

脑卒中后气管切开患者的综合肺康复进展

张谦^{1,2}, 周腾飞¹, 田新原¹, 汪希勇¹, 陈景周¹, 石阳梅¹, 陈欠¹, 吴霜^{1,2}

【关键词】 脑卒中; 气管切开; 肺康复

【中图分类号】 R49; R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2023.02.009

脑卒中是目前造成我国成年居民死亡和残疾的首位原因^[1], 脑卒中可以直接损伤呼吸中枢、破坏呼吸下行传导通路和(或)继发肺部疾病而导致肺功能受损, 严重者可出现呼吸衰竭, 此时往往需要予以机械通气^[2], 气管切开是有创机械通气的一种形式, 常用于抢救急危重脑卒中患者, 保持氧气传输和引出痰液, 国外研究报道 15%~35%重症监护室的卒中患者需要气管切开^[3], 在改善患者通气功能的同时也会带来一系列的并发症, 影响患者肺功能, 导致呼吸功能障碍、脱机时间延长、增加医疗负担^[4]。脑卒中后气管切开(tracheotomy after stroke, TAS)患者接受综合肺康复评估及治疗是有效的, 但相关的研究较少, 本文拟综述近年来脑卒中后气管切开患者的综合肺康复进展, 为临床康复诊疗提供参考。

1 呼吸功能障碍的机制

TAS 患者的呼吸功能障碍, 既与脑卒中有关, 同时也受到气管切开的影响, 下面从这两方面进行阐述。

1.1 脑卒中对呼吸功能的影响 脑卒中造成的原发性中枢损伤或继发性病变, 会导致呼吸肌力减退, 特别是引起膈肌移动度下降, 使得最大吸气压(maximal inspiratory pressure, MIP)和最大呼气压(maximal expiratory pressure, MEP)降低, 研究表明与健康人群相比 TAS 患者的 MIP 和 MEP 均分别降低超过 50%^[5], 并且由于瘫痪侧膈肌和肋间肌肌力下降, 引起胸壁的不对称呼吸运动, 有 18%~88%的患者会出现异常呼吸模式, 从而影响到患者的潮气量和运动耐力^[6], 而一些特定部位(延髓、脑桥)的脑卒中, 会带来呼吸功能自主控制失调、膈肌麻痹等问题^[7]。另外脑

卒中患者因合并肌张力障碍、吞咽障碍等继发出现的营养不良、疼痛等问题也同时会影响呼吸功能^[8]。

1.2 气管切开对呼吸功能的影响 气管切开后患者的上呼吸道失去保护功能, 细菌可以经由气管套管直接进入肺部, 并且气管外套管和气管壁之间的潜在间隙更易于细菌繁殖, 引起反复气管炎症, 气切后下呼吸道湿化、加温不足, 易引起支气管粘膜损伤和痰液增多^[9], 气管粘膜长期受压或护理中不当吸痰操作可造成气道壁坏死, 疤痕形成及管道狭窄, 甚至可发生出血^[10]。另外, 气切后机械通气的患者早期即出现以膈肌收缩力下降、膈肌萎缩和呼吸功能障碍为表现的综合征, 不仅增加肺部感染机率, 而且重症者痰栓堵塞上呼吸道易诱发窒息, 甚至危及生命^[11]。

2 TAS 患者的康复管理

2.1 气切套管的管理 主要包括以下方面: ①气切套管的选择与更换: 因塑料套管更加耐腐蚀, 建议长时间佩戴者首选, 内套管应根据患者的气切口情况随时更换, 而外套管通常不建议频繁更换, 如果预计气切套管更换困难, 应有经验丰富的临床医生在场^[12]; ②护理措施: 妥善固定气切套管防止脱落, 松紧度以一指穿过为宜; 每日更换切口敷料 2 次, 防止感染; 每日对内套管清洁消毒两次以防痰痂黏结^[13], 吸痰次数最大限度减少分泌物在气囊上方聚集和阻止其进入下呼吸道, 减少患者的不适和气道及肺泡塌陷等并发症的发生为宜^[12]; 使用加热湿化器湿化可提供近似生理的温、湿化状态, 可以降低下呼吸道感染和阻塞的风险^[14]; ③气囊压力: 应在每次气切管护理操作时使用气囊压力校准装置检测, 保持在 20~25mmHg 之间^[15]。

