

· 临床研究 ·

不同状态下经气管压力对重症气管切开患者说话瓣膜应用的影响

马明¹ 胡正永² 方媛媛³ 杨玺¹ 邓扬桥⁴ 俞云⁵ 殷锦霞⁶

¹东南大学附属中大医院康复医学科,南京 210009; ²南京体育学院,南京 210014; ³江苏省军区南京第九离职干部休养所门诊部,南京 211113; ⁴东南大学附属中大医院江北院区康复医学科,南京 210048; ⁵东南大学附属中大医院重症医学科,南京 210009; ⁶东南大学附属中大医院疼痛科,南京 210009

通信作者:马明,Email:NJ9868@163.com

【摘要】目的 观察不同状态下经气管压力(TTP)对重症气管切开(简称气切)患者说话瓣膜应用的影响。方法 回顾性分析 2019 年 6 月至 2021 年 4 月期间在东南大学附属中大医院重症医学科佩戴说话瓣膜的 50 例气切患者相关资料,根据患者佩戴说话瓣膜耐受时长是否 ≥ 30 min 将其分为耐受组和非耐受组。检测 2 组患者平静呼吸、用力呼气及发音时 TTP,并探讨不同状态下 TTP 对患者佩戴说话瓣膜耐受情况的预测价值;采用线性回归模型分析影响患者说话瓣膜佩戴时长的相关因素,并采用超声评估患者佩戴说话瓣膜前、后呼吸肌收缩变化,同时记录患者对说话瓣膜应用的满意度。结果 发音时 TTP 对患者佩戴说话瓣膜的耐受性具有预测价值(Cut off 值为 11 cmH₂O,敏感度为 83.78%,特异性为 61.54%)。对说话瓣膜佩戴时长的正性影响因素包括基线膈肌增厚分数和身体功能评分,负性影响因素为急性生理与慢性健康-II 评分(APACHE-II)。佩戴说话瓣膜后 2 组患者腹直肌、腹外斜肌、腹内斜肌及腹横肌收缩幅度均较佩戴说话瓣膜前明显增加($P<0.05$),2 组患者对应用说话瓣膜的整体满意度评分[分别为(7.11 $\pm$ 1.71)分和(5.00 $\pm$ 1.63)分]均较高。结论 发音时 TTP 可帮助预测重症气切患者佩戴说话瓣膜的耐受性,同时 APACHE-II 评分、基线膈肌增厚分数及身体功能评分也可影响气切患者说话瓣膜佩戴时长。

【关键词】经气管压力; 重症; 气管切开; 说话瓣膜

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.010

The effects of transtracheal pressure on the utility of speaking valves in critically ill patients after tracheostomy

Ma Ming¹, Hu Zhengyong², Fang Yuanyuan³, Yang Xi¹, Deng Yangqiao⁴, Yu Yun⁵, Yin Jinxia⁶

¹Department of Rehabilitation Medicine, ⁵Department of Critical Care Medicine, ⁶Department of Pain, Zhongda Hospital Affiliated to Southeast University, Nanjing 210009, China; ²Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China; ³Outpatients Department, Nanjing Ninth Retirement Center for Cadres of the Jiangsu Military Region, Nanjing 211113, China; ⁴Department of Rehabilitation Medicine, Jiangbei Branch of Zhongda Hospital Affiliated to Southeast University, Nanjing 210048, China

Corresponding author: Ma Ming, Email: NJ9868@163.com

【Abstract】Objective To analyze the effect of transtracheal pressure (TTP) on the application of a speaking valve in critically ill patients after tracheostomy. Methods A retrospective analysis was conducted of 50 patients wearing a speaking valve after tracheostomy. Patients who had been wearing a speaking valve for 30min or more were the tolerance group, while those with less than 30min were the intolerance group. Transtracheal pressure was monitored during resting breathing, forced expiration and speaking. Linear regression models were evaluated to isolate the factors best predicting tolerance. The changes in respiratory muscle contraction before and after wearing a speaking valve were evaluated using ultrasound. The patients' satisfaction with wearing a speaking valve was also recorded. Results TTP during speaking significantly predicted tolerance. The baseline values of diaphragmatic thickening fraction and physical functioning also positively predicted tolerance. Acute physiology and chronic health (APACHE II) score was a significant negative predictor. After wearing the speaking valve, the average contraction of the rectus abdominis, external oblique, internal oblique and transverse abdominis muscles increased significantly. Both groups expressed high satisfaction with the speaking valves. Conclusions Transtracheal pressure during speaking can help predict the tolerance for wearing a speaking valve among critically ill patients after a tracheostomy. Baseline diaphrag-

matic thickening fraction, physical functioning and APACHE II score can predict the duration of speaking valve tolerance.

