

复合频率体外膈肌起搏治疗对脑卒中恢复期患者呼吸功能及抗疲劳能力的疗效探究

陈叶冬, 张丽琼, 赵 凯*

安徽医科大学第一附属医院康复医学科, 安徽 合肥

收稿日期: 2024年4月29日; 录用日期: 2024年5月21日; 发布日期: 2024年5月29日

摘 要

目的: 观察复合频率体外膈肌起搏器(EDP)治疗对脑卒中恢复期患者呼吸功能的疗效。方法: 收集2022年12月至2023年10月期间安徽医科大学第一附属医院康复医学科收治的45位脑卒中恢复期患者, 通过抛硬币法分为(10 + 40 Hz)复合频率EDP组15例、(40 Hz)生理频率EDP组15例和对照组15例。对照组采用常规康复训练, 两EDP组分别在对照组的基础上增加生理频率和复合频率体外膈肌起搏治疗。所有治疗组治疗时间均为4周, 比较3组治疗前后肺功能、膈肌功能、抗疲劳程度指标变化情况。结果: 1) 4周治疗后, 3组一秒用力呼气容积(FEV1)、用力肺活量(FVC)数值均较前升高, 差异具有统计学意义($P < 0.05$), 且3组FEV1、FVC治疗后组间比较差异性明显($P < 0.05$), 具体表现为两EDP组治疗后较对照组升高($P < 0.05$), 而两EDP组组间无明显差异($P < 0.05$); 同时治疗4周后两EDP组一秒率(FEV1/FVC)较前改善($P < 0.001$), 对照组亦较前有所提高, 但无统计学差异($P > 0.05$), 且治疗后3组间比较差异不明显($P > 0.05$)。2) 经4周治疗后, 两EDP组平静呼吸膈肌移动度(DE-QB)、深呼吸膈肌移动度(DE-DB)、深呼吸膈肌厚度(DT)的数值较前明显升高, 具有统计学差异($P < 0.001$), 组间比较显示两EDP组DT、DE-DB数值较对照组升高明显($P < 0.05$), 而两EDP组之间无显著差异($P > 0.05$)。3) 治疗4周后3组患者Borg呼吸困难指数评分均较前降低, 具有统计学差异($P < 0.05$); 3组间比较显示两EDP组较对照组下降明显($P < 0.05$), 而复合频率EDP组较生理频率EDP组下降更为明显($P < 0.05$)。结论: 生理频率和复合频率EDP治疗都能改善脑卒中恢复期患者的呼吸功能, 而复合频率EDP治疗在改善患者抗疲劳程度方面较生理频率更加有效。

关键词

脑卒中, 体外膈肌起搏, 复合频率, 肺功能, 膈肌, 抗疲劳能力

To Explore the Effect of Compound Frequency External Diaphragm Pacing on Respiratory Function and Anti-Fatigue Ability in Patients with Stroke at Recovery Stage

*通讯作者。

文章引用: 陈叶冬, 张丽琼, 赵凯. 复合频率体外膈肌起搏治疗对脑卒中恢复期患者呼吸功能及抗疲劳能力的疗效探究[J]. 临床医学进展, 2024, 14(5): 1983-1991. DOI: 10.12677/acm.2024.1451643

