphragm thickness at the end of inspiration，DTei）、呼气末膈肌厚度（diaphragm thickness at the end of expiration，DTee）、膈肌增厚分数（diaphragm thickening fraction，DTF）、膈肌移动度（diaphragm excursion，DE）〕，以及住院期间的预后。

1.3.2　脱机结局：以患者顺利脱机并且 48 h 内不再需要有创或无创机械通气进行支持治疗为脱机成功标准[4]。

1.4　统计学方法：采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。正态分布计量资料以均数 ± 标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，采用独立样本 t 检验进行两组间比较；非正态分布计量资料以中位数（四分位数）〔$M(Q_L, Q_U)$〕表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以频数（百分比）表示，采用 χ^2 检验进行组间比较。绘制受试者工作特征曲线（receiver operator characteristic curve，ROC 曲线），计算血磷预测机械通气患者脱机成功和住院生存的 ROC 曲线下面积（area under ROC curve，AUC）及阈值。采用 Pearson 偏相关分析检验膈肌超声运动指标与血磷的相关性。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结　果

2.1　一般资料：最终共入选机械通气患者 90 例，其中男性 42 例（占 46.7%），女性 48 例（占 53.3%）；年龄 32～94 岁，中位年龄 69.0（55.5，77.0）岁；38 例患者（42.2%）接受气管切开术；共尝试 175 例次 SBT，71 例（78.9%）脱机成功。机械通气原因：呼吸衰竭 30 例（占 33.3%），颅内病变 22 例（占 24.5%），围手术

期 19 例(占 21.1%),脓毒症 16 例(占 17.8%),心肺复苏术后 2 例(占 2.2%),外伤 1 例(占 1.1%)。两组患者机械通气期间均给予肠内、肠外营养支持。

2.2 两组患者病情严重程度比较(表 1):低磷血症组与非低磷血症组患者性别、年龄、APACHE Ⅱ 和 SOFA 评分比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$),说明两组患者病情严重程度具有可比性。

表 1 非低磷血症与低磷血症两组机械通气患者一般资料和血磷水平比较

组别	例数(例)	性别(例)		年龄(岁,$\bar{x}\pm s$)	APACHE Ⅱ(分,$\bar{x}\pm s$)
		男性	女性		
非低磷血症组	60	28	32	66.35±14.05	22.83±4.85
低磷血症组	30	14	16	66.73±14.24	23.10±5.61
χ^2/t 值		0.000		−0.121	−0.233
P 值		1.000		0.904	0.816

组别	例数(例)	SOFA(分,$\bar{x}\pm s$)	血磷(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)
非低磷血症组	60	7.10±3.11	1.10±0.17
低磷血症组	30	7.87±3.40	0.39±0.18
t 值		−1.068	18.514
P 值		0.288	0.000

注:APACHE Ⅱ 为急性生理学与慢性健康状况评分Ⅱ,SOFA 为序贯器官衰竭评分

2.3 低磷对机械通气时间和SBT次数的影响(表2):与非低磷血症组比较,低磷血症组患者的机械通气时间明显延长,且机械通气期间 SBT 次数明显增加(均 $P<0.05$)。

表 2 非低磷血症与低磷血症两组机械通气患者机械通气时间和 SBT 次数比较〔$M(Q_L, Q_U)$〕

组别	例数(例)	机械通气时间(d)	SBT 次数(例次)
非低磷血症组	60	10.0(5.5, 14.0)	1(1, 2)
低磷血症组	30	13.0(7.0, 22.0)	3(0, 5)
Z 值		2.375	2.872
P 值		0.018	0.004

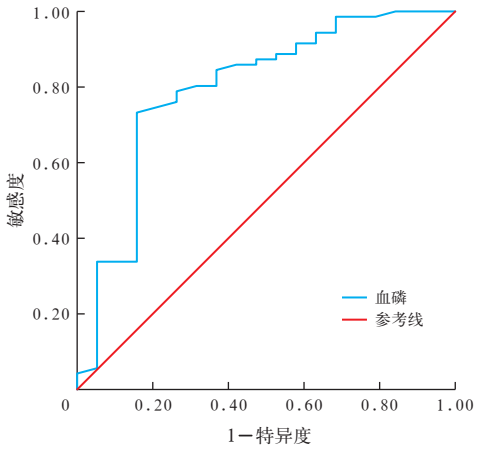
注:SBT 为自主呼吸试验

2.4 低磷对脱机结局和住院期间预后的影响(表3):低磷血症组有 14 例患者脱机失败,16 例脱机成功;有 6 例患者在住院期间死亡,24 例存活。与非低磷血症组比较,低磷血症组患者脱机成功率明显降低,且住院病死率明显升高(均 $P<0.01$)。

