·论著·

超声膈肌增厚率对重症肌无力危象机械通气患者撤机成功的预测价值

孙强 山峰 董海 姜艳 孙咏梅 孙运波

266061 山东，青岛大学附属医院重症医学科（孙强、山峰、董海、姜艳、孙运波），超声医学科（孙咏梅）
通讯作者：孙运波，Email：sqy1997@163.com
DOI：10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.07.009

【摘要】 目的 通过床旁超声评估重症肌无力危象机械通气患者的膈肌功能，明确膈肌增厚率（DTF）对撤机成功的预测价值。**方法** 采用前瞻性研究方法，选择2015年3月至2017年2月入住青岛大学附属医院重症医学科的重症肌无力危象且需行有创机械通气治疗的患者。所有患者采用低水平压力支持模式的自主呼吸试验（SBT），并记录浅快呼吸指数（RSBI）；于SBT 5 min及60 min时采用床旁超声测量患者右侧膈肌呼气末膈肌厚度（DTee）、吸气末膈肌厚度（DTei），并计算DTF，观察SBT过程中各项指标的变化。根据撤机结果将患者分为撤机成功组和撤机失败组，比较两组患者各项指标的差异。采用受试者工作特征曲线（ROC）评价SBT 60 min时DTF及RSBI对撤机成功的预测价值。**结果** 共37例患者纳入最终分析，共计完成63例次SBT 5 min时的超声测量和50例次SBT 60 min时的超声测量。SBT 5 min时数据分析结果显示，撤机成功组（33例次）与失败组（30例次）患者RSBI、DTee、DTei及DTF差异均无统计学意义（均$P>0.05$）。SBT 60 min数据分析结果显示，与撤机成功组（33例次）比较，撤机失败组（17例次）患者RSBI明显升高（次·min^{-1}·L^{-1}：80.41±29.08比63.94±23.84，$t=2.146$，$P=0.037$），DTee、DTei、DTF均明显降低〔DTee（mm）：22.00±6.25比25.45±4.99，$t=2.127$，$P=0.039$；DTei（mm）：27.94±6.19比38.48±6.15，$t=5.731$，$P=0.000$；DTF：（24.46±14.11）%比（62.04±30.21）%，$t=4.845$，$P=0.000$〕。33例次成功撤机患者SBT 5 min与60 min时RSBI、DTee、DTei及DTF差异无统计学意义（均$P>0.05$）。在17例次SBT超过60 min但撤机失败患者中，与SBT 5 min比较，SBT 60 min RSBI明显升高（次·min^{-1}·L^{-1}：80.41±29.08比57.29±22.46，$t=2.400$，$P=0.029$），DTei和DTF明显降低〔DTei（mm）：27.94±6.19比35.35±6.84，$t=3.024$，$P=0.000$；DTF：（24.46±14.11）%比（61.89±23.97）%，$t=5.810$，$P=0.000$〕；但DTee在SBT过程中无明显变化。ROC曲线分析显示：SBT 60 min时DTF预测撤机成功的ROC曲线下面积（AUC）为0.898；以DTF≥27.90%为截点，敏感度为93.9%，特异度为70.6%。SBT 60 min时RSBI预测撤机成功的AUC为0.669；以RSBI≥86.50次·min^{-1}·L^{-1}为截点，敏感度为81.8%，特异度为52.9%。**结论** SBT 60 min时超声测量DTF是预测重症肌无力危象机械通气患者撤机成功的有效指标。

【关键词】 超声；膈肌；重症肌无力；机械通气；撤机

基金项目：山东省医药卫生科技发展计划项目（2016WS0269）

Predictive value of ultrasonic diaphragm thickening fraction on successful weaning for patients with myasthenia gravis crisis *Sun Qiang, Shan Feng, Dong Hai, Jiang Yan, Sun Yongmei, Sun Yunbo*

Department of Critical Care Medicine, the Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266061, Shandong, China (Sun Q, Shan F, Dong H, Jiang Y, Sun YB); Department of Ultrasonic Medicine, the Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266061, Shandong, China (Sun YM)