Yedong Chen, Liqiong Zhang, Kai Zhao*

Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Anhui Hefei

Received: Apr. 29th, 2024; accepted: May 21st, 2024; published: May 29th, 2024

Abstract

Objective: To observe the effect of combined frequency extracorporeal diaphragm pacemaker (EDP) on respiratory function in convalescent stroke patients. **Methods:** A total of 45 stroke convalescent patients admitted to the Department of Rehabilitation Medicine of the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University from December 2022 to October 2023 were collected and divided into (10 + 40 Hz) compound frequency EDP group (15 cases), (40 Hz) physiological frequency EDP group (15 cases) and control group (15 cases) by coin toss method. The control group was treated with routine rehabilitation training, and the two EDP groups were treated with physiologic frequency and compound frequency external diaphragm pacing respectively. All the treatment groups were treated for 4 weeks. The changes of lung function, diaphragm function and anti-fatigue degree before and after treatment were compared in the 3 groups. **Results:** 1) After 4 weeks of treatment, the values of forced expiratory volume (FEV1) in one second and forced vital capacity (FVC) in the 3 groups were higher than before, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$), and there were significant differences among the 3 groups after FEV1 and FVC treatment ($P < 0.05$). After treatment, the two EDP groups were higher than the control group ($P < 0.05$), but there was no significant difference between the two EDP groups ($P < 0.05$). At the same time, after 4 weeks of treatment, the one-second rate (FEV1/FVC) in the two EDP groups was improved compared with that before ($P < 0.001$), and the control group was also increased, but there was no statistical difference ($P > 0.05$), and there was no significant difference between the three groups after treatment ($P > 0.05$). 2) After 4 weeks of treatment, the values of calm breathing diaphragm movement (DE-QB), deep breathing diaphragm movement (DE-DB) and deep breathing diaphragm thickness (DT) in the two EDP groups were significantly higher than before, with statistical differences ($P < 0.001$). The DT and DE-DB values in EDP and EDP groups were significantly higher than those in control group ($P < 0.05$), but there was no significant difference between EDP and EDP groups ($P > 0.05$). 3) After 4 weeks of treatment, Borg dyspnea index scores of 3 groups were lower than before, with statistical difference ($P < 0.05$). Comparison among the three groups showed that the EDP group decreased significantly compared with the control group ($P < 0.05$), and the compound frequency EDP group decreased more significantly than the physiological frequency EDP group ($P < 0.05$). **Conclusion:** Both physiological frequency and combined frequency EDP treatment can improve the respiratory function of patients recovering from stroke, and the combined frequency EDP treatment is more effective than the physiological frequency in improving the anti-fatigue degree of patients.

Keywords

Stroke, External Diaphragm Pacing, Compound Frequency, Pulmonary Function, Diaphragm, Anti-Fatigue Capacity

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脑卒中常见导致持久性神经损伤，半数幸存者可能面临长期残疾，30%患者在半年内仍无法自理生活[1]。传统康复着重于肢体、言语、认知及吞咽功能恢复，而对呼吸功能的关注相对滞后[2] [3]。近些年来国内外研究加强了对脑卒中后呼吸功能障碍的治疗，特别是采用主动呼吸肌训练法，尽管耗时较长且要求患者高度配合，但仍被证明有效[4] [5] [6] [7]。膈肌起搏技术作为一种针对膈肌的治疗手段，国外多使用体内膈肌起搏治疗，但体内植入手术风险高、创伤大。相比之下，国内多采用 EDP 疗法，并已取得积极成果，特别是在运用生理频率(40 Hz) EDP 改善脑卒中患者肺通气功能及膈肌结构方面[8] [9]。然而，不同频率的膈肌起搏效果各异，本次实验旨在探索复合频率 EDP 疗法对脑卒中患者呼吸功能疗效。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

选取 2022 年 12 月至 2023 年 10 月安徽医科大学第一附属医院康复医学科收治的脑卒中恢复期患者 45 例，采用抛硬币法分为 3 组，每组 15 例患者，分别为，① 复合频率 EDP 组；② 生理频率 EDP 组；③ 对照组。纳入标准：(1) 符合第四届全国脑血管病学术会议制定的脑卒中诊断标准[10]，经颅脑 CT 或 MRI 证实，且皆为首次发作；(2) 年龄 20~70 岁；(3) 病程 2~24 周；(4) 生命体征平稳；(5) 对本研究知情同意，并签署知情同意书。3 组患者的一般资料，包括性别、年龄、身高、体重、BMI、疾病类型、吸烟史、偏瘫程度 Brs (Brunnstrom 分期评定量表)等比较，差异均无统计学意义($P > 0.05$)，见表 1、表 2。

