

· 临床研究 ·

高频胸壁振荡技术在高龄卧床患者中的应用效果及安全性

巩应军¹,汪志平²,王艳妮¹,陈阳¹,王晓明¹,宁晓暄^{1*}

(¹空军军医大学西京医院老年病科,西安 710032;²西安交通大学第一附属医院康复医学科,西安 710061)

【摘要】 目的 探讨高频胸壁振荡(HFCWO)技术在高龄卧床患者中的应用效果及安全性。**方法** 回顾性分析2019年10月至2020年10月空军军医大学西京医院老年病科收治的82例高龄卧床状态患者的临床资料,根据干预方式不同将患者分为高频胸壁振荡组(HFCWO组,39例)和胸部物理治疗组(CPT组,43例)。比较2组患者干预前后呼吸困难、咳嗽和咳痰评分(BCSS),24h痰液量,肺通气功能及肺部感染率的变化;观察患者初次HFCWO治疗前10min、治疗中和治疗结束后10min心率、收缩压、呼吸频率和脉搏血氧饱和度等变化。采用SPSS 23.0统计软件进行数据分析。根据数据类型,分别采用 t 检验、 χ^2 检验或秩和检验进行组间比较。**结果** HFCWO组共进行1118次HFCWO治疗,其中1003次(89.7%)能够被患者很好耐受,64次(5.7%)不能耐受。患者初次HFCWO治疗前10min、治疗中和治疗结束后10min的心率、收缩压、呼吸频率和脉搏血氧饱和度比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。治疗后,HFCWO组患者的BCSS评分显著低于CPT组[3.0(2.0,3.0)和4.0(3.0,5.0)分, $P<0.001$];第5、7天痰液量显著少于CPT组[(28.9 $\pm$ 3.9)和(33.2 $\pm$ 3.3)ml,(19.9 $\pm$ 3.4)和(27.2 $\pm$ 3.3)ml; $P<0.001$];肺通气功能显著优于CPT组[用力肺活量(FVC):(2.150 $\pm$ 0.134)和(2.067 $\pm$ 0.185)L, $P=0.021$;第一秒用力呼气容积(FEV1):(1.404 $\pm$ 0.063)和(1.348 $\pm$ 0.105)L, $P=0.004$],差异均有统计学意义($P<0.05$)。治疗后2组患者肺部感染率比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 在高龄卧床患者中应用HFCWO技术可显著改善呼吸困难和咳嗽、咳痰症状,促进支气管分泌物排出和提高肺通气功能,并在一定程度上减少肺部感染,且应用安全,耐受性较好。

【关键词】 老年人;80岁以上;高频胸壁振荡;卧床;胸部物理治疗

【中图分类号】 R563;R454.9 **【文献标志码】** A **【DOI】** 10.11915/j.issn.1671-5403.2022.02.026

Effects and safety of high-frequency chest wall oscillation for elderly bedridden patients

GONG Ying-Jun¹, WANG Zhi-Ping², WANG Yan-Ni¹, CHEN Yang¹, WANG Xiao-Ming¹, NING Xiao-Xuan^{1*}

(¹Department of Geriatrics, Xijing Hospital, Air Force Medical University, Xi'an 710032, China; ²Department of Rehabilitation Medicine, First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China)

【Abstract】 Objective To investigate the clinical effects and safety of high-frequency chest wall oscillation (HFCWO) in the elderly bedridden patients. **Methods** A retrospective analysis was conducted of 82 elderly bedridden patients admitted to Xijing Hospital of Air Force Medical University from October 2019 to October 2020. According to intervention, the patients were divided into HFCWO group ($n=39$) and CPT group ($n=43$). Comparisons were made between the pre- and post-intervention breathlessness, cough and sputum scale (BCSS), 24h sputum volume, pulmonary ventilation function and incidence of pulmonary infection (PI). The two groups were observed in heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP), respiratory rate (RR) and pulse oxygen saturation (SPO₂) 10 min before, during, and 10 min after the initial HFCWO treatment. SPSS statistics 23.0 was used for data analysis. Depending on data type, t -test, χ^2 test, rank-sum test were performed for comparison between the two groups. **Results** The HFCWO group received 1118 times of HFCWO treatment, of which 1003 (89.7%) times were well tolerated and 64 (5.7%) times were not. There were no significant differences in HR, SBP, RR and SPO₂ 10 min before, during, 10 min after the HFCWO treatment ($P>0.05$ for all). After treatment, BCSS of the HFCWO group were significantly lower than those of the CPT group [3.0 (2.0, 3.0) vs 4.0 (3.0, 5.0), $P<0.001$]. The sputum volume also decreased significantly on the fifth and seventh day [(28.9 $\pm$ 3.9) vs (33.2 $\pm$ 3.3)ml, (19.9 $\pm$ 3.4) vs (27.2 $\pm$ 3.3)ml; $P<0.001$]. Compared with the CPT group, pulmonary ventilation function in HFCWO group was significantly improved with forced vital capacity (FVC) [(2.150 $\pm$ 0.134) vs (2.067 $\pm$ 0.185) L, $P=0.021$] and forced expiratory volume in 1 second (FEV1) [(1.404 $\pm$ 0.063) vs (1.348 $\pm$ 0.105) L, $P=0.004$]. There was no significant difference in the PI rate between the two groups ($P>0.05$). **Conclusion** HFCWO is safe and well tolerated in elderly bedridden patients, and it can significantly improve dyspnea, cough and