Corresponding author: Sun Yunbo, Email: sqy1997@163.com

【Abstract】 Objective To confirm the predictive value of diaphragm thickening fraction (DTF) on successful weaning by bedside ultrasound in patients with myasthenia gravis crisis. **Methods** A prospective study was conducted. The patients with myasthenia gravis crisis undergoing mechanical ventilation admitted to Department of Critical Care Medicine of the Affiliated Hospital of Qingdao University from March 2015 to February 2017 were enrolled. All patients underwent a low level pressure support mode of spontaneous breathing test (SBT), and rapid shallow breathing index (RSBI) was recorded. The indicators of right diaphragm thickness at the end of inspiration (DTei) and expiration (DTee) were determined by bedside ultrasound at 5 minutes and 60 minutes of SBT, and DTF was calculated, the changes in above parameters were observed during SBT. The patients were divided into successful weaning group and failure weaning group, and the differences in above indexes were compared between the two groups. Receiver operating characteristic curve (ROC) was used to evaluate the predictive value of DTF and RSBI at 60 minutes of SBT on successful weaning. **Results** A total of 37 patients were enrolled in the study. Ultrasonic measurement data of 63 person-times at 5 minutes of SBT and 50 at 60 minutes of SBT were obtained. There were no statistical differences in RSBI, DTei, DTee, and DTF at 5 minutes of SBT between successful weaning group (n = 33) and failure weaning group (n = 30). At 60 minutes of SBT, compared with successful weaning group (n = 33), the patients in failure weaning group (n = 17) had a higher RSBI (times·min^{-1}·L^{-1}: 80.41±29.08 vs. 63.94±23.84, t = 2.146, P = 0.037), and lower DTee, DTei and DTF [DTee (mm): 22.00±6.25 vs. 25.45±4.99, t = 2.127, P = 0.039; DTei (mm): 27.94±6.19 vs. 38.48±6.15,

t = 5.731, P = 0.000; DTF: (24.46±14.11)% vs. (62.04±30.21)%, t = 4.845, P = 0.000]. There were no statistical differences in RSBI, DTei, DTee, and DTF between 5 minutes and 60 minutes of SBT in 33 person-time successful weaning (all P > 0.05). In 17 person who had 60 minutes of SBT but failed weaning, the RSBI at 60 minutes of SBT was significantly higher than that at 5 minutes (times·min^{-1}·L^{-1}: 80.41±29.08 vs. 57.29±22.46, t = 2.400, P = 0.029), and DTei and DTF were significantly decreased [DTei (mm): 27.94±6.19 vs. 35.35±6.84, t = 3.024, P = 0.000; DTF: (24.46±14.11)% vs. (61.89±23.97)%, t = 5.810, P = 0.000], but the change of DTee during SBT showed no statistical significance. ROC curve analysis showed that the area under ROC curve (AUC) of DTF at 60 minutes of SBT for predicting successful weaning was 0.898; when DTF ≥ 27.9% as the cut-off point, the sensitivity was 93.9%, specificity was 70.6%. The AUC of RSBI for predicting successful weaning was 0.669; when RSBI ≥ 86.50 times·min^{-1}·L^{-1} as the cut-off point, the sensitivity was 81.8%, specificity was 52.9%. **Conclusion** DTF at 60 minutes of SBT is the effective index of successful weaning prediction in mechanical ventilation patients with myasthenia gravis crisis.

【Key words】 Ultrasound; Diaphragm; Myasthenia gravis; Mechanical ventilation; Extubation

Fund program: Medical and Health Science and Technology Development Program of Shandong Province (2016WS0269)

重症肌无力是一种周围神经系统性疾病，随病情进展可诱发肌无力危象，导致呼吸衰竭（呼衰），必须使用机械通气治疗[1-2]。膈肌作为主要的呼吸肌，其功能恢复程度对患者撤机成功与否起关键作用。有学者通过超声监测慢性阻塞性肺疾病（COPD）等危重病患者膈肌位移及厚度变化指导撤机，取得良好效果[3-7]。本研究使用床旁超声监测重症肌无力危象机械通气患者撤机过程中膈肌增厚率（DTF），以明确其临床预测价值，对撤机时机进行准确判断。

