

系统性呼吸训练对颈髓损伤患者膈肌运动及肺功能的影响

霍飞翔,李响,张洪蕊,杨帅

【摘要】 目的:探讨系统性呼吸训练对颈髓损伤患者膈肌运动及肺功能的影响。**方法:**将60例颈髓损伤患者随机分为观察组和对照组,每组各30例。对照组给予常规的康复训练和健康宣教,观察组在常规康复的基础上增加系统性呼吸训练,观察周期为6周,对比2组患者的肺功能指标、膈肌运动幅度及呼吸困难程度。**结果:**治疗6周后,2组患者的用力肺活量(FVC)、第一秒用力呼气容积(FEV1)、峰值呼气流速(PEF)、每分钟最大通气量(MVV)及膈肌运动幅度均较治疗前有明显提高($P<0.01$);且观察组的FVC、FEV1、PEF、MVV值及膈肌运动幅度均显著优于对照组($P<0.05$)。2组患者的Brog呼吸困难评分从第3周均较第1周明显降低($P<0.05$),且从第4周开始,观察组较对照组降低更明显($P<0.05$)。**结论:**系统性呼吸训练联合常规康复训练可以有效改善颈髓损伤患者的膈肌运动及肺功能,在临床工作中应重视呼吸功能训练。

【关键词】 颈髓损伤;呼吸训练;膈肌;肺功能

【中图分类号】 R49;R651 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2022.08.007

Effects of systemic respiratory training on diaphragm movement and pulmonary function in patients with cervical spinal cord injury Huo Feixiang, Li Xiang, Zhang Hongrui, et al. Department of Rehabilitation Medicine, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining 272000, China

【Abstract】 Objective: To investigate the effect of systemic respiratory training on diaphragm movement and pulmonary function in patients with cervical spinal cord injury (SCI). **Methods:** A total of 60 patients with cervical SCI were randomly divided into experimental group ($n=30$) and control group ($n=30$). The control group was given routine rehabilitation training and health education (40 min each time, once a day, 5 times a week for 6 weeks), while the experimental group was given systemic respiratory training (40 min each time, once a day, 5 times a week for 6 weeks) on the basis of routine rehabilitation training. The observation period was 6 weeks. Independent sample t -test was used to compare the indexes of pulmonary function, diaphragm motion amplitude and degree of dyspnea between the two groups. **Results:** Before treatment, there was no significant difference in all evaluation indexes between the two groups, but after 6 weeks of treatment, the forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in the first second (FEV1), peak expiratory flow (PEF), maximum ventilation per minute (MVV) and diaphragm movement amplitude were significantly improved in the two groups ($P<0.01$). The FVC, FEV1, PEF, MVV and diaphragm motion amplitude in the experimental group were significantly improved as compared with those in the control group. The Brog dyspnea score of the two groups decreased significantly from the 3rd week to the 1st week, and from the 4th week, the decrease in the experimental group was more significant than that in the control group ($P<0.05$). **Conclusion:** Regular and scientific respiratory training combined with routine rehabilitation training can effectively improve diaphragm movement and pulmonary function in patients with cervical SCI. Respiratory function training should be paid attention to in clinical work.

【Key words】 cervical spinal cord injury; respiratory training; diaphragm; pulmonary function

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是一种严重的中枢神经系统疾病,通常会导致损伤平面以下运动、感觉和自主神经功能障碍^[1]。我国SCI发病率较高,每年新增6万例左右,对社会及家庭造成极大经济负担^[2]。在国内呈增长趋势的SCI发病率中,其中有

40%~60%的SCI发生在颈段,且颈髓损伤患者损伤平面越高,损伤程度越重,呼吸功能损害越严重^[3]。颈髓损伤(cervical spinal cord injury, CSCI)后常合并多种并发症,如尿路感染、压力性溃疡、深静脉血栓、坠积性肺炎、抑郁等,其中呼吸系统并发症的发生率为36%~67%,是CSCI患者死亡的首要原因^[4],并且会显著延长住院时间。呼吸系统并发症的范围很广,包括急性肺损伤、急性呼吸窘迫综合征、呼吸衰竭、肺栓塞、胸腔积液、肺炎等,其中肺炎是最致命的^[5]。