表 3 非低磷血症与低磷血症两组机械通气患者脱机结局和住院期间预后比较

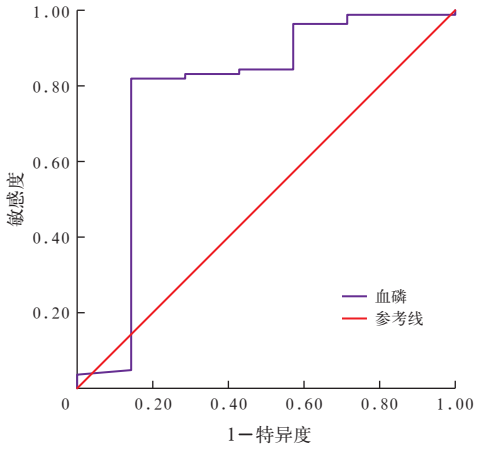
组别	例数(例)	脱机结局〔例(%)〕		住院期间预后〔例(%)〕	
		失败	成功	死亡	存活
非低磷血症组	60	5(8.3)	55(91.7)	1(1.7)	59(98.3)
低磷血症组	30	14(46.7)	16(53.3)	6(20.0)	24(80.0)
χ^2 值		17.646		6.990	
P 值		0.000		0.008	

2.5 血磷预测机械通气患者脱机结局和住院期间预后的 ROC 曲线分析(图 1~2):ROC 曲线分析结果显示,血磷对机械通气患者脱机成功和住院期间生存均有一定的预测价值(均 $P<0.01$)。血磷预测机械通气患者脱机成功的 AUC 为0.795〔95% 可信区间(95% confidence interval,95%*CI*)为0.670~0.921〕;血磷最佳阈值为 0.85 mmol/L 时,其预测脱机成功的敏感度及特异度分别为 73.2% 和 84.2%。血磷预测住院生存的 AUC 为 0.782(95%*CI* 为 0.549~1.000);血磷最佳阈值为 0.48 mmol/L 时,其预测住院生存的敏感度及特异度分别为 81.9% 和 85.7%。



注:ROC 曲线为受试者工作特征曲线

图 1 血磷预测机械通气患者脱机成功的 ROC 曲线



注:ROC 曲线为受试者工作特征曲线

图 2 血磷预测机械通气患者住院期间生存的 ROC 曲线

2.6 低磷对机械通气患者膈肌运动的影响(图 3;表 4):SBT 前两组患者均进行了膈肌超声检查,结果显示,低磷血症组患者的膈肌超声运动指标 DTei、DTee、DTF 和 DE 均较非低磷血症组明显降低,差异均有统计学意义(均 $P<0.01$)。