1　资料与方法

1.1　研究对象：采用前瞻性研究方法，选择 2015 年 3 月至 2017 年 2 月入住青岛大学附属医院重症医学科的重症肌无力危象，并使用经口气管插管机械通气的患者。所有患者均为第 1 次因呼衰行机械通气治疗，在第 1 次拟撤机前 1 d 入组。

1.1.1　纳入标准：年龄＞18 岁；意识清楚；氧合指数（PaO_2/FiO_2）＞200 mmHg（1 mmHg=0.133 kPa）；血流动力学稳定。

1.1.2　排除标准：年龄＜18 岁；3 个月内有胸腹腔手术史；合并腹腔高压或因严重肺部感染及 COPD 等其他疾病导致呼衰的患者。

1.1.3　剔除标准：中途放弃治疗或自愿退出研究者。

1.1.4　伦理学：本研究符合医学伦理学标准，获得医院伦理委员会批准（审批号：2015-01-16），所有患者家属均签署知情同意书。

1.2　观察指标及方法

1.2.1　呼吸功能指标：患者床头抬高 30°，采用低水平压力支持模式的自主呼吸试验（SBT），支持压力设为 7 cmH_2O（1 cmH_2O=0.098 kPa），吸入氧浓度（FiO_2）不超过 0.40。记录患者呼吸频率、潮气量，计算浅快呼吸指数（RSBI）。

1.2.2　床旁超声测量：于 SBT 5 min 及 60 min 应用美国 SonoSite 彩色多普勒超声诊断仪完成超声测量。HFL38 型超声探头沿右侧腋中线寻找平静吸气末肺下界膈肌肋间水平，并标记为测量点。采用 B 超模式测量膈肌厚度[8]，取每个呼吸周期的最大值和最小值，分别作为吸气末膈肌厚度（DTei）和呼气末膈肌厚度（DTee），记录连续 3 个呼吸周期的数值，取均值，计算 DTF〔DTF=（DTei−DTee）/DTee×100%〕。所有超声测量均由同一位超声科医生完成，测量结果对临床医生保密，测量目的对患者保密以减少患者的主观因素对测量结果的影响。研究结束后由临床医生查看超声结果并进行数据分析。

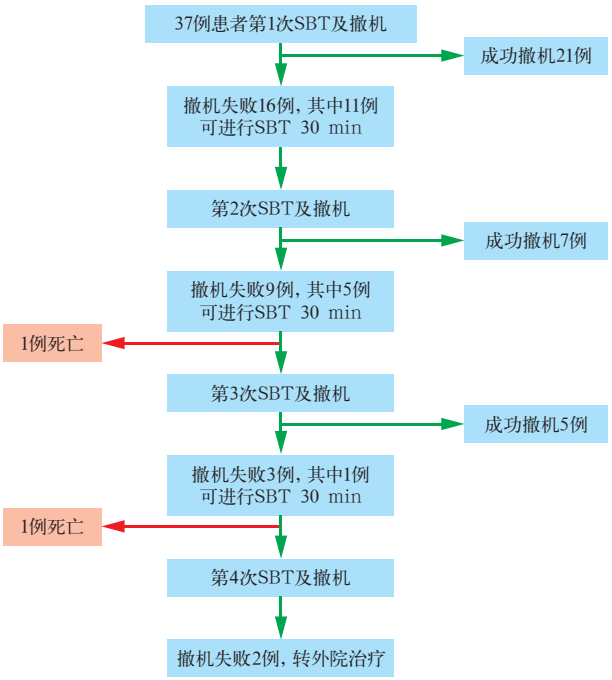
1.2.3　动脉血气分析：于每次超声测量结束 2 min 内抽取动脉血，进行血气分析。

1.3　撤机成功标准：SBT 2 h 后由临床医生根据患者耐受情况及气道廓清能力等指标拔管并撤机。以顺利撤机且 48 h 内不再需要使用有创或无创机械通气支持为撤机成功标准[9]。对于初次撤机失败的患者，后续实施的撤机试验都纳入研究。根据撤机结果将患者分为撤机成功组和撤机失败组。