【Key words】 Transtracheal pressure; Critical care; Tracheostomy; Speaking valves
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.010

说话瓣膜是用于气管切开(简称气切)患者的一种康复干预装置,其通过单向阀门引导呼气相气流通过声带向上流动,可改善因气管切开导致的言语、吞咽、嗅觉功能障碍,促进分泌物清除,增加肺泡募集,提高患者生活质量^[1-2]。然而临床上并非所有气切患者都能耐受佩戴说话瓣膜,其中上气道通畅性是主要影响因素。经气管压力(transtracheal pressure,TTP)检测是评估上气道通畅性的一种有效方法,其通过连接到气切套管上的压力装置监测患者呼吸过程中气道内压力变化情况,有助于实时、客观评估患者佩戴说话瓣膜时的安全性及耐受性。相关研究显示 TTP≤9 cmH₂O 的气切患者对佩戴说话瓣膜具有较好的耐受性^[3],若佩戴过程中出现呼吸困难、疲劳度增加等情况,则建议采用更换较小内径气切套管或在说话瓣膜上钻孔等方式来缓解症状^[4]。上述报道多涉及检测气切患者平静呼吸时 TTP,本研究在此基础上增加检测患者用力呼气及发音时 TTP,以进一步探讨不同状态下 TTP 对重症气切患者说话瓣膜应用的影响。

对象与方法

一、研究对象

回顾性分析 2019 年 6 月至 2021 年 4 月期间在东南大学附属中大医院重症医学科应用说话瓣膜的 75 例气切患者临床资料,患者排除标准包括:气管压力值

测量不全,无法遵从评估指令,发音不清晰,患者不耐受,出现非预期病情恶化,出现呼吸衰竭、气胸、气道出血或死亡,无法进行超声检查,有胸腹创伤或肥胖等情况。共有 50 例气切患者符合筛选要求,根据患者佩戴说话瓣膜耐受时长将其分为耐受组及非耐受组,2 组患者一般资料情况包括年龄、性别、体质量指数(body mass index,BMI)、机械通气时间、急性生理与慢性健康-II 评分(acute physiology and chronic health evaluation-II,APACHE-II)、血气分析指标、病因等详见表 1。本研究已获东南大学附属中大医院伦理委员会审批[ZDYJLY(2019)新 63 号]。

二、治疗方法

所有患者均给予常规治疗,包括机械通气、液体管理、营养支持、感染控制、器官功能监测及支持、重症渐进性康复干预等,其中重症渐进性康复干预依据“start to move”活动标准^[5],给患者提供对应等级的康复干预措施,包括体位管理、神经肌肉电刺激、关节活动训练、肌力训练、坐站训练、步行训练及日常生活活动训练等。

由重症医师、康复治疗师及护士等共同对患者进行评估,指导符合条件的气切患者佩戴说话瓣膜(上海产),首先向患者讲解说话瓣膜使用时注意事项以取得积极配合,要求患者保持放松状态,先用吸痰机将气道、口鼻内分泌物吸净,再将气囊放气,同时嘱患者

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	性别(例)		BMI (kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)	机械通气时间 (d, $\bar{x}\pm s$)	APACHE- II 评分 (分, $\bar{x}\pm s$)
			男	女			
耐受组	37	55.89±11.66	30	7	21.49±1.58	13.30±3.17	12.43±2.15
非耐受组	13	57.31±12.82	8	5	23.89±1.45	15.46±4.59	14.69±2.95
P 值		0.715	0.156		<0.001	0.067	0.005

组别	例数	身体功能评分 (分, $\bar{x}\pm s$)	血气分析指标($\bar{x}\pm s$)				
			pH 值	PaO ₂ (mmHg)	PaCO ₂ (mmHg)	HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)
耐受组	37	25.86±5.28	7.43±0.04	109.18±23.49	39.49±4.21	24.92±3.10	367.86±51.97
非耐受组	13	20.08±4.73	7.42±0.03	108.16±21.66	40.67±4.59	25.11±2.65	365.16±68.48
P 值		0.001	0.884	0.891	0.401	0.843	0.883