Table 1. Comparison of general data between three groups

表 1. 3 组患者一般资料比较

一般资料	生理频率 EDP 组(n = 15)	复合频率 EDP 组(n = 15)	对照组(n = 15)	统计量	P 值
年龄/岁	55.53 ± 10.58	55.73 ± 9.26	55.87 ± 9.11	0.005	0.995
性别(男/女)	12/3	11/4	12/3	0.257	0.879
吸烟史	6	4	6	0.776	0.678
身高/m	1.67 ± 0.07	1.68 ± 0.07	1.68 ± 0.07	0.100	0.905
体重/kg	67.20 ± 11.56	67.37 ± 11.34	69.47 ± 9.37	0.208	0.813
BMI/(kg/m ²)	23.90 ± 3.20	23.78 ± 3.02	24.46 ± 2.80	0.219	0.804
病程/d	61 (15, 70)	48 (33, 68)	32 (22, 108)	0.047	0.977
脑出血/脑梗死	5/10	7/8	5/10	0.756	0.685

Table 2. The degree of hemiplegia was compared among the three groups

表 2. 3 组患者偏瘫程度比较

	对照组(n = 15) I/II/III/IV/V/VI	生理 EDP 组(n = 15) I/II/III/IV/V/VI	复合 EDP 组(n = 15) I/II/III/IV/V/VI	统计量	P
上肢 BRS	5/3/1/2/3/1	5/1/7/0/2/0	3/5/5/1/1/0	12.590	0.248
手 BRS	7/2/1/3/2/0	5/7/1/0/1/1	6/4/4/1/0/0	13.756	0.184
下肢 BRS	0/2/5/6/2/0	0/3/9/0/3/0	0/1/8/5/1/0	8.818	0.184

2.2. 治疗方案

3 组均接受常规综合康复治疗,包括基本常规药物、脑卒中日常健康宣教、转移训练、偏瘫肢体运动训练、吞咽训练、语言治疗、作业治疗、中国传统治疗等。复合频率和生理频率 EDP 组分别在常规康复治疗的基础上增加不同频率的 EDP 治疗,本实验体外膈肌起搏器(EDP-S1)来源于中科泰科(广州)电子科技有限公司。所有治疗皆为 1 周 5 天,每天 1 次,总疗程共计 4 周。治疗过程中观测患者生命体征情况,若出现明显不适及时终止。

2.3. 评定方法

由不知分组情况的同一名康复医师在治疗前和治疗 4 周后对 3 组进行肺功能、膈肌功能和 Borg 呼吸困难指数评分测定。

2.3.1. 肺功能测定

3 组分别于治疗前、治疗 2 周后使用运动心肺测试系统(南京翰雅 Smax58ce)进行肺功能检测,包括第 1 秒用力呼气容积(forced expiratory volume in the first second, FEV1)、用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、FEV1/FVC (%)。测量时使用鼻夹,嘱患者尽可能咬住吹嘴。为预防患者操作不熟练导致的数据偏差,予以尝试 3 次后开始正式测试,记录正式测试后的 3 组数据,取其中的最大值。

2.3.2. 膈肌功能测定

3 组分别于治疗前、治疗 4 周后使用美国索诺声便携式彩超(M-Turbo)检测患者偏瘫侧深呼吸膈肌厚度(Diaphragmatic thickness, DT)、平静呼吸膈肌移动度(Diaphragmatic excursion of quiet breath, DE-QB)、深呼吸膈肌活动度(Diaphragmatic excursion of deep breath, DE-DB)。所有测量值均重复进行 3 次,取其平均值。

2.3.3. Borg 呼吸困难评分

采用 Borg 呼吸困难评分量表测定患者康复运动过程中抗疲劳的程度情况。Borg 呼吸困难评分量表共计 10 分,评分越高,运动时呼吸困难程度越严重,分别于治疗第 1 天和 4 周后最后 1 天的康复训练过程中评估 Borg 呼吸困难量表。