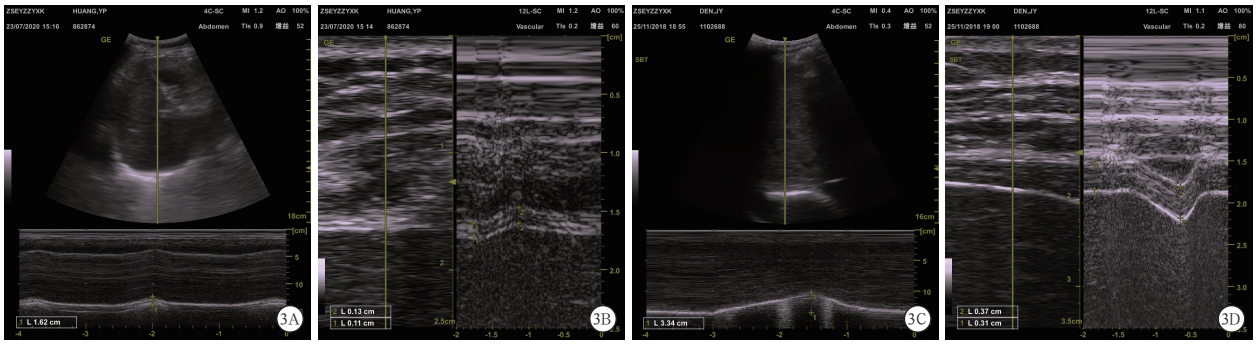
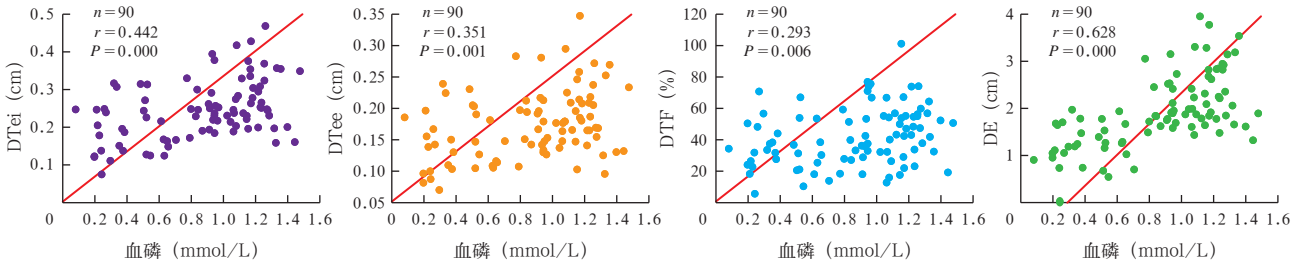


图 3　合并低磷血症与非低磷血症机械通气患者膈肌超声检查结果　1 例机械通气合并低磷血症患者（血磷 0.22 mmol/L）膈肌移动度（DE）为 1.62 cm（A）；吸气末膈肌厚度（DTei）为 0.13 cm，呼气末膈肌厚度（DTee）为 0.11 cm（B）。1 例血磷正常的机械通气患者（血磷 1.08 mmol/L）DE 为 3.34 cm（C）；DTei 为 0.37 cm，DTee 为 0.31 cm（D）



注：DTei 为吸气末膈肌厚度，DTee 为呼气末膈肌厚度，DTF 为膈肌增厚分数，DE 为膈肌移动度

图 4　机械通气患者血磷与膈肌超声运动指标的相关性

表 4　非低磷血症与低磷血症两组机械通气患者膈肌超声运动指标比较（$\bar{x}\pm s$）

组别	例数（例）	DTei（cm）	DTee（cm）
非低磷血症组	60	0.27±0.08	0.19±0.06
低磷血症组	30	0.19±0.07	0.14±0.05
t 值		−4.406	−3.550
P 值		0.000	0.001
组别	例数（例）	DTF（%）	DE（cm）
非低磷血症组	60	45.04±18.66	2.28±0.69
低磷血症组	30	33.55±16.17	1.17±0.49
t 值		−2.876	−8.780
P 值		0.005	0.000

注：DTei 为吸气末膈肌厚度，DTee 为呼气末膈肌厚度，DTF 为膈肌增厚分数，DE 为膈肌移动度

2.7　机械通气患者血磷与膈肌超声运动指标的相关性（图 4）：Pearson 偏相关分析结果显示，机械通气患者血磷水平与超声测量的 DTei、DTee、DTF 和 DE 均呈线性相关（均 $P<0.01$）。

3　讨　论

低磷血症与 ICU 患者的不良预后相关[5]，转入 ICU 时患者发生低磷血症是 28 d 死亡的独立危险因子[6]。本研究结果也提示低磷血症与更高的住院病死率相关。但低磷血症是否可以独立地影响机械通气患者脱机结局和膈肌收缩功能，仍值得研究。