组别	例数	气切套管管径(例)			病因[例(%)]				
		7.0 mm	7.5 mm	8.0 mm	重症肺炎	脊髓损伤	创伤	心血管疾病	其他疾病
耐受组	37	1	20	16	13(35.1)	6(16.2)	6(16.2)	5(13.5)	7(18.9)
非耐受组	13	3	6	4	7(53.8)	1(7.7)	3(23.1)	2(15.4)	0(0)
P 值		0.020	0.624	0.430	0.236	0.446	0.580	0.867	0.091

注:耐受组佩戴说话瓣膜总时长≥30 min;非耐受组佩戴说话瓣膜总时长<30 min

经口鼻呼吸,确保呼吸道通畅。操作者洗手后戴灭菌手套,用食指、拇指轻轻固定气切套管,另一只手将说话瓣膜套在气切套管接口处并顺时针方向缓慢旋转,然后确认患者是否耐受在该状态下呼吸。相关注意事项包括:①佩戴说话瓣膜前 1~2 h 停止鼻饲或进食;②配戴说话瓣膜过程中需密切观察、记录患者生命体征、血氧饱和度、主观反应等各项指标变化,优先保证呼吸功能质量。

三、TTP 检测

本研究采用的 TTP 测量装置由气囊压力检测表(COVIDIEN,德国产)、连接管线及适配器组成,测试前将压力检测表指针归零,待患者完成相关准备工作后,再将适配器两端分别连接说话瓣膜与气切套管接口。确认患者呼吸平稳后,连续读取 3 次平静呼吸、尽最大努力呼气至残气位及朗读“我在中大医院重症医学科”过程中的最大压力值,并分别计算平均数作为患者平静呼吸、用力呼气及发音时 TTP。

四、相关评估指标

1.说话瓣膜佩戴总时长:在 TTP 检测结束后次日,根据操作规范指导患者佩戴说话瓣膜并记录佩戴总时长。

2.呼吸肌超声检查:于佩戴说话瓣膜前、佩戴 5 min 后对患者呼吸肌进行超声检查,患者取头高 30° 仰卧位,采用频率 6~13 MHz 线阵探头(索诺声 EDGEII,美国产)分别测量患者在 3 个呼吸周期过程中其膈肌、腹直肌、腹外斜肌、腹内斜肌及腹横肌厚度,结果取平均值。膈肌增厚分数=(吸气末膈肌厚度-呼气末膈肌厚度)/呼气末膈肌厚度 $\times 100\%$,该数值越大表明患者膈肌收缩功能越好。

3.身体功能评分:于说话瓣膜佩戴前采用切尔西危重症身体机能量表评估患者身体功能情况,该量表评定内容包括呼吸功能、咳嗽能力及运动能力(如床上活动、卧坐转移、坐位平衡、站立平衡、坐站转移、床

椅转移、行走、握力),每项分值范围 0~5 分,得分越高表示患者身体功能越好^[6]。

4.满意度评分:于说话瓣膜佩戴结束后嘱患者以 0~10 分评价使用说话瓣膜的满意度情况,其中 0 分表示极度不满,5 分表示满意,10 分表示极度满意。

五、统计学分析

采用 SPSS 20.0 版统计学软件包进行数据分析,所得计量资料以($\bar{x} \pm s$)或 $M(Q_{25}, Q_{75})$ 表示,计数资料比较采用 χ^2 检验,通过受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC)分析不同状态下 TTP 对佩戴说话瓣膜耐受性的预测价值,佩戴说话瓣膜前、后计量资料组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用独立样本 t 检验,采用线性回归模型分析影响说话瓣膜佩戴时长的相关因素, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、TTP 对佩戴说话瓣膜耐受性的预测价值分析

通过分析 ROC 曲线发现,平静呼吸时 TTP 和用力呼气时 TTP 对患者佩戴说话瓣膜的耐受程度无预测价值($P > 0.05$),而发音时 TTP 的 ROC 曲线下面积为 0.729, $P = 0.015$, Cut-off 值为 11 cmH₂O,即发音时 TTP > 11 cmH₂O 对应患者佩戴说话瓣膜耐受时长 ≥ 30 min(阳性事件),反之则 < 30 min(阴性事件),对应的真阳性率为 83.78%(灵敏度),真阴性率为 61.54%(特异性),具体情况见图 1。

二、影响说话瓣膜佩戴时长的相关因素分析

通过线性回归模型分析 BMI、APACHE-II 评分、基线膈肌增厚分数、气切套管管径、发音时 TTP 及身体功能评分对患者说话瓣膜佩戴时长的影响,调整 R 方 = 0.659,发现正性影响因素包括基线膈肌增厚分数和身体功能评分,负性影响因素为 APACHE-II 评分,具体结果见表 2。