2.4. 统计学方法

本研究运用 SPSS 27.0 进行统计分析。对于满足正态分布的计量数据,采用均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,若各组治疗前后差值呈正态分布,采用配对样本 t 检验比较治疗前后的变化;若非正态分布,则使用 Wilcoxon 秩和检验。若三组数据均满足正态分布且方差齐性,首先进行单因素方差分析,然后借助 LSD 检验做组间详细两两比较。非正态分布的数据用中位数及四分位数间距表示,并通过 Kruskal-Wallis H 秩和检验进行 3 组间比较,若差异显著,进一步使用 Bonferroni 校正法调整两两比较时的显著性水平。计数资料比较则运用卡方检验。总体来说,当 P 值小于 0.05 时,认为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 肺功能

3.1.1. 3 组患者用力肺活量(FVC)

3 组患者入院时 FVC 数值基本一致,无统计学差异($P > 0.05$)。治疗 4 周后,3 组 FVC 数值均较前有一定程度的改善,差异具有统计学意义($P < 0.05$);其中两个 EDP 治疗组较对照组改善明显($P < 0.05$),而复合频率 EDP 组和生理频率 EDP 组之间无明显统计学差异($P > 0.05$),详见表 3。

Table 3. Changes of FVC values in the three groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$)**表 3.** 治疗前后 3 组患者 FVC 数值变化($\bar{x} \pm s$)

组别	治疗前 FVC (mL)	治疗后 FVC (mL)	统计量	P 值
对照组	2.57 ± 0.50	2.75 ± 0.40	-3.732	0.002
生理频率 EDP 组	2.63 ± 0.45	3.08 ± 0.46 ^a	-7.313	<0.001
复合频率 EDP 组	2.61 ± 0.46	3.11 ± 0.42 ^a	-12.160	<0.001
统计量	0.073	3.232	-	-
P 值	0.930	0.049	-	-

注: ^a表示和对照组比较 $P < 0.05$ 。

3.1.2.3 组患者第 1 秒用力呼气容积(FEV1)

3 组患者入院时 FEV1 数值基本一致, 无统计学差异($P > 0.05$)。治疗 4 周后, 3 组 FEV1 的数值较治疗前均显著提高($P < 0.001$), 其中两 EDP 治疗组较对照组改善明显($P < 0.05$), 而复合频率 EDP 组和生理频率 EDP 组之间无明显统计学差异($P > 0.05$), 详见表 4。

Table 4. Changes of FEV1 values in the three groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$) [$M(P25, P75)$]**表 4.** 治疗前后 3 组患者 FEV1 数值变化($\bar{x} \pm s$) [$M(P25, P75)$]

组别	治疗前 FEV1 (mL)	治疗后 FEV1 (mL)	统计量	P 值
对照组	2.08 ± 0.44	2.28 ± 0.38	-4.390	<0.001
生理频率 EDP 组	2.12 ± 0.56	2.63 ± 0.49 ^a	-7.388	<0.001
复合频率 EDP 组	2.11 ± 0.50	2.66 ± 0.47 ^a	-12.466	<0.001
统计量	0.028	3.321	-	-
P 值	0.972	0.046	-	-

注: ^a表示与对照组治疗后相比, $P < 0.05$ 。

3.1.3.3 组患者 FEV1/FVC (%)

入院时 3 组患者 FEV1/FVC(%)无统计学差异($P > 0.05$), 经过 4 周治疗后, 两个 EDP 组较治疗前有所改善, 差异具有统计学意义($P < 0.05$); 对照组较治疗前数值有所增高, 但差异无统计学意义($P > 0.05$), 且治疗后 3 组组间比较无明显差异($P > 0.05$), 详见表 5。

Table 5. Changes of FEV1/FVC(%) in the three groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$) [$M(P25, P75)$]**表 5.** 治疗前后 3 组患者 FEV1/FVC(%)数值变化($\bar{x} \pm s$) [$M(P25, P75)$]