2.2 营养管理 气切套管可能会降低咽喉上抬能力, 并且膨胀的气囊会压迫食管, 影响 TAS 患者的吞咽功能, 20%~70%的气切患者住院期间每 48 小时至少会发生一次误吸, 如果合并有脑卒中后吞咽障碍的患者发生几率更高, 所以建议鼻饲进食的 TAS 患者应保持

基金项目: 贵州省科学技术基金资助项目(黔科合成果-LC[2022]016)

收稿日期: 2022-06-16

作者单位: 1. 贵州医科大学附属医院康复医学科, 贵阳 550000; 2. 贵州医科大学, 贵阳 550004

作者简介: 张谦(1990-), 男, 主治医师, 主要从事脑血管病康复的研究。

通讯作者: 吴霜, wus212@sina.com

头部抬高至少 45° ,而在经口进食之前必须经过吞咽造影或内镜评估排除误吸、返流等风险后方可开展^[16]。

3 TAS患者接受综合肺康复的适宜气管套管条件

用于TAS患者的气管套管通常有带气囊和不带气囊两种,前者在需要正压通气或者需要气道保护避免吸入更多口鼻分泌物时选择,而后者适用于长期带管不需机械通气、能有效咳嗽、有正常呕吐反射、分泌物稀薄或较少的患者^[17],经查阅文献后发现综合肺康复技术对于不带气囊套管的TAS患者来说可能是更加适宜和安全的,而使用带气囊的气管套管患者,在气囊放气试验阴性后,也应尽早接受综合肺康复评估及治疗^[18]。另外,某些治疗技术要求在训练期间恢复气流的口鼻通道,可以通过佩戴语音阀或者气切帽(tracheotomy cap,TC)的方式实现^[19]。

4 康复评定方法

4.1 呼吸功能评定 TAS患者可以借助手持式肺功能检测仪或压力计进行呼吸功能的评估,常用的检测指标有MIP、MEP以及呼气峰值流速(peak expiratory flow,PEF),MIP和MEP可以间接反映呼吸肌肌力,PEF可以反映咳嗽能力^[20]。在测定MIP时可以采取Marini法,即予患者佩戴TC,并让患者口含检测仪的口件,尽力呼气25s后,以最大力量吸气,压力数值即为MIP。还可以使用特殊装置将检测仪或压力计与气切套管连接,患者尝试最大程度呼气作为MEP^[21]。

4.2 膈肌功能评定 膈肌是最主要的呼吸肌,占有呼吸肌功能的60%~80%,收缩时膈顶下降,协助吸气作用,舒张时膈顶恢复原位,协助呼气作用,膈肌收缩会使肺通气量增加,另外膈肌的位移可以增加肺活量,减少呼吸循环中的无效腔,所以膈肌在呼吸功能中起着关键作用^[22]。①膈肌超声检查:超声检查因设备易搬动、成本低、无创性等优点,广泛应用于脑卒中后患者膈肌功能的评估,Richard^[23]认为,当平静呼吸时膈肌移动度 $<10\text{mm}$ 、深呼吸时膈肌移动度 $<25\text{mm}$,膈肌厚度及膈肌增厚比率 $<20\%$ 即说明存在膈肌功能障碍。研究还发现^[24],通过膈肌超声测量TAS患者的膈肌厚度及膈肌增厚比率,可用于预测撤机拔管时机,当膈肌移动度 $\geq 10\text{mm}$,膈肌增厚比率在30%~36%之间的患者,拔除气切管的成功率较高。②膈肌电生理检查:膈肌由膈神经支配,可以通过食管内电极或表面电极记录膈肌复合肌肉动作电位(compound muscle action potential,CMAP)的波幅及潜伏期,以

此反映膈神经的兴奋性及传导速度^[25],Noda等^[26]通过膈肌超声比较健康人和脑卒中患者在呼气末和达到肺总量时的膈肌厚度以及CMAP,发现脑卒中患者不仅患侧膈肌厚度和CMAP波幅较健侧和健康人低,而且CMAP潜伏期明显延长,说明脑卒中患者患侧膈肌兴奋阈值增高,膈神经传导明显被抑制或延迟,这可能是呼吸肌功能下降的原因之一。另外,膈肌的运动诱发电位是评价与呼吸有关的皮质脊髓束功能和膈肌功能的重要电生理学指标之一,可以评估脑卒中患者膈肌功能及恢复情况^[27]。此外,通过X线、CT或MRI进行膈肌结构成像,也可以用于其功能评估,但因其具有侵入性、放射性,且便利性欠佳,应用较为局限^[24],在此不再赘述。