1.4　统计学方法：应用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析。先对计量资料进行正态性检验，正态分布以均数 ± 标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，用配对样本 t 检验和独立样本 t 检验；非正态分布以中位数（四分位数）〔$M(Q_L, Q_U)$〕表示，用 Mann-Whitney U 检验。采用受试者工作特征曲线（ROC）评价 DTF、RSBI 对撤机成功的预测价值。P＜0.05 为差异有统计学意义。

2　结　果

2.1　一般资料：共 37 例患者纳入分析，男性 16 例，女性 21 例；年龄 19～73 岁，平均（43.4±13.7）岁；均行经口气管插管；所有患者均行 1 次或多次 SBT，其中 33 例撤机成功，2 例死亡，2 例转外院继续治疗（图 1）；共计完成 63 例次 SBT 5 min 时的超声测量和 50 例次 SBT 60 min 时的超声测量，均得到清晰的超声膈肌图像。



注：SBT 为自主呼吸试验

图 1 超声测量膈肌增厚率（DTF）预测重症肌无力危象机械通气患者撤机成功的临床研究入选病例流程

2.2 SBT 5 min 时的数据分析（表 1）：在 63 例次 SBT 5 min 时的超声测量数据中，撤机成功组 33 例次，撤机失败组 30 例次；两组年龄、急性生理学与慢性健康状况评分系统Ⅱ（APACHE Ⅱ）评分、机械通气时间、PaO_2/FiO_2 无明显差异（均 $P>0.05$），说明两组一般资料均衡，有可比性。两组 RSBI、DTee、DTei 及 DTF 差异均无统计学意义（均 $P>0.05$）。

2.3 SBT 60 min 时的数据分析（表 1）：在 50 例次 SBT 60 min 时超声测量数据中，撤机成功组 33 例次，撤机失败组 17 例次；两组年龄、APACHE Ⅱ 评分、机械通气时间、PaO_2/FiO_2 无明显差异（均 $P>0.05$），说明两组一般资料均衡，有可比性。与撤机成功组比较，撤机失败组患者 RSBI 明显升高，DTee、DTei、DTF 均明显降低（均 $P<0.05$）。

2.4 成功撤机患者测量数据分析（表 2）：33 例次成功撤机患者 SBT 5 min 与 60 min 时的 RSBI、DTee、DTei 及 DTF 差异无统计学意义（均 $P>0.05$）。

2.5 SBT 超过 60 min 但撤机失败患者测量数据分析（表 2）：在 17 例次 SBT 超过 60 min 但撤机失败患者中，与 SBT 5 min 比较，SBT 60 min 时 RSBI 明显升高，DTei 和 DTF 明显降低（均 $P<0.05$）；但 DTee 在 SBT 过程中无明显变化。

表 2 撤机成功和撤机失败的重症肌无力危象患者 SBT 5 min 与 60 min 时超声测量数据比较（$\bar{x}\pm s$）

撤机成功					
时间	例次	RSBI（次·min^{-1}·L^{-1}）	DTee（mm）	DTei（mm）	DTF（%）
SBT 5 min	33	60.67±19.40	23.76±5.04	36.36±5.53	57.66±31.15
SBT 60 min	33	63.94±23.84	25.52±4.99	38.48±6.15	62.04±30.21
t 值		1.552	1.752	1.84	0.582
P 值		0.131	0.089	0.075	0.565
SBT 超过 60 min 但撤机失败					
时间	例次	RSBI（次·min^{-1}·L^{-1}）	DTee（mm）	DTei（mm）	DTF（%）
SBT 5 min	17	57.29±22.46	22.18±4.99	35.35±6.84	61.89±23.97
SBT 60 min	17	80.41±29.08	22.00±6.25	27.94±6.19	24.46±14.11
t 值		2.400	0.089	3.024	5.810
P 值		0.029	0.930	0.000	0.000