组别	治疗前 FEV1/FVC (%)	治疗后 FEV1/FVC (%)	统计量	P 值
对照组	81.22 ± 6.06	82.84 ± 5.66	-1.768	0.099
生理频率 EDP 组	84.12 [65.40, 87.70]	84.89 ± 8.23	-3.952	0.001
复合频率 EDP 组	80.16 ± 6.63	87.09 [81.53, 88.51]	-3.408	<0.001
统计量	0.207	2.473	-	-
P 值	0.902	0.290	-	-

3.2. 膈肌

3.2.1. 平静呼吸膈肌移动度(DE-QB)

入院时 3 组患者 DE-QB 差异无统计学差异($P > 0.05$), 经过 4 周治疗后, 两个 EDP 组较治疗前有所改善, 差异具有统计学意义($P < 0.05$), 对照组较治疗前有所提高, 但无统计学差异($P > 0.05$), 同时治疗后 3 组组间比较亦无明显差异($P > 0.05$), 详见表 6。

Table 6. Changes of DE-QB values in the three groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$)

表 6. 治疗前后 3 组患者 DE-QB 数值变化($\bar{x} \pm s$)

组别	治疗前 DE-QB (cm)	治疗后 DE-QB (cm)	统计量	P 值
对照组	1.55 ± 0.20	1.62 ± 0.50	-1.854	0.064
生理频率 EDP 组	1.52 ± 0.20	1.63 ± 0.54	-6.295	<0.001
复合频率 EDP 组	1.54 ± 0.19	1.67 ± 0.36	-3.409	<0.001
统计量	0.148	0.324	-	-
P 值	0.863	0.725	-	-

3.2.2. 深呼吸膈肌移动度(DE-DB)

入院时 3 组深呼吸膈肌移动度(DE-DB)无统计学差异($P > 0.05$), 经过 4 周治疗后, 3 组数值均较前改善($P < 0.05$); 其中两 EDP 治疗组较对照组改善更为明显($P < 0.05$), 而两 EDP 组间比较无明显统计学意义($P > 0.05$), 详见表 7。

Table 7. Changes of DE-DB values in the three groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$)

表 7. 治疗前后 3 组患者 DE-DB 数值变化($\bar{x} \pm s$)

组别	治疗前 DE-DB (cm)	治疗后 DE-DB (cm)	统计量	P 值
对照组	4.22 ± 1.10	4.53 ± 0.86	-2.605	0.021
生理频率 EDP 组	4.18 ± 1.20	5.29 ± 0.97 ^a	-5.406	<0.001
复合频率 EDP 组	3.57[3.23,5.26]	5.24 ± 0.84 ^a	-5.861	<0.001
统计量	0.061	3.344	-	-
P 值	0.970	0.045	-	-

注: ^a表示与对照组治疗后相比, $P < 0.05$ 。

3.2.3. 深呼吸膈肌厚度(DT)

入院时 3 组深呼吸膈肌厚度(DT)无统计学差异($P > 0.05$), 经过 4 周治疗后, 3 组数值均较前改善($P < 0.05$); 其中两个 EDP 治疗组较对照组改善更为明显($P < 0.05$), 而两 EDP 组间比较无明显统计学意义($P > 0.05$), 详见表 8。

3.3. 抗疲劳能力(Borg 呼吸困评分)

入院时 3 组 Borg 呼吸困难评分无显著统计学差异($P > 0.05$), 经过 4 周治疗后, 3 组评分均较治疗前下降($P < 0.05$), 而治疗后 3 组组间比较差异性明显($P < 0.001$), 具体表现为两 EDP 组较对照组下降($P < 0.05$), 复合频率 EDP 组较生理 EDP 组下降($P < 0.05$), 详见表 9。

Table 8. Changes of DT values in the three groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$)**表 8.** 治疗前后 3 组患者 DT 数值变化($\bar{x} \pm s$)