4.3 动脉血气分析(Arterial blood gas analysis, ABG) 动脉血气值是分析机体酸碱平衡及缺氧程度的可靠指标^[29],其中 PaO_2 、 PaCO_2 和碳酸氢根浓度等都是反应机体通气状态的良好指标。脑卒中伴呼吸中枢神经调节障碍的患者可能会出现阻塞性睡眠呼吸暂停综合征,引起上气道阻塞,导致患者低氧和高碳酸血症,由此成为脑卒中后进行气管切开的重要原因。Rakesh等^[30]记录了100名高碳酸血症呼吸衰竭的患者在机械通气后1、4、24h的ABG数据和生命体征,发现PH值和 PaCO_2 在上述时间点有改善的患者预后更好,所以ABG是预测TAS患者预后的重要评估方法。

4.4 上气道阻塞(upper airway obstruction,UAO)的评估 长时间气管切开是UAO的常见原因,UAO会导致气道狭窄、呼吸死腔的增加,从而需要更强的呼吸做功以维持摄氧量,影响气切管的拔除。Aboussouan等^[31]通过气管三维CT成像评估UAO的狭窄程度,按照气道狭窄程度分为3个等级:0~50%为Ⅰ级,51%~70%为Ⅱ级, $>71\%$ 为Ⅲ级,通常气道狭窄 $<30\%$ 才能确保气切管的有效拔除^[32]。

4.5 气切管拔管的评估 TAS患者拔管的时机取决于气管切开术的最初适应症是否解决,如上呼吸道阻塞、气道保护能力和有效的肺部清洁等,应同时符合以下指标方能试行拔除气切管^[32]:动脉血气分析值正常至少持续5d;临床症状稳定;血流动力学稳定;无发热、败血症、活动性感染; $\text{PaCO}_2 < 60\text{mmHg}$;气道狭窄 $<30\%$;无谵妄或精神疾病;通过喉内窥镜或吞咽造影检查吞咽功能基本正常;能按要求自主咳嗽能力;MEP $>40\text{cmH}_2\text{O}$ 。

5 康复治疗方法

5.1 语音阀(speaking valve,SV) 是一种单向通气

阀装置,吸气时瓣膜打开,呼气时关闭,使用后患者吸气仍然通过气管套管,呼气时气流通过上呼吸道,由此为 TAS 患者模拟形成一个封闭的咽部系统,重建声门下压力,研究发现其提高了 TAS 患者吞咽过程中声门的闭合能力,有助于改善呼吸和吞咽之间的协调性^[33]。Freeman 等^[34]建议,只要满足佩戴非气囊气切管条件的患者即应该在气切后 48~72h 后尽快佩戴 SV,以改善气道保护能力,降低吞咽时误吸的风险。

5.2 体外膈肌起搏(external diaphragm pacemaker, EDP) 基本原理是通过功能性电刺激膈神经引起膈肌收缩,当电刺激膈神经时,电脉冲由膈神经将电刺激信号传入吸气神经元^[35]。脉冲信号增强了生理电频率,因此加大了吸气动作,并增强了膈肌收缩^[36]。研究发现 EDP 治疗可以提高膈肌肌力与耐力、增加膈肌活动范围、诱发呼吸中枢反馈、降低感染发生率、提高总抗氧化能力,从而帮助 TAS 患者改善肺功能,加快拔管进程^[37]。

5.3 呼吸肌训练 目前临床采用的呼吸肌训练方式分为吸气肌训练、呼气肌训练及吸气肌-呼气肌联合训练。吸气肌训练主要增强以膈肌为主吸气肌群肌力和耐力,呼气训练主要改善肺通气功能、腹肌力量以及咳嗽功能^[38]。一项 Meta 分析中,作者发现呼吸肌训练可以改善危重机械通气患者 MIP、呼吸肌肌力,缩短机械通气时间、撤机时间和 ICU 住院时间,提高撤机的成功率^[39]。