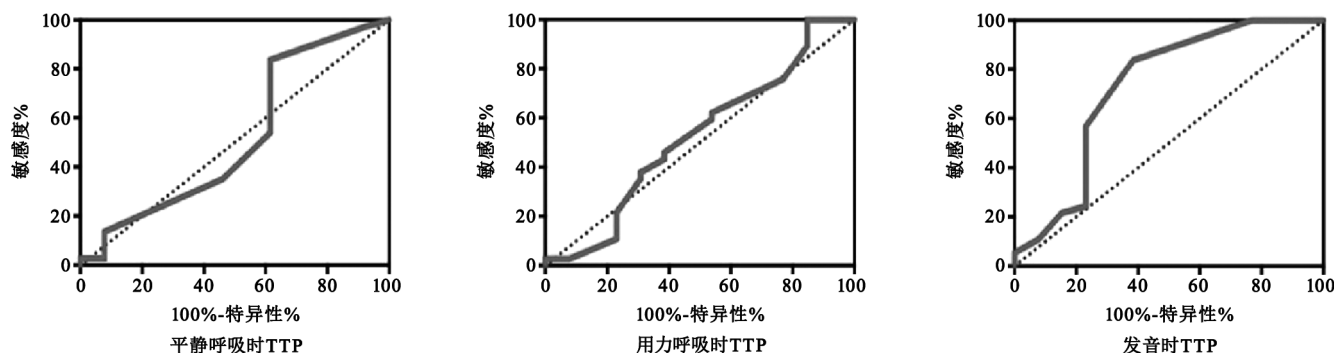


图1 不同状态下 TTP 对患者佩戴说话瓣膜耐受情况的预测分析

表 2 说话瓣膜佩戴时长的影响因素分析

影响因素	回归系数	P 值
BMI	-1.28	0.063
APACHE-Ⅱ 评分	-1.56	0.001
气切套管管径	2.83	0.455
基线膈肌增厚分数	0.93	0.001
发音时 TTP	0.16	0.572
身体功能评分	0.72	0.005

注:常量为 12.46

三、佩戴说话瓣膜对患者呼吸肌厚度的影响

通过组间比较发现,佩戴说话瓣膜前、后 2 组患者膈肌增厚分数组间差异均具有统计学意义($P<0.05$);与佩戴说话瓣膜前比较,佩戴说话瓣膜后非耐受组患者膈肌增厚分数明显增加($P<0.05$),佩戴说话瓣膜后 2 组患者腹直肌、腹内斜肌、腹外斜肌及腹横肌厚度均明显增加($P<0.05$),具体情况见表 3。

四、患者对佩戴说话瓣膜的满意度比较

整体上 2 组患者均对佩戴说话瓣膜持满意态度,且耐受组患者满意度评分[(7.11±1.71)分]明显高于非耐受组评分[(5.00±1.63)分],组间差异具有统计学意义($P<0.05$)。

讨 论

本研究主要发现,发音时 TTP 对说话瓣膜佩戴时长是否 ≥ 30 min 具有预测价值,APACHE-Ⅱ 评分对佩戴说话瓣膜耐受性具有负性影响,而基线膈肌增厚分数及身体功能评分具有正性影响,佩戴说话瓣膜对机体呼气肌收缩功能的影响较大。

重症患者常由于撤机失败、上气道阻塞或分泌物清除困难而选择气管切开,造成患者气道解剖结构破坏、空气进出呼吸系统途径改变,加上气切套管本身刺激或挤压气管等因素可导致一系列病理生理改变^[1],其中较常见的康复问题是言语表达及吞咽功能障碍。20 世纪 80 年代说话瓣膜开始应用于临床,在呼气相时说话瓣膜阀门关闭,空气被引导至气切套管周围空隙,使气流通过声带、喉、口腔及鼻腔,帮助患者说话及建立声门下正压,同时说话瓣膜应用还能减少镇痛药

物剂量^[7]、改善患者吞咽功能^[8]、运动功能及抑制肺部感染等^[9-10],上述效应可直接或间接帮助患者缩短机械通气时间及 ICU 住院时间,提高患者生活质量。