组别	治疗前 DT (mm)	治疗后 DT (mm)	统计量	P 值
对照组	2.77 ± 0.50	3.03 ± 0.43	-2.950	0.003
生理频率 EDP 组	2.88 ± 0.50	3.39 ± 0.42 ^a	-9.564	<0.001
复合频率 EDP 组	2.79 ± 0.51	3.35 ± 0.38 ^a	-10.512	<0.001
统计量	0.207	3.392	-	-
P 值	0.814	0.043	-	-

注: ^a表示与对照组比较 $P < 0.05$ 。

Table 9. Changes of Borg scores in the three groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$)**表 9.** 治疗前后 3 组患者 Borg 评分数值变化($\bar{x} \pm s$)

组别	治疗前 Borg (分)	治疗后 Borg (分)	统计量	P 值
对照组	4.00 [4.00, 5.00]	4.00 [3.00, 4.00]	-2.919	0.004
生理频率 EDP 组	4.73 ± 1.22	3.00 [3.00, 4.00] ^a	-3.247	0.001
复合频率 EDP 组	5.00 [4.00, 5.00]	3.00 [2.00, 3.00] ^{b,c}	6.808	<0.001
统计量	0.181	18.270	-	-
P 值	0.913	<0.001	-	-

注: ^a表示与对照组比较 $P < 0.05$; ^b表示与对照组比较 $P < 0.001$; ^c表示与生理频率 EDP 组比较 $P < 0.05$ 。

4. 讨论

本研究发现, 接受 4 周 EDP 治疗后, 两组脑卒中患者在平静呼吸与深呼吸时的膈肌移动度(DE-QB 和 DE-DB)及深呼吸时膈肌厚度(DT)都有所改善。尤其是与对照组相比, 两组 EDP 治疗在 DE-DB 和深呼吸 DT 的改善上更加显著, 而两组 EDP 治疗间的效果差异不明显, 说明不论是生理频率 40 Hz 还是复合频率 10 + 40 Hz 的 EDP 疗法, 都能有效地增强脑卒中患者深呼吸膈肌活动幅度和厚度。这一结论与张会慧和张琪先前的研究相吻合[11] [12], 他们在脑卒中亚急性期和恢复期患者中应用体外膈肌起搏结合呼吸功能训练, 也证实了 EDP 治疗能够提升患者膈肌厚度并优化膈肌移动范围。其可能的机制如下, ① 膈肌纤维理论: 膈肌属于骨骼肌, 拥有骨骼肌相似的肌纤维组成。膈肌由 I 型慢缩纤维(抗疲劳强、收缩弱)和 II 型快缩纤维(IIa 和 IIb)构成。体外膈肌起搏法是通过体表刺激膈神经, 促使膈肌规律收缩。不同频率电刺激对膈肌纤维有不同的影响: 国内学者通过不同频率电刺激兔子的膈肌发现[13], 40 Hz 生理频率可保持肌纤维正常比例, 强化各类型纤维功能, 增加肌纤维厚度和横截面积, 提高肌力和耐力; 10 Hz 刺激促使 II 型快纤维转为 I 型慢纤维, 增强抗疲劳能力, 缩短恢复时间, 但牺牲部分肌力; 100 Hz 刺激促使 I 型慢纤维转为 IIb 型快纤维, 提高膈肌力量, 但抗疲劳能力减弱, 恢复时间延长; 而(10 + 40 Hz)复合刺激时, 各类膈肌纤维得以重新募集和转换, 如 IIb 型向 IIa 和 I 型转变, 实现膈肌肌力增强的同时增强了抗疲劳性能。② 神经传导理论: 人体吸气运动受大脑皮层和脑干呼吸中枢指挥, 通过神经电信号传递至膈神经和吸气肌, 触发膈肌等肌肉收缩进行吸气。相关研究指出[14], 脑卒中患者患侧膈神经的运动传导潜伏期变长且波幅下降, 揭示脑卒中可能造成偏瘫侧膈神经出现周围神经病变。鉴于卒中后患侧大脑皮层与膈神经之间的联系受损, 膈神经失去部分中枢支持, 易出现营养不良, 导致神经髓鞘及轴索的损伤。体外膈肌起搏治疗可通过电刺激膈神经以改善其传导效能、促进血液循环和营养物质传递, 从而有助于