另外,膈肌呼吸训练,也称为腹式呼吸训练或深呼吸训练,治疗师将双手拇指朝向剑突,其余四指并拢放置于腹直肌上面和肋软骨前方,嘱患者吸气,当感受到腹部隆起时双手施加适当阻力,嘱患者深吸气对抗阻力,然后缓慢将气体呼出,以提高患者的吸气肌肌力。Seo 等^[41]通过实验证实膈肌呼吸训练结合缩唇呼吸训练能够提高脑卒中患者腹部呼吸肌的兴奋水平、改善肺通气,Güngen 等^[42]通过对 ICU 内的脑卒中患者研究发现,接受膈肌呼吸训练的患者无论在神经功能的恢复还是结局预测方面均好于未接受该治疗的患者。

缩唇呼吸则是一种常用的呼气肌训练方式,当患者呼气时口唇缩为吹口哨状,以增加气体呼出阻力,Archana 等^[43]研究认为缩唇呼吸能够产生呼气阻力进一步激活呼气肌、防止气道过早塌陷。

5.4 气道廓清技术(airway clearance techniques, ACT) ACT 是呼吸物理治疗的重要技术,主要分为近端大气道 ACT(咳嗽增强技术)和远端中小气道 ACT(分泌物移动技术),前者又分为辅助吸气、辅助呼气以及辅助吸气和呼气技术,主要目的是通过增加 PEF 来清除近端大气道中的分泌物;后者可以分为手

法技术、自主引流、肺内叩击通气技术等,主要目的是促进中小气道分泌物向大气道移动^[44]。现就上述技术中的常用方法进行逐一介绍:①舌咽式呼吸技术(glossopharyngeal breathing,GPB):是辅助吸气技术的一种方法,通过口咽喉部特定动作将空气泵入肺部来弥补吸气肌肌力不足,从而增加吸气容积,经反复多次吸气且期间尽量保持不呼气,一旦接近肺总量,指导患者自主咳嗽或辅助咳嗽,研究发现 GPB 尤其适用于呼吸肌麻痹而导致肺活量下降的患者,可以增加其 21% 的肺活量,另外依赖机械通气的患者连续运用 GPB 可以替代机械通气^[45]。Bianchi 等^[46]研究发现 GPB 联合自主胸部或腹部加压技术,较单一方法可以更有效地提高神经肌肉疾病患者的 PEF。②徒手辅助咳嗽技术(manual assisted cough,MAC):属于辅助呼气技术的一种,患者可以自主完成也可在他人辅助下完成。通过各种手法,如肋膈辅助咳嗽技术、海姆立克辅助咳嗽技术等,使腹内压增加,导致腹内容物向上推动横膈膜,以增强呼气气流^[47]。Morrow 等^[48]比较了单独或联合使用 MAC 及机械通气对 COPD 患者肺功能的影响,结果表明接受 MAC 治疗的患者 PEF 均较其他患者有明显改善,MAC 对于提高患者的自主咳嗽能力具有积极作用。③机械呼气-吸气技术(mechanical insufflation-exsufflation, MIE):是辅助吸气和呼气技术的一种,借助可以在支气管分支内产生气流变化的装置,通过正压送气使肺扩张,然后快速转换为负压,模仿呼气动作,从肺部呼出的高速气流速度可以达到 160L/min 以上,能有效清除气道分泌物,并且 MIE 能够增加咳嗽峰值,提高 TAS 患者咳嗽的有效性^[49]。Kuroiwa 等^[50]发现 MIE 可以改善气管支气管黏膜功能障碍,并且 MIE 的应用还降低了机械通气的可能性。④主动呼吸循环技术(active cycle of breathing techniques,ACBT):属于远端中小气道 ACT 中手法技术的一种,其包括呼吸控制、胸廓扩张运动、用力呼气技术,患者可自主完成、可操作性强、不需要特定设备。华玉平等^[51]研究指出,相较于常规呼吸训练,TAS 患者增加半卧位或坐位下的 ACBT 治疗,经 4 周治疗后患者第 1 秒用力呼气容积、呼气峰流速、血氧饱和度、气切拔管率均明显提高。杨娜娜等^[52]纳入 52 名脑卒中合并肺部感染的患者,进行 2 周治疗,结果表明相较于传统叩击排痰训练,增加 ACBT 治疗的患者肺部感染治疗总有效率显著增加,肺部感染体征的持续时间也显著缩短。⑤体位引流(postural drainage, PD):是利用重力来促进呼吸道分泌物从外周向中央气道移动,并通过咳嗽或强制呼气排出体外,研究发现 PD 更加适用于气道分泌物较多(痰量>30ml/d)的患