注：SBT 为自主呼吸试验，RSBI 为浅快呼吸指数，DTee 为呼气末膈肌厚度，DTei 为吸气末膈肌厚度，DTF 为膈肌增厚率

表 1 完成 SBT 5 min（63 例次）和 60 min（50 例次）撤机成功与失败两组重症肌无力危象患者临床资料比较（$\bar{x}\pm s$）

完成 SBT 5 min									
组别	例次	年龄（岁）	APACHE Ⅱ（分）	MV 时间（d）	PaO_2/FiO_2（mmHg）	RSBI（次·min^{-1}·L^{-1}）	DTee（mm）	DTei（mm）	DTF（%）
撤机成功组	33	44.21±14.75	12.33±3.25	11.09±3.95	328.90±45.47	60.67±19.40	23.76±5.04	36.36±5.53	57.66±31.15
撤机失败组	30	45.17±12.16	13.60±2.84	13.03±5.61	316.30±58.85	67.60±21.89	21.97±5.99	33.27±7.80	55.94±30.84
t 值		0.279	1.642	1.601	0.961	1.333	1.228	1.831	0.220
P 值		0.781	0.106	0.115	0.340	0.187	0.203	0.072	0.827
完成 SBT 60 min									
组别	例次	年龄（岁）	APACHE Ⅱ（分）	MV 时间（d）	PaO_2/FiO_2（mmHg）	RSBI（次·min^{-1}·L^{-1}）	DTee（mm）	DTei（mm）	DTF（%）
撤机成功组	33	44.21±14.75	12.33±3.25	11.09±3.95	341.51±63.50	63.94±23.84	25.45±4.99	38.48±6.15	62.04±30.21
撤机失败组	17	46.35±13.53	13.12±3.08	12.94±6.11	325.24±61.06	80.41±29.08	22.00±6.25	27.94±6.19	24.46±14.11
t 值		0.499	0.823	1.297	0.870	2.146	2.127	5.731	4.845
P 值		0.620	0.415	0.201	0.389	0.037	0.039	0.000	0.000

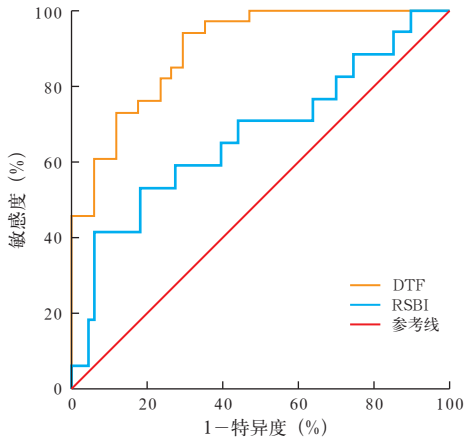
注：SBT 为自主呼吸试验，APACHE Ⅱ为急性生理学与慢性健康状况评分系统Ⅱ，MV 为机械通气，PaO_2/FiO_2 为氧合指数，RSBI 为浅快呼吸指数，DTee 为呼气末膈肌厚度，DTei 为吸气末膈肌厚度，DTF 为膈肌增厚率；1 mmHg=0.133 kPa

2.6 SBT 60 min 时各指标预测撤机成功的 ROC 曲线分析（表 3；图 2）：SBT 60 min 时超声测量 DTF 预测撤机成功的 ROC 曲线下面积（AUC）为 0.898；以 DTF≥27.90% 为截点，敏感度为 93.9%，特异度为 70.6%。SBT 60 min 时的 RSBI 预测撤机成功的 AUC 为 0.669；以 RSBI≥86.50 次 · min^{-1} · L^{-1} 为截点，敏感度为 81.8%，特异度为 52.9%。

表 3　SBT 60 min 时超声测量 DTF 和 RSBI 对重症肌无力危象患者撤机成功的预测价值

参数	AUC	95%*CI*	敏感度（%）	特异度（%）	阳性预测值（%）	阴性预测值（%）
DTF	0.898	0.807～0.988	93.9	70.6	86.1	85.7
RSBI	0.669	0.502～0.837	81.8	52.9	77.1	60.0