收稿日期: 2021-05-14; 接受日期: 2021-07-12

通信作者: 宁晓暄, E-mail: 1521189958@qq.com

sputum, promote the discharge of bronchial secretions and improve the pulmonary ventilation, and to a certain extent, reduce the pulmonary infection.

【Key words】 aged; 80 years old and over; high-frequency chest wall oscillation; bedridden; chest physiotherapy

Corresponding author: NING Xiao-Xuan, E-mail: 1521189958@qq.com

卧床是指室内生活需要辅助,以床上生活为主,或是在床上度过一天,进食、大小便、体位转换等需要辅助的状态。我国人口老龄化的趋势逐年加重,老年人长期卧床已逐渐成为突出的社会问题。老年人住院期间>80%的时间是躺在床上度过的^[1]。虽高龄老年人不及老年人的10.0%,但占卧床患者的46.3%,使卧床不起发生的危险性增加5.65倍^[2]。卧床除导致老年人日常活动能力降低、身体功能减退和情感障碍外,还会导致肺功能减退、气道廓清能力下降,进而增加肺部感染风险^[3]。近年来,随着老年康复的发展,胸部物理治疗(chest physiotherapy, CPT)越来越受到老年医疗人员的重视,其中高频胸壁振荡(high-frequency chest wall oscillation, HFCWO)是一种较新的气道廓清技术,目前已被应用于婴、幼儿肺部疾病^[4]、慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)^[5]和囊性纤维化(cystic fibrosis, CF)^[6]。本研究旨在探讨HFCWO技术在高龄卧床患者中的应用效果和安全性,以期为临床应用提供指导和参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象

回顾性分析2019年10月至2020年10月于空军军医大学西京医院老年病科住院的高龄卧床状态患者的临床资料。纳入标准:(1)年龄≥80岁,卧床时间≥2周;(2)支气管分泌物增多(每天>20 ml);(3)能够进行交流和配合治疗[标准化5问题问卷(standardized five questions, S5Q)测试≥2分];(4)患者无床头抬高医学禁忌证。排除标准:(1)严重心律失常;(2)气管切开后或机械通气;(3)患有肺癌、气胸、血流动力学不稳定等。

共有82例符合标准的患者纳入本研究,年龄80~101(88.7±5.1)岁,其中男性53例,女性29例,院内死亡4例。根据干预方式不同将患者分为高频胸壁振荡组(HFCWO组,39例)和胸部物理治疗组(CPT组,43例)。本研究符合医学伦理学标准,经医院伦理委员会批准。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 查阅病例,收集患者性别、年龄、既往病史、喂养方式和慢病共存等一般资料,入院时及住院期间的病情变化;记录患者的临床治疗和病变特点,包括抗菌药物的使用、每日咳痰量、肺部感

染、胸腔积液和住院时间等情况;分析患者入院时及住院期间的老年综合评估记录,包括Likert量表评分, S5Q测试,呼吸困难、咳嗽和咳痰评分(breathlessness, cough and sputum scale, BCSS),肺通气功能测试等。