收稿日期:2021-10-17

作者单位:济宁医学院附属医院康复医学科,山东 济宁 272000

作者简介:霍飞翔(1994-),技师,主要从事呼吸康复和重症心肺康复方面的研究。

通讯作者:李响,791084963@qq.com

肺功能受损的潜在机制包括膈肌和肋间肌的神经支配减少或缺失,可削弱呼气与吸气能力;交感神经张力的丧失导致支气管收缩,腺体分泌增加;腹部肌肉无力或麻痹,阻止有效的咳嗽并削弱清除分泌物的能力^[6]。

目前在 CSCI 后呼吸功能障碍的预防与治疗中,仍多使用传统的物理治疗方法进行肺部护理,如翻身拍背、体位引流等,而本研究将系统化、规范化的呼吸训练应用于患者,让患者主动参与到训练过程中,拟观察其对 CSCI 患者的膈肌运动及肺功能疗效,为 CSCI 患者提供更加安全、有效的治疗方案。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取济宁医学院附属医院康复医学科 2019 年 12 月~2020 年 12 月期间的 CSCI 患者 62 例,其中有 2 例患者因拒绝实验和数据丢失而退出实验,故本研究共纳入临床研究对象 60 例。纳入标准包括:依据通用的美国脊髓损伤协会(American Spinal Cord Injury Association, ASIA)标准对 SCI 患者进行 ASIA 残损分级;损伤平面在 C4~C8;生命体征相对平稳,可配合治疗;无呼吸道感染性疾病;既往无慢阻肺、哮喘、肺气肿等呼吸系统疾病病史;签署知情同意书。排除标准包括:病情不稳定;认知障碍,不能配合治疗;气管切开未封管;肋骨骨折未愈合;严重的脏器损伤。将 60 例患者采用随机数字表法分为观察组和对照组,每组 30 例,2 组患者的一般资料组间比较差异无统计学意义。见表 1。

1.2 方法 ①对照组采用常规的康复治疗,首先采用 SOAP 量表对患者的功能情况进行评估,再根据患者的功能情况选择针对性地训练方案,主要包括:物理因子治疗、关节活动度训练、肌力训练、躯干核心及平衡功能训练、作业疗法等,并给予患者肺部护理的健康宣教(如翻身叩背、体位引流等),40min/次,1 次/d,每周 5 次,持续 6 周。②观察组在常规康复的基础上增加系统性呼吸训练,具体训练内容如下:a. 腹式呼吸训练,患者取卧位或端坐位(戴颈托),嘱患者双手平放于上腹部,指导患者经鼻吸气,吸气时腹部缓慢鼓起,屏气 2~3s,然后嘴缩成口哨状,将气体缓慢匀速地呼出,吸气与呼气的比为 1:2 或 1:3;b. 缩唇呼吸,体位同腹式呼吸,嘱患者经鼻吸气,将嘴缩成口哨状,将气

体缓慢、匀速的呼出;c. 腹部肌肉低频电刺激配合咳嗽训练,患者取端坐位(戴颈托),准备 2 个柔韧性好、可重复使用的多棒凝胶电极,将电极放置在双侧的胸腹壁上,在最合适腹部肌肉刺激的后外侧位置,嘱患者放松呼吸,然后依照深吸气扩张胸廓-屏气 2~3s-关闭声门-腹部肌群发力-用力咳嗽的顺序,当患者尝试在关闭声门后准备腹肌发力咳嗽时,对双侧的强直腹部肌肉施加 50Hz 的刺激,持续 1s,完成有效咳嗽;d. 渐进性呼吸肌抗阻训练,首先,选用 X1 型号便携式肺功能检测仪测出患者最大口腔吸气压(maximum inspiratory pressure, MIP)、最大口腔呼气压(maximum expiratory pressure, MEP),选择 MIP 和 MEP 的 30% 设为初始阻力,训练强度每周逐渐增加 5%~10% 的 MIP 和 MEP;e. 体外膈肌起搏器(DiaHealth-J 型)治疗,2 个治疗电极分别放置于两侧胸锁乳突肌外缘下 1/3 处,2 个辅助电极分别放置在两侧锁骨中线与第 2 肋相交处,治疗参数:起搏频率与呼吸频率一致,脉冲频率 40 Hz,刺激强度为 12~20 单位,根据患者耐受程度,适当增加刺激强度;f. 主动呼吸循环技术(active cycle of breathing technique, ACBT),主要包括呼吸控制、胸廓扩张、用力呼气三部分,呼吸控制,嘱患者放松上胸部和肩部,按自身的速度与深度进行潮式呼吸,尽量使用下胸部和膈肌来完成呼吸,同时可避免因颈部手术后,颈部肌肉用力而引起刀口疼痛;胸廓扩张运动,嘱患者进行呼吸控制后,进行深吸气动作,促进胸廓大幅度扩张,在深吸气末 2~3s,最后放松呼气。用力呼气技术:进行不同程度的呵气,先进行中至低肺容积的呵气,再进行高至低肺容积的呵气。三者根据患者自身情况随机组合,可多次灵活运用;g. 舌咽呼吸技术(glossopharyngeal pistoning, GI),主要应用于 CSCI 后呼吸肌无力或肺活量减少的患者,主要目的是在呼吸肌无力时,可以保持足够的通气量。通过使用舌咽肌将气体注入肺部来进行协助通气,可以增加患者的肺活量,促进有效咳嗽,同时可以维持肺顺应性,预防肺不张。以上训练策略根据患者病情制定个体化的训练方案,突出训练的侧重点,损伤部位在 C4~C5 的患者,膈肌功能较弱,伴有不同程度的呼吸费力,功能障碍较重,因此重点训练第 a、b、e、g 等 4 种方案,损伤部位在 C6~C8 的患者,膈肌功能相对保留,自主呼吸