注：SBT 为自主呼吸试验，DTF 为膈肌增厚率，RSBI 为浅快呼吸指数，AUC 为受试者工作特征曲线下面积，95%*CI* 为 95% 可信区间



注：SBT 为自主呼吸试验，DTF 为膈肌增厚率，RSBI 为浅快呼吸指数，ROC 曲线为受试者工作特征曲线

图 2　SBT 60 min 时超声测量 DTF 和 RSBI 预测重症肌无力危象患者撤机成功的 ROC 曲线

3　讨　论

对于重症肌无力危象行机械通气治疗的患者，准确判断撤机时机非常重要。及早成功撤机可有效缩短重症加强治疗病房（ICU）住院时间、降低治疗费用、减少呼吸机相关性肺炎（VAP）等并发症的发生率[10-12]；而撤机失败则导致患者病情反复甚至加重。目前临床上没有针对重症肌无力危象患者撤机的“金标准”，普遍参考 COPD 等的指导意见，采用 SBT 结合多项指标来指导撤机，失败率较高[13-15]。因此，寻找更合理的撤机预测指标成为重症肌无力危象患者治疗的关键。重症肌无力危象患者往往膈肌受累而不得不使用呼吸机辅助呼吸，同时膈肌是最主要的呼吸肌，主导正常通气过程中 70% 以上的工作量[16]，膈肌功能的恢复程度决定着重症肌无力危象伴呼衰患者的预后，所以评价膈肌功能并指导撤机是一个确切可行的方法[17]。目前监测膈肌功能的方法主要有超声、电生理、CT 和膈肌力学等[18]，其中应用床旁超声评价膈肌功能可无创、实时、准确地提供高质量的膈肌图像，适合临床应用[19-20]。

鉴于正压通气对膈肌运动的影响，对机械通气患者采用收缩幅度来评价膈肌功能可能比运动幅度更为合理[21]；同时，超声观察右侧膈肌较左侧操作简便可靠、图像清晰、有利于测量[22]，所以本研究通过床旁超声评价重症肌无力危象患者呼吸过程中右侧 DTF 来预测撤机结果。研究显示，撤机失败者 SBT 60 min 时 DTF 明显低于成功者，且 ROC 曲线提示 DTF 对撤机成功的预测价值较高；虽然 SBT 60 min 时两组 DTei 和 DTee 也有明显差异，但由于膈肌厚度的个体差异较大，部分健康人群膈肌厚度可低至 1.5 mm 以下[23-25]，不建议使用膈肌的绝对厚度来指导撤机，所以 DTF 是更可靠的预测指标。

本研究对比了 SBT 5 min 时各项指标，发现撤机成功组与失败组间差异无统计学意义，可能是 SBT 初始阶段，重症肌无力患者的膈肌力量储备尚充足，收缩力没有明显下降，尚能维持呼吸功能需要，而随着 SBT 的进行，部分患者逐渐出现膈肌疲劳，表现为收缩能力下降，呼吸费力，导致撤机失败[26]。本研究结果显示，成功撤机患者 SBT 60 min 时的 DTF 与 5 min 时无明显差异；而 SBT 超过 60 min 但撤机失败的患者，其 SBT 60 min 时的 DTF 明显低于 5 min 时，所以对于重症肌无力患者，膈肌收缩的耐力可能更重要，并提示 SBT 60 min 时膈肌状态较 5 min 时对撤机更有意义。这种随 SBT 时间延长的膈肌收缩力下降是重症肌无力患者的特殊性[27]，也提示我们对于重症肌无力患者，要采用较长时间 SBT 的 DTF 来提高对撤机结果的预测价值。

本研究分析了 SBT 60 min 时 RSBI 和 DTF 对撤机结果的预测价值，结果显示，DTF 的敏感度和特异度均高于 RSBI。可能是 DTF 直接反映了膈肌本身的功能变化[28-29]，能体现重症肌无力患者的呼吸能力，敏感度和特异度相对较高，而 SBT 患者努力吸气时肋间肌、腹肌等辅助呼吸肌作功，掩盖了膈肌收缩力下降的表现，导致 RSBI 特异度不高[30]。因此，对于重症肌无力患者，DTF 预测撤机成功的价值较 RSBI 更有意义。

有研究表明，影响撤机结果的因素还包括患者的气道廓清能力[31]。咳嗽作为患者主动进行气道

廓清的重要手段，在预防拔管后再插管中起到重要作用，对于重症肌无力危象患者，膈肌的力量储备是影响其主动咳嗽能力的重要因素。DTF 为膈肌功能的直接体现，在咳嗽中的临床意义还有待研究。

综上所述，SBT 60 min 时超声测量 DTF 是预测重症肌无力危象机械通气患者撤机成功的有效指标，适于临床应用。

参考文献

[1] Sanders DB, Wolfe GI, Benatar M, et al. International consensus guidance for management of myasthenia gravis: Executive summary [J]. Neurology, 2016, 87 (4): 419–425. DOI: 10.1212/WNL.0000000000002790.