1.2.2 干预方式 2组患者均给予止咳、化痰、营养支持等治疗,并根据痰培养药敏试验结果给予相应抗生素和经验性抗感染治疗。CPT组主要采用传统肺康复(conventional pulmonary rehabilitation, CPR)方法,包括叩击法、体位引流、咳嗽训练和呼吸训练等。HFCWO组在CPT组基础上使用高频振荡仪(Huana550,无锡华纳医疗器械公司)进行HFCWO治疗,治疗前1~2 h和治疗后30 min禁止饮食。设置参数为频率8~12 Hz,气压强度1.5~3.0 kPa,每次治疗15 min,每天2次(上、下午各一次),疗程为2周。所有治疗均在床旁进行。

1.2.3 安全性评估 采用Likert量表对HFCWO组患者每次治疗后的舒适性进行评估(0=无法耐受,1=不好耐受,2=不确定,3=可以耐受,4=舒适),并观察患者第1次HFCWO治疗前10 min、治疗中和治疗后10 min呼吸和循环指标的变化(心率、收缩压、呼吸频率和脉搏血氧饱和度)。

1.2.4 疗效评估 比较2组患者治疗前后呼吸困难、咳嗽和咳痰情况,每日咳痰液量,抗菌药物使用情况,住院时间,肺部感染和胸腔积液的发生率等。

1.3 统计学处理

采用SPSS 23.0统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本 t 检验;非正态分布的计量资料用中位数和四分位数间距[$M(Q_1, Q_3)$]表示,采用秩和检验。计数资料以例数(百分率)表示,组间比较采用 χ^2 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2组患者一般资料比较

CPT组43例患者,年龄(87.7±5.2)岁,死亡1例;HFCWO组39例患者,年龄(89.7±4.9)岁,死亡3例。2组患者治疗前各项临床资料包括年龄、性别、体质量指数、喂养方式、24 h咳痰量、抗菌药物使用情况、基础疾病、住院时间、肺部感染、胸腔积液、BCSS评分和肺通气功能等方面比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$;表1)。

表 1 2 组患者一般资料比较
Table 1 Comparison of baseline data between two groups

Item	Total (n=82)	CPT group(n=43)	HFCWO group(n=39)	P value
Age(years, $\bar{x}\pm s$)	88.7 $\pm$ 5.1	87.7 $\pm$ 5.2	89.7 $\pm$ 4.9	0.085
Gender(male/female, n)	53/29	24/19	29/10	0.079
BMI(kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)	22.8 $\pm$ 1.3	22.6 $\pm$ 1.1	23.0 $\pm$ 1.5	0.208
Nasal feeding[n(%)]	23(28.0)	9(20.9)	14(35.9)	0.132
24h sputum volume (ml, $\bar{x}\pm s$)	40.9 $\pm$ 4.8	40.5 $\pm$ 4.3	41.3 $\pm$ 5.3	0.440
Antibacterial drug use[n(%)]	27(32.9)	14(32.6)	13(33.3)	0.941
Underlying disease[n(%)]				
CHD	35(42.7)	18(41.9)	17(43.6)	0.874
Hypertension	20(24.4)	11(25.6)	9(23.1)	0.792
CVA	29(35.4)	16(37.2)	13(33.3)	0.714
COPD	27(32.9)	13(30.2)	14(35.9)	0.586
Chronic bronchitis	12(14.6)	7(16.3)	5(12.8)	0.658
After fracture operation	11(13.4)	6(14.0)	5(12.8)	0.880
LOS(d, $\bar{x}\pm s$)	19.9 $\pm$ 5.0	19.5 $\pm$ 5.2	20.5 $\pm$ 4.6	0.367
PI[n(%)]	25(30.5)	14(32.6)	11(28.2)	0.669
Hydrothorax[n(%)]	10(12.2)	5(11.6)	5(12.8)	0.869
BCSS [points, M(Q ₁ ,Q ₃)]	6.0(6.0, 7.0)	6.0(5.0, 7.0)	7.0(6.0, 8.0)	0.104
FVC(L, $\bar{x}\pm s$)	2.023 $\pm$ 0.174	2.053 $\pm$ 0.188	1.990 $\pm$ 0.152	0.100
FEV1(L, $\bar{x}\pm s$)	1.313 $\pm$ 0.097	1.328 $\pm$ 0.107	1.296 $\pm$ 0.084	0.141

CPT: chest physiotherapy; HFCWO:high-frequency chest wall oscillation; BMI: body mass index;CHD: coronary heart disease; CVA: cerebrovascular accident; COPD: chronic obstructive pulmonary disease; LOS: length of stay; PI: pulmonary infection; BCSS: breathlessness cough and sputum scale; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in 1 second.