表 1 2 组患者一般资料比较

组别	n	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	损伤类型(例)		损伤平面(例)	
		男	女			完全性	不完全性	C4~C5	C6~C8
观察组	30	17	13	45.66 $\pm$ 13.09	43.70 $\pm$ 13.98	14	16	15	15
对照组	30	18	12	46.36 $\pm$ 12.36	45.67 $\pm$ 14.32	13	17	16	14

尚可,但肋间肌及辅助呼吸肌不同程度的失神经支配,呼吸肌肉肌力及耐力明显下降,且咳嗽能力较差,重点训练第 a、c、d、f 等 4 种方案,训练时间 40min/次,1 次/d,每周 5 次,持续 6 周。

1.3 评定标准 分别在训练前和训练 6 周后对患者的肺功能、膈肌运动进行评估,每周治疗结束后采用改良 Borg 呼吸困难评分量表对患者呼吸困难程度进行评估。①肺功能检测^[7]:采用便携式肺功能检测仪进行肺功能检测,测定患者用力肺活量(Forced Vital Capacity, FVC)、第一秒用力呼气量(Forced Expiratory Volume in one second, FEV1)、峰值呼气流速(Peak Expiratory Flow Rate, PEF)、最大自主通气量(Maximal Voluntary Ventilation, MVV)指标并做记录。②膈肌运动幅度:应用 Apogee 5500 全数字彩色多普勒超声诊断系统,采用凸阵探头(频率为 3.5~5.0MHz),调整探头方向置于右腋前线与肋缘处,在 2D 模式下观察膈肌位置(超声切面可见胆囊、下腔静脉和强回声膈肌弧形影),然后选择 M 模式,将采集线垂直于膈肌,分别嘱患者完成平静呼吸和深呼吸,实时记录膈肌运动并测量膈肌运动幅度。见图 1。③Borg 呼吸困难评分量表^[8]:该表由瑞典学者 Borg 提出,可用来准确的反映个人主观感觉呼吸困难的程度。该量表由 0~10 级构成,患者自测级别越高,呼吸困难程度越重。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 23.0 软件对所有数据进行分析,将符合正态分布的计量资料采用 *t* 检验,用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验,组内比较采用配对 *t* 检验。计数资料采用 χ^2 检验,2 组之间不同时间点的比较采用重复测量方差分析,以 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组患者肺功能比较 治疗 6 周后,2 组患者的



图 1 膈肌运动幅度测量

FVC、FEV1、PEF 及 MVV 等肺功能评分均较治疗前有明显提高(均 $P < 0.05$),且观察组以上各项指标均高于对照组(均 $P < 0.05$)。见表 2。