者,尤其是是TAS合并SAP且自主咳嗽能力弱的患者,但PD对低气道分泌物的患者没有积极影响^[53]。

⑥肺内叩击通气技术(intrapulmonary percussive ventilation,IPV):是治疗人员手动对患者胸部施加某些力,产生间歇性正压,然后将该压力传递到气道,引起气流振荡和呼气流量增加,IPV以100~300次/分的频率和10~40cmH₂O的压力向肺内传入空气,促进外周气道分泌物的清除,并且高频气流振动达到了扩张肺部,扩大气道的作用,目前已广泛应用于神经肌肉疾病的治疗中^[54]。Luo等^[55]发现IPV与激励式肺功能训练法比较,可有效减少青少年神经肌肉疾病并呼吸系统并发症患者的抗生素使用率和住院治疗天数,是一种有效的预防肺部感染的方法。

6 总结

综上所述,脑卒中原发性和(或)继发性损害以及长时间气管切开,是造成患者呼吸功能障碍的重要原因,在评估方面,可以利用特殊装置将气切口和肺功能检测仪连接,通过MIP、MEP等指标反映患者的呼吸功能,另外膈肌超声和电生理评估对于预测TAS患者的气切管拔管率和成功率具有重要价值。SV、EDP、呼吸肌训练技术、ACT等均是TAS患者综合肺康复治疗的主要方法,需要结合患者的评估结果有侧重的选择应用。总体来说,综合肺康复技术应用于脑卒中后气管切开患者是安全、有效的。

【参考文献】

- [1] Wu S, Wu B, Liu M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management[J]. *Lancet Neuro*, 2019, 18(4): 394-405.
- [2] Wijedicks EF, Sheth KN, Carter BS, et al. Recommendations for the management of cerebral and cerebellar infarction with swelling: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2014, 45(4): 1222-1238.
- [3] Bösel J. Tracheostomy in stroke patients[J]. *Curr Treat Options Neurol*, 2014, 16(1): 274-274.
- [4] Perin C, Meroni R, Rega V, et al. Parameters Influencing Tracheostomy Decannulation in Patients Undergoing Rehabilitation after severe Acquired Brain Injury (sABI)[J]. *Int Arch Otorhinolaryngol*, 2017, 21(4): 382-389.
- [5] 周停,王培,李卫卫,等.脑卒中患者膈神经电生理及吸气功能变化的临床研究[J]. *中国康复*, 2019, 34(4): 179-182.
- [6] Kang ES, Yook JS, Ha MS. Breathing Exercises for Improving Cognitive Function in Patients with Stroke[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(10): 2888-2888.
- [7] Gao J, Zhou C, Zhang H. Mechanical ventilation in patients with acute ischemic stroke: From pathophysiology to clinical practice [J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 139-139.
- [8] 邹盛国,吴建贤.脑卒中患者呼吸肌训练的临床研究进展[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019, 41(9): 708-711.
- [9] Park MK, Lee SJ. Changes in Swallowing and Cough Functions Among Stroke Patients Before and After Tracheostomy Decannulation[J]. *Dysphagia*, 2018, 33(6): 857-865.
- [10] Botti C, Menichetti M, Marchese C, et al. The role of tracheotomy in patients with moderate to severe impairment of the lower airways[J]. *Acta Otorhinolaryngol Ital*, 2022, 42(Suppl. 1): S73-S78.
- [11] Valenzuela VJ, Pinochet UR, Escobar CM, et al. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction[J]. *Rev Chil Pediatr*, 2014, 85(4): 491-498.
- [12] Trouillet JL, Collange O, Belafia F, et al. Tracheotomy in the intensive care unit: guidelines from a French expert panel[J]. *Ann Intensive Care*, 2018, 8(1): 37-37.
- [13] 李思敏,吴炯烽,王娇,等.气管切开患者拔管管理研究进展[J]. *华西医学*, 2022, 37(5): 783-787.
- [14] 许琼.气管切开患者气道湿化的方法[J]. *临床医学研究与实践*, 2017, 2(4): 191-194.
- [15] Ilczak T, ćwiertnia M, Białoń P, et al. Endotracheal Tube Cuff Pressure - Comparison of the Two Filling Methods - Simulated Test[J]. *Prehosp Disaster Med*, 2021, 36(4): 421-425.
- [16] Heidler MD. Dysphagia in Tracheostomized Patients after Long-Term Mechanical Ventilation - Become Sensitive to Reduced Pharyngo-Laryngeal Sensitivity[J]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2019, 54(3): 218-222.
- [17] 刘瑜,周春兰,周君桂,等.长期气管切开患者气管套管更换护理策略的证据总结[J]. *解放军护理杂志*, 2021, 38(4): 66-69.
- [18] Lewis K, Culgin S, Jaeschke R, et al. Cuff Leak Test and Airway Obstruction in Mechanically Ventilated ICU Patients (COMIC): a pilot randomised controlled trial protocol[J]. *BMJ Open*, 2019, 9(7): e029394.
- [19] Sancho J, Burés E, Ferrer S, et al. Mechanical Insufflation-Exsufflation With Oscillations in Amyotrophic Lateral Sclerosis With Home Ventilation via Tracheostomy[J]. *Respir Care*, 2021, 66(3): 378-383.
- [20] Teruya N, Sunagawa Y, Toyosato T, et al. Association between Daily Life Difficulties and Acceptance of Disability in Cancer Survivors after Total Laryngectomy: a Cross-Sectional Survey[J]. *Asia Pac J Oncol Nurs*, 2019, 6(2): 170-176.
- [21] Bissett B, Gosselink R, van Haren FMP. Respiratory Muscle Rehabilitation in Patients with Prolonged Mechanical Ventilation: A Targeted Approach[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 103-103.
- [22] 朱秀华,朱永刚,王银龙,等.体外膈肌起搏器联合呼吸训练对脑卒中心管切开患者肺功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(8): 973-977.
- [23] Richard P. Exploring the diaphragm: Ultrasound is essential[J]. *Rev Mal Respir*, 2017, 34(6): 645-660.
- [24] Llamas-álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J. Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome: Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Chest*, 2017, 152(6): 1140-1150.