[2] Ramos–Fransi A, Rojas–García R, Segovia S, et al. Myasthenia gravis: descriptive analysis of life–threatening events in a recent nationwide registry [J]. Eur J Neurol, 2015, 22 (7): 1056–1061. DOI: 10.1111/ene.12703.

[3] Farghaly S, Hasan AA. Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients [J]. Aust Crit Care, 2017, 30 (1): 37–43. DOI: 10.1016/j.aucc.2016.03.004.

[4] Demoule A, Jung B, Prodanovic H, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact–a prospective study [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2013, 188 (2): 213–219. DOI: 10.1164/rccm.201209–1668OC.

[5] Scheibe N, Sosnowski N, Pinkhasik A, et al. Sonographic evaluation of diaphragmatic dysfunction in COPD patients [J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2015, 10 : 1925–1930. DOI: 10.2147/COPD.S85659.

[6] 周树生，查渝，王春艳，等 . 床旁超声技术对慢性阻塞性肺疾病及心源性肺水肿的诊断价值研究 [J]. 中华危重病急救医学，2014, 26 (8): 558–562. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2014.08.007.
Zhou SS, Zha Y, Wang CY, et al. The clinical value of bedside lung ultrasound in the diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease and cardiac pulmonary edema [J]. Chin Crit Care Med, 2014, 26 (8): 558–562. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2014.08.007.

[7] 黄鹤，崔云亮，田昭涛，等 . 急性呼吸窘迫综合征的肺部超声诊断价值 [J]. 中华危重病急救医学，2014, 26 (8): 606–608. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2014.08.022.
Huang H, Cui YL, Tian ZT, et al. Value of lung ultrasonography in the diagnosis of acute respiratory distress syndrome [J]. Chin Crit Care Med, 2014, 26 (8): 606–608. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2014.08.022.

[8] DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, et al. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation [J]. Thorax, 2014, 69 (5): 423–427. DOI: 10.1136/thoraxjnl–2013–204111.

[9] MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, 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–95S.

[10] Kuo HJ, Chiu HW, Lee CN, et al. Improvement in the Prediction of Ventilator Weaning Outcomes by an Artificial Neural Network in a Medical ICU [J]. Respir Care, 2015, 60 (11): 1560–1569. DOI: 10.4187/respcare.03648.

[11] 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.

[12] 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.

[13] Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications [J]. Intensive Care Med, 2013, 39 (5): 801–810. DOI: 10.1007/s00134–013–2823–1.

[14] 袁婷，姚尚龙，尚游 . 超声在急性呼吸窘迫综合征合并急性肺源性心脏病诊断和治疗中的应用 [J]. 中华危重病急救医学，2016, 28 (6): 573–576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2016.06.021.
Yuan T, Yao SL, Shang Y. Application of thoracic ultrasonography for acute cor pulmonale patients in acute respiratory distress syndrome [J]. Chin Crit Care Med, 2016, 28 (6): 573–576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2016.06.021.

[15] 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.

[16] Umbrello M, Formenti P, Longhi D, et al. Diaphragm ultrasound as indicator of respiratory effort in critically ill patients undergoing assisted mechanical ventilation: a pilot clinical study [J]. Crit Care, 2015, 19 : 161. DOI: 10.1186/s13054–015–0894–9.

[17] Ferrari G, De Filippi G, Elia F, et al. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation [J]. Crit Ultrasound J, 2014, 6 (1): 8. DOI: 10.1186/2036–7902–6–8.