2.2 2 组患者运动幅度比较 治疗 6 周后,2 组的膈肌运动幅度均较治疗前明显提高($P < 0.05$),且观察组较对照组提升更显著($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 2 组患者治疗前后膈肌运动幅度比较 cm, $\bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
对照组	30	2.04±0.33	3.22±0.53	-19.302	<0.001
观察组	30	2.00±0.36	3.72±0.39	-10.462	<0.001
<i>t</i>		-0.738	4.161		
<i>P</i>		0.738	<0.001		

2.3 2 组患者 Borg 评分比较 在治疗 3~6 周时,2 组患者的 Borg 评分均较 1 周时降低($P < 0.05$);组间比较结果显示,治疗 1~3 周时,2 组的 Borg 评分比较差异无统计学意义;治疗 4~6 周时,观察组的 Borg 评分与对照组相比明显降低($P < 0.05$)。研究干预与时间之间存在交互效应,随着干预时间的延长,2 组 Brog 评分的下降幅度不同,观察组 Brog 评分下降幅度较大,干预 6 周时达到最低。见表 4。

表 2 2 组患者治疗前后肺功能评分比较 $\bar{x} \pm s$

组别	FVC(L)				FEV1(L)			
	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
对照组	2.45±0.74	3.38±0.85	-8.080	<0.001	2.87±0.54	3.78±0.55	-9.42	<0.001
观察组	2.48±0.75	3.67±0.81	-13.618	<0.001	2.83±0.64	4.21±0.80	-12.880	<0.001
<i>t</i>	0.367	2.350			-0.248	2.377		
<i>P</i>	0.715	0.022			0.805	0.021		

组别	PEF(L/s)				MVV(L)			
	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
对照组	2.46±0.51	3.31±0.74	-5.786	<0.001	46.63±9.55	65.63±14.59	-8.860	<0.001
观察组	2.23±0.59	4.03±0.61	-13.529	<0.001	47.26±11.25	76.73±18.43	-12.790	<0.001
<i>t</i>	-1.611	-2.147			0.235	2.587		
<i>P</i>	0.113	0.032			0.815	0.012		

表 4 2 组患者治疗各时间点 Borg 评分比较

 $\bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	第 1 周	第 2 周	第 3 周	第 4 周	第 5 周	第 6 周
观察组	30	3.63±0.71	3.36±0.67	3.13±0.62	2.80±0.61	2.36±0.49	2.16±0.38
对照组	30	3.66±0.72	3.37±0.71	3.30±0.71	3.20±0.61	3.03±0.49	2.96±0.49
<i>t</i>		-0.263	-0.099	-1.365	3.012	-4.525	-0.486
<i>P</i>		0.793	0.922	0.178	0.004	< 0.001	< 0.001

3 讨论

有研究显示,CSCI 患者均存在不同程度的肺通气功能障碍,其肺功能指标下降尤为明显。肺通气功能障碍分为限制性、阻塞性和混合性三种,CSCI 后呼吸肌不同程度的失神经支配,卧床时间延长,运动量减小,胸壁顺应性降低,胸廓和腹部肌肉痉挛,胸廓活动度减小,肺脏和胸腔的膨胀降低,肺泡通气量明显减少,是导致限制性通气障碍的主要原因^[9]。CSCI 患者的延髓呼吸中枢受损及脊髓呼吸神经元下行传导束通行受阻,导致反射性咳嗽及自主咳嗽能力减退,痰液不易咳出,气道阻塞、狭窄以及高反应性加重了阻塞性通气障碍的发生。因此,CSCI 患病后多为混合性通气功能障碍。本研究结果显示,训练 6 周后,2 组的 FVC、FEV1 及 MVV 指标均较治疗前明显增加,且观察组较对照组增加更明显。可以看出系统性呼吸训练对 CSCI 患者的限制性通气功能障碍的改善有着明显的促进作用,原因可能是系统性呼吸训练可以增加横膈膜、胸廓活动度,增大通气半径,同时胸膜腔负压被增大,使肺泡得以更加充分的扩张,提高肺组织的顺应性,增加气体交换和弥散功能,提高潮气量及通气量,从而增加肺功能。同时本研究结果也显示,训练 6 周后,2 组的 PEF 值均较治疗前明显增加,且观察组较对照组增加更明显。原因可能是腹部肌肉电刺激能最大限度的募集腹部肌肉,提高胸内压,超过了动态气道压迫点,使咳嗽更具有瞬间爆发力。这与 McBain^[10]的研究结论一致。从以上数据可以看出,系统性呼吸训练可以改善 CSCI 患者的咳嗽能力,能进一步提高康复疗效,减轻 CSCI 患者阻塞性通气功能障碍的程度,从而改善肺功能。