- [25] Ackermann KA, Brander L, Tuchscherer D, et al. Esophageal versus surface recording of diaphragm compound muscle action potential[J]. *Muscle Nerve*, 2015, 51(4):598-600.
- [26] Noda Y, Sekiguchi K, Kohara N, et al. Ultrasonographic diaphragm thickness correlates with compound muscle action potential amplitude and forced vital capacity[J]. *Muscle Nerve*, 2016, 53(4):522-527.
- [27] Welch JF, Argento PJ, Mitchell GS, et al. Reliability of diaphragmatic motor-evoked potentials induced by transcranial magnetic stimulation[J]. *J Appl Physiol*, 2020, 129(6):1393-1404.
- [28] Ramsokk AH, Molgat-Seon Y, Schaeffer MR, et al. Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle electromyography and dyspnea during exercise in healthy men[J]. *J Appl Physiol*, 2017, 122(5):1267-1275.
- [29] Minin AS, Shen NP, Panov ID, et al. Influence of the blood gas composition and mechanical ventilation parameters of the medical evacuation prognosis of critically ill patients[J]. *Klin Lab Diagn*, 2020, 65(2):84-89.
- [30] Chawla RK, Yadav V, Banerjee S, et al. Predictors of success and failure of non-invasive ventilation use in type-2 respiratory failure[J]. *Indian J Tuberc*, 2021, 68(1):20-24.
- [31] Nishine H, Hiramoto T, Handa H, et al. Assessment of Extensive Airway Obstruction Using Point-by-Point Lateral Pressure Measurements during Bronchoscopy[J]. *Respiration*, 2021, 100(7):611-617.
- [32] Fuller C, Wineland AM, Richter GT. Update on Pediatric Tracheostomy: Indications, Technique, Education, and Decannulation[J]. *Curr Otorhinolaryngol Rep*, 2021, 9(2):188-199.
- [33] Skoretz SA, Anger N, Wellman L, et al. A Systematic Review of Tracheostomy Modifications and Swallowing in Adults[J]. *Dysphagia*, 2020, 35(6):935-947.
- [34] Freeman-Sanderson AL, Togher L, Elkins M, et al. Quality of life improves for tracheostomy patients with return of voice: A mixed methods evaluation of the patient experience across the care continuum[J]. *Intensive Crit Care Nurs*, 2018, 3(46):10-16.
- [35] Hazenberg A, Hofker S, van der Aa H, et al. Diaphragm pacer-maker: alternative for long-term ventilatory support; 5 years later[J]. *Ned Tijdschr Geneesk*, 2019, 163(4):D3675.
- [36] 李磊, 李静, 喻鹏铭, 等. 体外膈肌起搏对 ICU 获得性衰弱患者膈肌功能障碍有效性的研究分析[J]. *中国康复*, 2019, 34(6):299-302.
- [37] 古菁, 黄怀, 沈丹彤, 等. 体外膈肌起搏器对脑卒中机械通气患者的疗效观察[J]. *中华神经医学杂志*, 2018, 17(12):1245-1249.
- [38] 王璐, 陆晓. 脑卒中患者肺功能障碍康复研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(6):730-734.
- [39] 吴雨晨, 丁楠楠, 姜变通, 等. 阈值负荷吸气肌训练对呼吸肌功能影响的 Meta 分析[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(10):1150-1161.
- [40] da Silva Guimarães B, de Souza LC, Cordeiro HF, et al. Inspiratory Muscle Training With an Electronic Resistive Loading Device Improves Prolonged Weaning Outcomes in a Randomized Controlled Trial[J]. *Crit Care Med*, 2021, 49(4):589-597.