佩戴说话瓣膜后,除了呼气相通路变窄外,当患者并存气道水肿、占位性病变、分泌物堆积或气切套管管径过大等情况时会进一步增加呼气阻力,使患者呼气做功增加,影响说话瓣膜佩戴时长。Li 等^[11]回顾了 262 例气管切开依赖患儿相关资料,其中 135 例使用了说话瓣膜,对于每天持续佩戴时长 >1 h 的患儿,其呼吸疾病相关住院次数显著降低。本研究结果显示发音时 TTP >11 cmH₂O 预测说话瓣膜佩戴时长 ≥ 30 min 的敏感度为 83.78%,特异性为 61.54%,而平静呼吸时 TTP 及用力呼气时 TTP 不具有预测价值,分析原因可能包括:2 组患者平静呼吸及用力呼气时 TTP 无明显差异,并且非耐受组患者佩戴说话瓣膜后亦可耐受一定时长,提示上气道通畅性不是主要影响因素;发音是气切患者的迫切生理需求,虽然非耐受组患者佩戴说话瓣膜时长相对较短,但仍表现出一定的满意度,这为采用发音时 TTP 预测说话瓣膜佩戴耐受性创造了有利条件。

当气切患者佩戴说话瓣膜后,由于其呼气阻力增加及发音动作均造成氧耗上升,这对患者呼吸调整能力及心肺耐力提出了更高要求。本研究将 2 组患者的 BMI、APACHE-Ⅱ 评分、气切套管管径、基线膈肌增厚分数、发音时 TTP 及身体功能评分等纳入线性回归模型分析,发现对说话瓣膜佩戴时长具有正性影响的因素为基线膈肌增厚分数及身体功能评分,负性影响因素为 APACHE-Ⅱ 评分;前者反映了患者呼吸功能及运动能力,后者则反映患者的病情严重程度。上述结果还可帮助解释为何非耐受组患者发音时 TTP 更低,即在排除上气道通畅性的影响作用后,由于评估中并没有标准化患者的发音强度,非耐受组患者较差的功能状态可导致其发音时努力程度不够。另外本研究结果显示发音时 TTP 对患者佩戴说话瓣膜耐受性具有一定预测价值,而与佩戴时长间无明显相关性($P=0.572$),其原因除了分析方法不同外,还可能与样本量不足以及佩戴时长总体偏短(≤ 1 h)有关。

表 3 佩戴说话瓣膜前、后 2 组患者膈肌增厚分数及腹部肌肉厚度比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	膈肌增厚分数(%)		腹直肌厚度(cm)		腹外斜肌厚度(cm)	
		佩戴瓣膜前	佩戴瓣膜后	佩戴瓣膜前	佩戴瓣膜后	佩戴瓣膜前	佩戴瓣膜后
耐受组	37	31.92±4.87	32.31±4.32	0.67±0.13	0.68±0.12 ^b	0.35±0.08	0.36±0.08 ^b
非耐受组	13	25.34±4.23 ^a	26.21±4.46 ^{ab}	0.61±0.07	0.62±0.08 ^b	0.31±0.07	0.33±0.08 ^b
组别	例数	腹内斜肌厚度(cm)		腹横肌厚度(cm)			
		佩戴瓣膜前	佩戴瓣膜后	佩戴瓣膜前	佩戴瓣膜后		
耐受组	37	0.48±0.11	0.49±0.10 ^b	0.23±0.07	0.24±0.07 ^b		
非耐受组	13	0.42±0.08	0.44±0.08 ^b	0.20±0.04	0.21±0.05 ^b		

注:与耐受组相同时间点比较,^a $P<0.05$;与组内佩戴说话瓣膜前比较,^b $P<0.05$

重症气切患者常由于呼吸机、代谢、脓毒症、药物、呼吸衰竭等一种或多种原因导致呼吸肌功能障碍^[12-13]。目前临床关注更多的是吸气肌^[14-15],而呼气肌异常也同样会引起肌肉质量及收缩功能下降,导致气道分泌物清除困难、肺泡通气能力减弱,与患者再插管、再住院及死亡率密切相关^[16]。虽然腹直肌、腹外斜肌、腹内斜肌及腹横肌在呼吸中发挥的作用和募集时序不同^[17],但均在患者佩戴说话瓣膜后其收缩幅度明显增加,可能与呼吸负荷、呼气末肺容积增加、吸呼能力不平衡等因素有关。

综上所述,发音时 TTP 可帮助预测气切患者佩戴说话瓣膜的耐受性,影响佩戴时长的正性因素包括基线膈肌增厚分数和身体功能评分,负性因素为 APACHE-II 评分。需要指出的是,本研究还存在诸多不足之处,首先是人群范围相对限制,相关结果对尚不能脱离呼吸机的患者需谨慎解释;其次本研究缺乏对患者肺通气状况、肺内气体分布及肺募集程度的评估;最后对于本研究发现的呼气肌募集改变尚不清楚其是否会产生正性或负性效应,还需进一步深入探讨。