CSCI 患者最常见的表现之一为膈肌无力,并伴有不同程度的呼吸困难,加重辅助呼吸肌代偿做功,整体通气肌疲劳,导致通气衰竭。膈肌是人体最主要的呼吸肌,承担着 60%~80% 的通气功能,此外膈肌还与循环、消化、机体代谢、维持正确的姿势和运动等相关^[11]。目前越来越多的学者认同“窃流现象”的存在,原理为在流体循环系统闭合运行状态下,流体总量不变,特定支流的流量增加将伴随其他支流流量相应减少。在有运动需求时,大脑组织细胞会通过白细胞介

素-6 的信号分子收到信号,重新分配血液,CSCI 患者因呼吸肌无力,呼吸肌的血流量占心输出量的比例可以从正常人的 2% 增加到 16%,从而原本应该供应到骨骼肌的血流量相对减少,发生呼吸肌窃取骨骼肌血流现象,造成骨骼肌能量供应不足、运动耐力下降。反之,一个强有力的膈肌不但不会窃取骨骼肌的血流,还会将血流量供应给骨骼肌。本研究结果显示,训练 6 周后,2 组患者的膈肌运动幅度评分均较治疗前提高,且观察组较对照组提高更明显,提示系统性呼吸训练对膈肌的动度提高具有明显的改善作用。可能的原因是体外膈肌起搏器通过电脉冲刺激膈神经,可使膈肌的白肌和红肌的肌纤维数量发生变化,增加膈肌的血液供应,从而引发膈肌的收缩,弥补膈神经受损后的功能残缺,增强膈肌运动能力,扩大胸廓活动度,这与 Glenn 等^[12]的报道结果一致。同时 Tamplin 等^[13]通过研究证明,吸气肌训练通过延迟膈肌疲劳、抵消呼吸肌代谢反射和减轻呼吸不适感,将受试者循环计时试验的成绩提高 4%,疲劳时间提高 30%。Brown^[14]通过研究提出进行定期阻力的呼吸肌肌力训练可增大膈肌的运动幅度及膈肌厚度,减弱通气不适感,提高有效通气量,并提高运动耐力和生活质量。

CSCI 后早期应激反应导致的交感神经兴奋及血浆二茶酚胺含量升高,全身血管收缩,大量血液循环转移到肺循环,肺血容量急剧增加,导致顺应性降低,增加心脏负荷,加重呼吸困难,是造成 CSCI 患者心肺功能储备降低和运动耐力下降的主要原因。Gee 等^[15]通过研究表明,在动态运动中,CSCI 患者表现出动态恶性充气,即运动强度的增加伴随着呼气末肺容积高于静息值的增加。动态恶性充气与呼吸困难和运动不耐受有关,这可能最终限制有氧运动能力。本研究发现,2 组患者的 Borg 评分均较治疗前有所下降,随着干预时间的延长,2 组 Borg 评分的下降幅度不同,观察组 Borg 评分下降幅度较大,干预 6 周时达到最低,表明了规律、科学有计划的系统性呼吸训练更能有效、直接地提高心肺功能储备,降低患者的呼吸困难程度,提高运动耐力。可能的原因是系统性呼吸训练可有效增强了主要呼吸肌的肌力、咳痰能力、增强了肺通气的原动力,提高了肺泡气体交换效率,加强呼吸肌泵及心脏泵的工作效率,从而增加运动肌肉对氧的输送和吸

收,减缓了窃流现象的发生,增强了心脏的功能,提高了有氧运动能力。Houtte 等^[16]发现,对2组随机分配的 CSCI 患者分别做呼吸训练和有氧运动训练后,结果发现2组患者的心肺功能储备均较训练前显著提高。