缓解脑卒中后患者膈神经的继发性损伤。

本实验显示治疗 4 周后, 两 EDP 组较对照组 FEV1、FVC 显著提高, 两组间比较无明显差异。表明体外膈肌起搏治疗可以改善脑卒中恢复期患者的肺通气功能、增强膈肌的活动范围。具体机制可能如下:

① 脑卒中常因呼吸中枢受损导致呼吸模式异常, 如呼吸不规则、深度不一等[15]。EDP 通过电刺激膈神经, 双向调节呼吸过程, 助力患者重建生理呼吸模式[16]。② 膈肌作为关键呼吸肌, 对肺功能起核心作用, 其活动度直接影响通气量[17]。脑卒中患者长期卧床时, 膈肌萎缩速度远超其它骨骼肌, 达 8 倍之多[18]。尹爱梅等研究显示[19], 脑卒中患者深呼吸时膈肌活动能力大幅下降, 厚度和移动度减少, 尤其偏瘫侧更甚。体外膈肌起搏治疗可能通过电刺激膈神经以增强血供、促进蛋白质合成和改善营养状况, 同时调节膈肌中不同类型的肌纤维含量, 逆转肌纤维类型转换, 增强膈肌力量, 恢复膈肌围度。此外, 电刺激还能使膈肌规律收缩, 提高膈肌活动度, 扩增胸腔体积, 从而改善整体呼吸功能。③ 脑卒中后偏瘫引起的肌力减退和肌张力失调, 易致姿势控制障碍, 进而限制胸廓活动, 影响正常呼吸[20]。偏瘫侧肌肉无力会约束胸廓在呼吸循环中的扩展与回缩, 降低肺部有效通气量, 加剧呼吸功能问题。邵素霞等研究指出[21], 结合体外膈神经电刺激与常规康复手段, 能有效提升卒中患者躯干稳定性和矫正不良体位, 从而改善这一状况。④ 吞咽障碍是脑卒中常见临床症状之一, 发病过程中极易引起误吸, 诱发肺炎, 导致肺通气功能的异常。研究表明体外膈肌起搏治疗及呼吸功能训练对脑卒中后吞咽障碍疗效明显[22]。

本研究结果显示 EDP 治疗可以明显提高患者的运动中的抗疲劳能力, 且复合频率 EDP 治疗模式较生理频率 EDP 治疗模式在抗疲劳程度方面的改善更为有效。这与 3 组治疗后患者膈肌功能和肺功能的改善息息相关, 其中复合频率 EDP 治疗在重新募集增厚膈肌纤维的同时, 由于电刺激膈肌使得其肌纤维发生适应性的转变, 由 IIb 型强收缩易疲劳肌纤维转变成 I 型慢收缩抗疲劳纤维及 IIa 型强收缩抗疲劳肌纤维, 故而在拥有较强肌力的同时亦拥有更强的抗疲劳特性。

5. 结论

体外膈肌起搏治疗和常规康复训练可以改善脑卒中恢复期患者的肺功能、膈肌功能和抗疲劳能力。40 Hz 生理频率 EDP 治疗模式和 10 + 40 Hz 复合频率 EDP 模式在改善脑卒中患者肺功能和膈肌功能指标方面无显著差别, 但复合频率 EDP 治疗在脑卒中患者抗疲劳能力的改善方面较生理频率 EDP 模式更加显著。综上所述, 复合频率体外膈肌起搏治疗对脑卒中恢复期患者呼吸功能的改善具有更好的疗效, 是一种临床值得推广试用的新 EDP 模式。由于受患者住院时间的限制, 且治疗周期较长, 所受研究患者人员较少, 可能不能代表更广大的脑卒中群体, 且患者出院后由于终止治疗, 远期疗效不详, 希望未来可以继续此研究, 在增加大样本的情况下进一步了解复合频率体外膈肌起搏治疗对脑卒中恢复期患者呼吸功能的疗效。