参 考 文 献

- [1] O'Connor LR, Morris NR, Paratz J. Physiological and clinical outcomes associated with use of one-way speaking valves on tracheostomised patients: A systematic review [J]. *Heart Lung*, 2019, 48 (4): 356-364. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2018.11.006.
- [2] 段昱, 孙伟铭, 冯珍. 说话瓣膜在气管切开患者康复中的应用进展 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2020, 42 (10): 948-952. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.10.023.
- [3] Li J, Perez A, Schehl J, et al. The association between upper airway patency and speaking valve trial tolerance for patients with tracheostomy: a clinical retrospective study and an in vitro study [J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2021, 30 (4): 1728-1736. DOI: 10.1044/2021_AJSLP-20-00331.
- [4] Greene ZM, Davenport J, Fitzgerald S, et al. Tracheostomy speaking valve modification in children: a standardized approach leads to widespread use [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2019, 54 (4): 428-435. DOI: 10.1002/ppul.24209.
- [5] Hoffman M, Clerckx B, Janssen K, et al. Early mobilization in clinical practice: the reliability and feasibility of the 'Start To Move' protocol [J]. *Physiother Theory Pract*, 2020, 31: 1-11. DOI: 10.1080/09593985.2020.1805833.

- [6] Zhang Z, Wang G, Wu Y, et al. Chinesisation, adaptation and validation of the chel-sea critical care physical assessment tool in critically ill patients: a cross-sectional observational study [J]. *BMJ Open*, 2021, 11 (4): e045550. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-045550.
- [7] Sutt AL, Hay K, Kinneally T, et al. Sedatives, analgesics and antipsychotics in tra-cheostomised ICU patients-is less more? [J]. *Aust Crit Care*, 2020, 33 (5): 407-411. DOI: 10.1016/j.aucc.2018.12.004.
- [8] 韩晓晓, 张可, 杨清露, 等. Passy-Muir 说话瓣膜对脑损伤气管切开后患者吞咽功能的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2020, 42 (1): 24-28. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.01.006.
- [9] Ceron C, Otto D, Signorini AV, et al. The effect of speaking valves on ICU mobility of individuals with tracheostomy [J]. *Respir Care*, 2020, 65 (2): 144-149. DOI: 10.4187/respcare.06768.
- [10] 马明, 胡正永, 杨玺, 等. 佩戴说话瓣膜对重症患者气切套管拔管的影响 [J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36 (1): 69-73. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2021.01.012.
- [11] Li L, Wikner E, Behzadpour H, et al. Decrease in respiratory related hospitalizations in tracheostomy-dependent children who tolerate passy-muir valve use [J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2021, 130 (6): 623-628. DOI: 10.1177/0003489420966612.
- [12] Schreiber A, Bertoni M, Goligher EC. Avoiding respiratory and peripheral muscle injury during mechanical ventilation: diaphragm-protective ventilation and early mobilization [J]. *Crit Care Clin*, 2018, 34 (3): 357-381. DOI: 10.1016/j.ccc.2018.03.005.
- [13] Vanhorebeek I, Latronico N, Van den Berghe G. ICU-acquired weakness [J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46 (4): 637-653. DOI: 10.1007/s00134-020-05944-4.
- [14] Picard M, Jung B, Liang F, et al. Mitochondrial dysfunction and lipid accumulation in the human diaphragm during mechanical ventilation [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2012, 186 (11): 1140-1149. DOI: 10.1164/rccm.201206-0982OC.
- [15] Dres M, Goligher EC, Heunks LMA, et al. Critical illness-associated diaphragm weakness [J]. *Intensive Care Med*, 2017, 43 (10): 1441-1452. DOI: 10.1007/s00134-017-4928-4.
- [16] Shi ZH, Jonkman A, de Vries H, et al. Expiratory muscle dysfunction in critically ill patients: towards improved understanding [J]. *Intensive Care Med*, 2019, 45 (8): 1061-1071. DOI: 10.1007/s00134-019-05664-4.
- [17] Doorduyn J, Roesthuis LH, Jansen D, et al. Respiratory muscle effort during expiration in successful and failed weaning from mechanical ventilation [J]. *Anesthesiology*, 2018, 129 (3): 490-501. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002256.

(修回日期: 2021-12-27)

(本文编辑: 易 浩)