综上所述,系统性呼吸训练联合常规康复训练对 CSCI 患者的肺功能及膈肌运动有一定的改善作用。本研究将呼吸训练的多种治疗方案系统化、规范化,将物理因子治疗与手法相结合,训练方案从呼吸康复的各个角度出发,区别于单一的传统呼吸训练;针对颈髓损伤的患者由于呼吸肌长时间的失神经支配,对患者采取了特异性的舌咽呼吸技术,同时主动呼吸循环技术能更好的调整呼吸控制,提高纤毛的活性及摆动能力,将外周气道痰液更充分地转移至大气道,腹部肌肉低频电刺激配合咳嗽训练,方法新颖,操作方便,弥补了 CSCI 患者腹部肌群爆发力不足的缺陷,显著提高了咳嗽能力。但需要指出的是,本研究也存在很多不足之处,如总体样本量少,治疗时间短,缺乏长期随访,在以后工作中需要进一步加大样本量,增加治疗时间,并进行长期随访,可为系统性呼吸训练联合常规康复改善脊髓损伤患者肺功能提供更有力的证据。

【参考文献】

- [1] Guan B, Chen R, Zhong M, et al. Protective effect of Oxymatrine against acute spinal cord injury in rats via modulating oxidative stress, inflammation and apoptosis[J]. *Metabolic Brain Disease*. 2020, 35(1): 149-157.
- [2] 张秀, 华文洁, 李素. 脊髓损伤神经源性膀胱患者尿路感染相关危险因素的回溯性研究[J]. *中国康复*, 2021, 36(4): 208-212.
- [3] 贾彦梅, 谢家兴, 宫慧明, 等. 歌唱训练对颈髓损伤患者呼吸功能的影响[J]. *中国康复*, 2021, 36(6): 331-334.
- [4] Karstensen S, Bari T, Gehrchen M, et al. Morbidity and mortality of complex spine surgery: a prospective cohort study in 679 patients validating the Spine Adverse Event Severity (SAVES) system in a European population[J]. *Spine J*. 2016, 16(2): 146-153.
- [5] Grossman R G, Frankowski R F, Burau K D, et al. Incidence and severity of acute complications after spinal cord injury[J]. *J Neurosurg Spine*. 2012, 17(1 Suppl): 119-128.
- [6] Hu H, Jian X. The protective mechanism of action of plantamajorside on a rat model of acute spinal cord injury[J]. *Experimental and therapeutic medicine*. 2021, 21(4): 378-390.
- [7] Ip M S. Lung function testing in health and disease: issues pertaining to Asia-Pacific populations[J]. *Respirology*, 2011. 16(2): 190-197.
- [8] Shariat A, et al. Borg CR-10 scale as a new approach to monitoring office exercise training. *Work (Reading, Mass.)*, 2018. 60(4): 549-554.
- [9] Tedde M L, Vasconcelos Filho P, Hajjar L A, et al. Diaphragmatic pacing stimulation in spinal cord injury: anesthetic and perioperative management[J]. *Clinics (S? o Paulo, Brazil)*. 2012, 67(11): 1265-1269.
- [10] McBain, R. A., et al., Electrical stimulation of abdominal muscles to produce cough in spinal cord injury: effect of stimulus intensity. *Neurorehabil Neural Repair*, 2015. 29(4): 362-369.
- [11] Bordoni B, Marelli F, Morabito B, et al. Depression and anxiety in patients with chronic heart failure[J]. *Future Cardiol*. 2018, 14(2): 115-119.
- [12] Glenn, W. W., J. F. Hogan and M. L. Phelps, Ventilatory support of the quadriplegic patient with respiratory paralysis by diaphragm pacing. *The Surgical clinics of North America*, 1980. 60(5): 1055-1061.
- [13] Tamplin J, Berlowitz D J. A systematic review and meta-analysis of the effects of respiratory muscle training on pulmonary function in tetraplegia[J]. *Spinal Cord*. 2014, 52(3): 175-180.
- [14] Brown P I, Venables H K, Liu H, et al. Ventilatory muscle strength, diaphragm thickness and pulmonary function in world-class powerlifters[J]. *European journal of applied physiology*. 2013, 113(11): 2849-2855.
- [15] Gee C M, Williams A M, Sheel A W, et al. Respiratory muscle training in athletes with cervical spinal cord injury: effects on cardiopulmonary function and exercise capacity[J]. *The Journal of physiology*. 2019, 597(14): 3673-3685.
- [16] Van Houtte S, Vanlandewijck Y, Gosselink R. Respiratory muscle training in persons with spinal cord injury: A systematic review[J]. *Respiratory medicine*. 2006, 100(11): 1886-1895.

欢 迎 订 阅