2.2 HFCWO 组患者耐受程度和安全性分析

HFCWO 组 39 例患者共进行 1 118 次 HFCWO 治疗,其中 1 003 次(89.7%)能够被患者很好耐受,64 次(5.7%)不能耐受,出现不同程度的心慌、胸闷、气喘和头晕等情况,未发生与 HFCWO 相关的不良事件。患者初次 HFCWO 治疗前 10 min、治疗中和治疗结束后 10 min 的心率、收缩压、呼吸频率和脉搏血氧饱和度比较,差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。

2.3 2 组患者每日痰液量比较

2 组患者每日痰液排出量比较,治疗前差异无统计学意义($P>0.05$);治疗后第 1 天[(43.5 $\pm$ 5.4)和(41.9 $\pm$ 4.0)ml]、第 3 天[(37.6 $\pm$ 4.9)和(38.0 $\pm$ 4.0)ml]比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后第 5 天[(28.9 $\pm$ 3.9)和(33.2 $\pm$ 3.3)ml]、第 7 天[(19.9 $\pm$ 3.4)和(27.2 $\pm$ 3.3)ml]比较,HFCWO 组明显少于 CPT 组,差异有统计学意义($P<0.001$)。详见图 1。

2.4 2 组患者治疗前后 BCSS 评分和 PI 发生率比较

治疗前 2 组患者 BCSS 评分、肺部感染率比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗 2 周后 2 组患者 BCSS 评分均显著降低($P<0.01$),且 HFCWO 组患者 BCSS 评分显著低于 CPT 组($P<0.001$);但

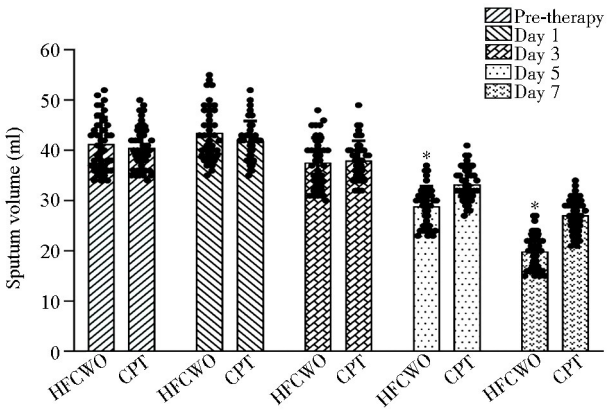


图 1 2 组患者痰液量比较

Figure 1 Comparison of sputum volume between two groups
Compared with CPT group, * $P<0.001$.

肺部感染率比较,差异无统计学意义($P>0.05$;表 2)。

2.5 2 组患者治疗前后 FVC 和 FEV1 比较

与治疗前相比,2 组患者治疗后 FVC 和 FEV1 均明显增高(均 $P<0.01$),且 HFCWO 组患者 FVC 和 FEV1 显著高于 CPT 组[(2.150 $\pm$ 0.134)和(2.067 $\pm$ 0.185);(1.404 $\pm$ 0.063)和(1.348 $\pm$ 0.105)L],差异均有统计学意义($P<0.05$;表 3)。

表 2 2 组患者治疗前后 BCSS 评分和 PI 发生率比较

Table 2 Comparison of BCSS scores and PI incidence between two groups before and after treatment

Group	n	BCSS[points, $M(Q_1, Q_3)$]		PI[$n(\%)$]	
		Before treatment	After treatment	Before treatment	After treatment
CPT	43	6.0(5.0, 7.0)	4.0(3.0, 5.0) *	14(32.6)	9(20.9)
HFCWO	39	7.0(6.0, 8.0)	3.0(2.0, 3.0) * #	12(30.7)	5(12.8)
Z/χ^2		-1.626	-3.530	0.183	0.950
P value		0.104	<0.001	0.669	0.330

BCSS; breathlessness, cough and sputum scale; PI: pulmonary infection. Compared with before treatment, * $P<0.01$; compared with CPT group, # $P<0.001$.