[18] Vivier E, Mekontso DA, Dimassi S, et al. Diaphragm ultrasonography to estimate the work of breathing during non–invasive ventilation [J]. Intensive Care Med, 2012, 38 (5): 796–803. DOI: 10.1007/s00134–012–2547–7.

[19] 樊凌华，李振伟，董绍群，等 . 肺超声在重症加强治疗病房中的应用 [J]. 中国中西医结合急救杂志，2016, 23 (3): 331–333. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2016.03.031.
Fan LH, Li ZW, Dong SQ, et al. Application of lung ultrasound in intensive care unit [J]. Chin J TCM WM Crit Care, 2016, 23 (3): 331–333. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2016.03.031.

[20] 马欢，魏丹丹，何健卓，等 . 肺脏超声在重症加强治疗病房中的应用进展 [J]. 中国中西医结合急救杂志，2015, 22 (2): 222–224. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2015.02.52.
Ma H, Wei DD, He JZ, et al. Research progress of application of lung ultrasound in intensive care unit [J]. Chin J TCM WM Crit Care, 2015, 22 (2): 222–224. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2015.02.52.

[21] Kim WY, Suh HJ, Hong SB, et al. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation [J]. Crit Care Med, 2011, 39 (12): 2627–2630. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3182266408.

[22] 何伟，许媛 . 3 种超声方法测量膈肌运动的比较研究 [J]. 中华危重病急救医学，2014, 26 (12): 914–916. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2014.12.014.
He W, Xu Y. Comparative study of diaphragm movement measured by 3 ultrasonic methods [J]. Chin Crit Care Med, 2014, 26 (12): 914–916. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2014.12.014.

[23] Hudson MB, Smuder AJ, Nelson WB, et al. Both high level pressure support ventilation and controlled mechanical ventilation induce diaphragm dysfunction and atrophy [J]. Crit Care Med, 2012, 40 (4): 1254–1260. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31823c8cc9.

[24] McCool FD, Benditt JO, Conomos P, et al. Variability of diaphragm structure among healthy individuals [J]. Am J Respir Crit Care Med, 1997, 155 (4): 1323–1328. DOI: 10.1164/ajrccm.155.4.9105074.

[25] Goligher EC, Fan E, Herridge MS, et al. Evolution of Diaphragm Thickness during Mechanical Ventilation. Impact of Inspiratory Effort [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2015, 192 (9): 1080–1088. DOI: 10.1164/rccm.201503–0620OC.

[26] Rabinstein AA. Acute Neuromuscular Respiratory Failure [J]. Continuum (Minneap Minn), 2015, 21 (5 Neurocritical Care): 1324–1345. DOI: 10.1212/CON.0000000000000218.

[27] Fregonezi GA, Resqueti VR, Güell R, et al. Effects of 8–week, interval–based inspiratory muscle training and breathing retraining in patients with generalized myasthenia gravis [J]. Chest, 2005, 128 (3): 1524–1530. DOI: 10.1378/chest.128.3.1524.

[28] Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity [J]. Intensive Care Med, 2015, 41 (4): 642–649. DOI: 10.1007/s00134–015–3687–3.

[29] Hermans G, Agten A, Testelmans D, et al. Increased duration of mechanical ventilation is associated with decreased diaphragmatic force: a prospective observational study [J]. Crit Care, 2010, 14 (4): R127. DOI: 10.1186/cc9094.

[30] 陆志华，方强，王国彬 . 浅快呼吸指数对 COPD 机械通气病人撤机的意义 [J]. 中国急救医学，2005, 25 (3): 165–166. DOI: 10.3969/j.issn.1002–1949.2005.03.004.
Lu ZH, Fang Q, Wang GB. Clinical study of rapid– shallow–breathing index as a weaning predictor in mechanical ventilation patients with chronic obstructive pulmonary disease [J]. Chin J Crit Care Med, 2005, 25 (3): 165–166. DOI: 10.3969/j.issn.1002–1949.2005.03.004.

[31] Masmoudi H, Coirault C, Demoule A, et al. Can phrenic stimulation protect the diaphragm from mechanical ventilation–induced damage? [J]. Eur Respir J, 2013, 42 (1): 280–283. DOI: 10.1183/09031936.00045613.

（收稿日期：2017–05–08）