磷是人体重要的元素，除了作为核酸、磷脂等基本成分外，还参与细胞膜的构成，维持细胞结构完整，同时也可作为酶的调节因子，参与能量转换与代谢。与此同时，机械通气的脱机过程是危重症患者病情转归的重要环节之一。对于血清磷水平与机械通气脱机的关系，Alsumrain 等[7]研究发现，在机械通气患者脱机试验中，成功者比失败者血磷值更高，提示更高的血磷水平可能与脱机试验成功率相关。Zhao 等[8]通过对慢性阻塞性肺疾病急性加重（acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease，AECOPD）机械通气患者的研究发现，按照血磷水平分组，低磷血症组患者的脱机失败率较非低磷血症组更高（34.21% 比 10.34%，$P<0.05$）。Talakoub 等[9]的前瞻性研究表明，长期机械通气（>5 d）患者在机械通气各时间点的血清磷水平均较短期机械通气（<5 d）患者更低。李萍等[10]研究发现，低磷血症是慢性阻塞性肺疾病（chronic obstructive pulmonary disease，COPD）合并Ⅱ型呼吸衰竭患者脱机失败的独立危险因素。上述研究虽然很好地验证了低磷血症与机械通气脱机失败的关系，但均没有考虑 ICU 患者病情严重程度的影响，严重低磷血症患者病情多数更加危重，因而脱机失败率可能更高。本研究尽可能规避了上述不足，针对病情严重程度对脱机的影响，根据患者的年龄、性别、APACHE Ⅱ评分和 SOFA 评分进行 1∶2 比例病例-对照配伍。结果显

示，低磷血症患者机械通气时间较非低磷血症者明显延长，SBT 次数明显增加，脱机成功率明显降低，住院病死率明显升高。ROC 曲线分析显示，血磷预测脱机成功的最佳阈值为 0.85 mmol/L，较 Alsumrain 等[7]报道的 1.05 mmol/L 更低；血磷预测住院期间生存的最佳阈值为 0.48 mmol/L，与符加红和臧彬[11]报道的 0.40 mmol/L 接近，进一步证实了血磷对预后的预测价值。

在机械通气脱机过程中，膈肌是最重要的呼吸肌之一，其功能状态决定着机械通气患者的自主呼吸能力，对脱机成功起到关键作用。膈肌功能衰弱在ICU患者中十分常见，可能的原因包括脓毒症、创伤、炎症反应、机械通气、肠内营养摄入不足[12-14]。由于膈肌功能障碍的病因复杂，为尽量减少危重症患者病情严重程度不同的影响，本研究根据危重症评分对患者进行配对，希望在一定程度上避免病情异质性的影响。结果显示，与非低磷血症组比较，低磷血症组患者不仅膈肌厚度有不同程度降低，反映膈肌收缩功能的 DTF 和 DE 也显著降低，符合文献中膈肌功能障碍的超声诊断阈值（DTF 为 30%～36%，DE 为 1.0～1.4 cm）[15]。同时，在排除病情严重程度的影响后，血清磷水平与膈肌超声运动指标仍然具有正相关趋势。这一结果与 Aubier 等[16]早期对低磷血症机械通气患者膈肌收缩的观察结果相符，提示低磷可能与危重症患者膈肌功能障碍有关。在上述研究中，Aubier 等[16]通过最大膈神经电刺激引起的跨膈压变化来反映膈肌收缩功能，而本研究则采取更无创的超声方法，这一方法是否可靠，仍需进一步前瞻性研究验证。

本研究不足之处：① 纳入样本量较少，$P>0.05$ 不应当视作组间无差异的充分条件，同时研究结果也可能因检验效能降低出现假阳性；② 本研究属于观察性研究，所获得的疾病评分数据、超声测量指标多数仅计算或测量 1 次，可能并不能反映病情变化趋势，从而出现假阳性结果。

综上所述，低磷血症可能会影响膈肌收缩功能，增加机械通气患者 SBT 次数和通气时间，降低脱机成功率，最终影响预后。临床上需重视合并低磷血症的机械通气患者的诊治。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] Pu L, Zhu B, Jiang L, et al. Weaning critically ill patients from mechanical ventilation: a prospective cohort study [J]. J Crit Care, 2015, 30 (4): 862. e7-13. DOI: 10.1016/j.jcrc.2015.04.001.

[2] Stieff KV, Lim F, Chen L. Factors influencing weaning older adults from mechanical ventilation: an integrative review [J]. Crit Care Nurs Q, 2017, 40 (2): 165-177. DOI: 10.1097/CNQ.0000000000000154.

[3] Brunelli SM, Goldfarb S. Hypophosphatemia: clinical consequences and management [J]. J Am Soc Nephrol, 2007, 18 (7): 1999-2003. DOI: 10.1681/ASN.2007020143.

[4] MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW Jr, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine [J]. Chest, 2001, 120 (6 Suppl): 375S-395S. DOI: 10.1378/chest.120.6_suppl.375s.