表 3 2 组患者治疗前后 FVC 和 FEV1 比较

Table 3 Comparison of FVC and FEV1 before and after treatment between two groups (L, $\bar{x}\pm s$)

Group	n	FVC		FEV1	
		Before treatment	After treatment	Before treatment	After treatment
CPT	43	2.053±0.188	2.067±0.185 *	1.328±0.107	1.348±0.105 *
HFCWO	39	1.990±0.152	2.150±0.134 * #	1.296±0.084	1.404±0.063 * #
t		-1.166	2.365	-1.486	2.974
P value		0.100	0.021	0.141	0.004

FVC; forced vital capacity; FEV1; forced expiratory volume in 1 second. Compared with before treatment, * $P<0.01$; compared with CPT group, # $P<0.05$.

3 讨 论

高龄老年患者由于组织器官功能减退、免疫力低下等因素,气道分泌物增多,容易发生肺部感染,然而长期卧床状态导致纤毛功能低下和呼吸肌力下降使分泌物的清除十分困难,进一步增加了肺部感染的风险和肺功能降低程度^[3,7]。高龄卧床患者肺部感染后不仅延长住院时间,还会增加临床治疗费用及院内死亡率^[8],因此如何有效清除气道分泌物是高龄卧床患者预防和改善肺功能的重要问题。目前临床上除雾化吸入、黏液溶解药物以外,CPR 的应用较为广泛。本研究结果显示,CPR 可促进高龄卧床患者气道分泌物的排出,并可改善肺通气功能($P<0.01$)。但 CPR 的治疗效果受人为因素影响较大,而且在治疗过程中会引起部分患者不适,不能耐受。

HFCWO 是近年来出现的一种胸部物理治疗的新技术,其作用原理是将气体以一定频率和幅度快速交替注入背心或撤回而产生振动运动,产生类似咳嗽的剪切力,从而改变黏液流变性,使分泌物得到松解^[6]。有研究显示,11~15 Hz 的 HFCWO 可引起迷走神经反射刺激,增加纤毛的运动^[9],从而提高气道廓清能力。Gokdemir 等^[10]研究发现,CPR 主要影响大气道,而 HFCWO 对肺外周的作用比在中央气道的作用更强,特别是振荡

频率为 13 Hz 时增强了周围黏液的清除作用。Powner 等^[11]研究表明,HFCWO 有助于减少支气管扩张患者肺功能下降和口服抗生素的需要,并减少住院率;也有研究显示,HFCWO 可降低神经肌肉疾病患者的医疗费用,并支持进行常规性干预^[12]。但与肺内叩击通气(intrapulmonary percussive ventilation,IPV)比较,在某些疾病患者中的气道廓清效果仍存在争议。如 Bidiwala 等^[13]研究显示,儿童气管切开后患者的气道廓清效果,IPV 优于 HFCWO;在另一项随机试验中,研究者发现 IPV 和 HFCWO 对重度 COPD 患者均有效,但 IPV 在改善肺通气功能和健康状态等方面更为显著^[5]。因此,临床上选择 HFCWO 还是传统 CPT 治疗应遵循个体化原则,根据实际使用效果及时调整治疗方案。

目前,临床上尚无 HFCWO 在高龄卧床状态患者中应用方面的报道。本研究对 39 例≥80 岁的高龄卧床患者使用 Huana550 高频振动仪进行 HFCWO 治疗,同时行 CPR 治疗,结果 1 118 次 HFCWO 治疗中,89.7%的治疗能够被患者很好耐受,并在治疗过程中发现患者腹式呼吸比胸式呼吸模式更为舒适。也有研究表明,与 CPR 相比,HFCWO 治疗患者感受也更为舒适^[10]。在安全性方面,未发生与 HFCWO 相关的不良事件,并且患者初次 HFCWO 治疗前、治疗中和治疗结束后的各项呼吸、循环指标均

无显著变化(均 $P>0.05$)。因此,HFCWO在高龄卧床患者中的应用安全且易耐受。

本研究还发现在 CPR 的基础上应用 HFCWO 治疗,可以显著降低 BCSS 评分和提高气道廓清能力,尤其是治疗第 5、7 天气道廓清效果更为显著,同时 HFCWO 技术能显著改善高龄卧床患者的 FVC 和 FEV1($P<0.01$)。Longhini 等^[9] 研究结果显示,HFCWO 可显著改善高分泌机械通气患者的肺通气功能,与本研究结果基本一致。此外,本研究结果显示,与 CPR 相比,HFCWO 治疗在高龄卧床患者的胸腔积液发生率、住院时间、肺部感染率等方面差异均无统计学意义($P>0.05$)。

综上所述,在传统胸部物理治疗基础上增加 HFCWO 治疗,可显著改善高龄卧床患者的气道廓清能力和肺通气功能,并且 HFCWO 技术安全可耐受,可作为高龄卧床患者胸部物理治疗的一个有效措施。

【参考文献】

[1] Pedersen MM, Bodilsen AC, Petersen J, *et al.* Twenty-four-hour mobility during acute hospitalization in older medical patients[J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2013, 68(3): 331–337. DOI: 10.1093/gerona/gls165.