- [41] Seo K, Hwan PS, Park K. The effects of inspiratory diaphragm breathing exercise and expiratory pursed-lip breathing exercise on chronic stroke patients' respiratory muscle activation[J]. *J Phys Ther Sci*, 2017, 29(3):465-469.
- [42] Güngen BD, Tunç A, Aras YG, et al. Predictors of intensive care unit admission and mortality in patients with ischemic stroke: investigating the effects of a pulmonary rehabilitation program. *BMC Neurol*, 2017, 17(1):132.
- [43] Vatwani A. Pursed Lip Breathing Exercise to Reduce Shortness of Breath[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2019, 100(1):189-190.
- [44] Chatwin M, Toussaint M, Gonçalves MR, et al. Airway clearance techniques in neuromuscular disorders: A state of the art review[J]. *Respir Med*, 2018, 136(2018):98-110.
- [45] LoMauro A, Banfi P, D'Angelo MG, et al. Glossopharyngeal breathing can allow a lung expansion greater than inspiratory capacity in muscular dystrophy[J]. *Eur Respir J*, 2019, 54(2):1801938.
- [46] Bianchi C, Carrara R, Khirani S, et al. Independent cough flow augmentation by glossopharyngeal breathing plus table thrust in muscular dystrophy[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2014, 93(1):43-48.
- [47] Spinou A. A Review on Cough Augmentation Techniques: Assisted Inspiration, Assisted Expiration and Their Combination[J]. *Physiol Res*, 2020, 69(Suppl 1):S93-S103.
- [48] Morrow B, Argent A, Zampoli M, et al. Cough augmentation techniques for people with chronic neuromuscular disorders[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 4(4):CD013170.
- [49] Chatwin M, Simonds AK. Long-Term Mechanical Insufflation-Exsufflation Cough Assistance in Neuromuscular Disease: Patterns of Use and Lessons for Application[J]. *Respir Care*, 2020, 65(2):135-143.
- [50] Kuroiwa R, Tateishi Y, Oshima T, et al. Mechanical Insufflation-exsufflation for the Prevention of Ventilator-associated Pneumonia in Intensive Care Units: A Retrospective Cohort Study[J]. *Indian J Crit Care Med*, 2021, 25(1):62-66.
- [51] 华玉平, 冯重睿, 符碧洲, 等. 探讨主动呼吸循环技术对脑卒中气管切开后患者呼吸功能的疗效[J]. *中国康复*, 2018, 33(2):136-137.
- [52] 杨娜娜, 赵敏, 沈筠筠, 等. 主动呼吸循环技术对脑卒中合并肺部感染患者的影响[J]. *中国康复*, 2020, 35(11):572-575.
- [53] Belli S, Prince I, Savio G, et al. Airway Clearance Techniques: The Right Choice for the Right Patient[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8(8):544826.
- [54] Reyckler G, Debier E, Contal O, et al. Intrapulmonary Percussive Ventilation as an Airway Clearance Technique in Subjects With Chronic Obstructive Airway Diseases[J]. *Respir Care*, 2018, 63(5):620-631.
- [55] Luo F, Annane D, Orlikowski D, et al. Invasive versus non-invasive ventilation for acute respiratory failure in neuromuscular disease and chest wall disorders[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 12(12):CD008380.