[5] 刘博，程玉梅，沈锋，等. 低磷血症与重症患者不良预后有关：一项 1 555 例患者的 Meta 分析 [J]. 中华危重病急救医学，2018, 30 (1): 34-40. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.01.007.
Liu B, Cheng YM, Shen F, et al. Hypophosphatemia is associated with poor prognosis of critically ill patients: a meta-analysis of 1 555 patients [J]. Chin Crit Care Med, 2018, 30 (1): 34-40. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.01.007.

[6] Wang LC, Xiao CX, Chen L, et al. Impact of hypophosphatemia on outcome of patients in intensive care unit: a retrospective cohort study [J]. BMC Anesthesiol, 2019, 19 (1): 86. DOI: 10.1186/s12871-019-0746-2.

[7] Alsumrain MH, Jawad SA, Imran NB, et al. Association of hypophosphatemia with failure-to-wean from mechanical ventilation [J]. Ann Clin Lab Sci, 2010, 40 (2): 144-148.

[8] Zhao YL, Li ZH, Shi YJ, et al. Effect of hypophosphatemia on the withdrawal of mechanical ventilation in patients with acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease [J]. Biomed Rep, 2016, 4 (4): 413-416. DOI: 10.3892/br.2016.605.

[9] Talakoub R, Bahrami M, Honarmand A, et al. The predicting ability of serum phosphorus to assess the duration of mechanical ventilation in critically ill patients [J]. Adv Biomed Res, 2017, 6: 51. DOI: 10.4103/2277-9175.205192.

[10] 李萍，林桦，张爱丽，等. 血清磷水平与老年慢性阻塞性肺疾病合并Ⅱ型呼吸衰竭患者机械通气撤机结局的相关性分析 [J]. 中华老年医学杂志，2020, 39 (6): 613-617. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2020.06.002.
Li P, Lin H, Zhang AL, et al. Correlation between serum phosphorus levels and outcomes of weaning from mechanical ventilation in elderly chronic obstructive pulmonary disease patients with type Ⅱ respiratory failure [J]. Chin J Geriatr, 2020, 39 (6): 613-617. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2020.06.002.

[11] 符加红，臧彬. 重症监护病房患者低磷血症的发生及对预后的影响 [J]. 中国危重病急救医学，2012, 24 (1): 29-32. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2012.01.007.
Fu JH, Zang B. The occurrence of hypophosphatemia and its prognostic value in intensive care unit patients [J]. Chin Crit Care Med, 2012, 24 (1): 29-32. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2012.01.007.

[12] Dres M, Goligher EC, Heunks L, et al. Critical illness-associated diaphragm weakness [J]. Intensive Care Med, 2017, 43 (10): 1441-1452. DOI: 10.1007/s00134-017-4928-4.

[13] 张华东，蔡佳吟，陈卫挺，等. 肠内营养量对慢性阻塞性肺疾病急性加重机械通气患者膈肌厚度及预后的影响 [J]. 中国中西医结合急救杂志，2019, 26 (1): 83-87. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2019.01.023.
Zhang HD, Cai JY, Chen WT, et al. Effect of enteral nutrition quantity on diaphragmatic thickness and prognosis of mechanical ventilation patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease [J]. Chin J TCM WM Crit Care, 2019, 26 (1): 83-87. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2019.01.023.

[14] 俞星池，邓杰，杨海波. 高蛋白肠内营养对危重患者机械通气时间及营养状况的影响 [J]. 中国中西医结合急救杂志，2020, 27 (6): 689-692. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2020.06.014.
Yu XC, Deng J, Yang HB. Effect of high protein enteral nutrition on mechanical ventilation time and nutritional status of critically ill patients [J]. Chin J TCM WM Crit Care, 2020, 27 (6): 689-692. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2020.06.014.

[15] Zambon M, Greco M, Bocchino S, et al. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review [J]. Intensive Care Med, 2017, 43 (1): 29-38. DOI: 10.1007/s00134-016-4524-z.

[16] Aubier M, Murciano D, Lecocguic Y, et al. Effect of hypophosphatemia on diaphragmatic contractility in patients with acute respiratory failure [J]. N Engl J Med, 1985, 313 (7): 420-424. DOI: 10.1056/NEJM198508153130705.

（收稿日期：2021-02-04）