[2] 郑洁皎.老年康复学[M].北京:人民卫生出版社,2018;202. Zheng JJ. Geriatric Rehabilitation[M]. Beijing: People's Medical Publishing House,2018;202.

[3] Brogan E, Langdon C, Brookes K, *et al.* Dysphagia and factors associated with respiratory infections in the first week post stroke[J]. Neuroepidemiology, 2014, 43(2): 140–144. DOI: 10.1159/000366423.

[4] González-Bellido V, Velaz-Baza V, Blanco-Moncada E, *et al.* Immediate effects and safety of high-frequency chest wall compression compared to airway clearance techniques in non-hospitalized infants with acute viral bronchiolitis[J]. Respir Care, 2021, 66(3): 425–433. DOI: 10.4187/respcare.08177.

[5] Nicolini A, Grecchi B, Ferrari-Bravo M, *et al.* Safety and effectiveness of the high-frequency chest wall oscillation *vs* intrapulmonary percussive ventilation in patients with severe COPD[J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2018, 13: 617–625. DOI: 10.2147/COPD.S145440.

[6] Kempainen RR, Williams CB, Hazelwood A, *et al.* Comparison of

high-frequency chest wall oscillation with differing waveforms for airway clearance in cystic fibrosis[J]. Chest, 2007, 132(4): 1227–1232. DOI: 10.1378/chest.07-1078.

[7] 曹桂花,葛伟,薛明涛.高龄肺部感染患者多重耐药菌的分布及临床特点[J].中华老年多器官疾病杂志,2018,17(10): 753–756. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2018.10.173.

Cao GH, Ge W, Xue MT. Distribution and clinical characteristics of multidrug-resistant bacteria in the elderly patients with pulmonary infection[J]. Chin J Mult Organ Dis Elderly, 2018, 17(10): 753–756. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2018.10.173.

[8] 任晓晓,卢少萍,李绣球,等.老年卧床患者从医院到家庭的无缝隙康复管理应用效果评价[J].中国康复医学杂志,2016,31(6): 683–685. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2016.06.015.

Ren XX, Lu SP, Li XQ, *et al.* Evaluation of the effect of seamless rehabilitation management for elderly bedridden patients from hospital to home[J]. Chin J Rehabil Med, 2016, 31(6): 683–685. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2016.06.015.

[9] Longhini F, Bruni A, Garofalo E, *et al.* Chest physiotherapy improves lung aeration in hypersecretive critically ill patients: a pilot randomized physiological study[J]. Crit Care,2020, 24(1): 479. DOI: 10.1186/s13054-020-03198-6.

[10] Gokdemir Y, Karadag-Saygi E, Erdem E, *et al.* Comparison of conventional pulmonary rehabilitation and high-frequency chest wall oscillation in primary ciliary dyskinesia[J]. Pediatr Pulmonol, 2014, 49(6): 611–616. DOI: 10.1002/ppul.22861.

[11] Powney J, Nesmith A, Kirkpatrick DP, *et al.* Employment of an algorithm of care including chest physiotherapy results in reduced hospitalizations and stability of lung function in bronchiectasis[J]. BMC Pulm Med, 2019, 19(1): 82. DOI: 10.1186/s12890-019-0844-4.

[12] Lechtzin N, Wolfe LF, Frick KD. The impact of high-frequency chest wall oscillation on healthcare use in patients with neuromuscular diseases[J]. Ann Am Thorac Soc, 2016,13(6): 904–909. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201509-597OC.

[13] Bidiwala A, Volpe L, Halaby C, *et al.* A comparison of high frequency chest wall oscillation and intrapulmonary percussive ventilation for airway clearance in pediatric patients with tracheostomy[J]. Postgrad Med, 2017, 129(2): 276–282. DOI: 10.1080/00325481.2017.1264854.

(编辑:郑真真)