参考文献

- [1] Roger, V.L., Go, A.S., Lloyd-Jones, D.M., *et al.* (2012) Heart Disease and Stroke Statistics—2012 Update: A Report from the American Heart Association. *Circulation*, **125**, e2-e220.
- [2] Miryutova, N.F., Vorobyev, V.A., Minchenko, N.N., *et al.* (2019) The Integral Estimation of Health Problems and Effectiveness of Stage Rehabilitation in Patients after Ischemic Stroke. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii, i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury*, **96**, 5-16. <https://doi.org/10.17116/kurort2019960615>
- [3] Li, R.C., Li, L. and Chen, Q.J. (2022) Effect of Respiratory Training Combined with Core Muscle Training on the Overall Motor Function and Activities of Daily Living of Patients with Early and Midterm Stroke. *Journal of Healthcare Engineering*, **2022**, Article ID: 2830711. <https://doi.org/10.1155/2022/2830711>
- [4] Zhang, Y.-S., *et al.* (2024) The Effects of Respiratory Muscle Training on Respiratory Function and Functional Capacity in Patients with Early Stroke: A Meta-Analysis. *European Review of Aging and Physical Activity*, **21**, 4. <https://doi.org/10.1186/s11556-024-00338-7>

- [5] Fabero-Garrido, R., *et al.* (2021) Respiratory Muscle Training Improves Exercise Tolerance and Respiratory Muscle Function/Structure Post-Stroke at Short Term: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, **65**, Article ID: 101596. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2021.101596>
- [6] 袁文蓉. 呼吸肌抗阻训练联合反馈式呼吸电刺激训练对脑卒中患者肺功能、呼吸肌肌力及膈肌功能的影响[D]: [硕士学位论文]. 承德: 承德医学院, 2023.
- [7] 杜俊涛. 不同强度的吸气肌训练对脑卒中患者肺功能及呼吸模式的影响[D]: [硕士学位论文]. 蚌埠: 蚌埠医学院, 2022.
- [8] 乔魏, 刘苏, 王莹, 等. 体外膈肌起搏治疗联合腹肌电刺激对脑卒中患者呼吸功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(1): 104-109.
- [9] 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气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.
- [10] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(9): 710-715.
- [11] 张会慧, 杨婷, 俞长君, 等. 体外膈肌起搏联合肺康复训练对脑卒中亚急性期患者肺功能和膈肌功能的影响[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2023, 26(9): 1146-1150.
- [12] 张琪, 刘欢, 高汉义, 等. 体外膈肌起搏联合呼吸训练对脑卒中恢复期患者呼吸肌的影响[J]. 潍坊医学院学报, 2023, 45(1): 37-40.
- [13] 邓永红, 李军梅, 刘刚. 低频复合生理频率慢性电刺激对肺气肿兔膈肌力学特性的影响[J]. 第三军医大学学报, 2008(6): 510-513.
- [14] 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.
- [15] Barnett, H.M., Davis, A.P. and Khot, S.P. (2022) Stroke and Breathing. In: *Handbook of Clinical Neurology*, Vol. 189, Elsevier, Amsterdam, 201-222. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91532-8.00016-1>
- [16] 曾娟利, 胡瑞成. 体外膈肌起搏的临床应用及研究进展[J]. 临床与病理杂志, 2017, 37(9): 1978-1984.
- [17] 叶洪青, 潘克勤. 慢性阻塞性肺疾病患者的康复医疗[J]. 中国康复医学杂志, 1997(5): 24-26.
- [18] De Troyer, A. and Boriek, A.M. (2011) Mechanics of the Respiratory Muscles. *Comprehensive Physiology*, **1**, 1273-1300. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100009>
- [19] 尹爱梅, 陆晓. 脑卒中患者膈肌功能及肺功能变化的临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(10): 1366-1371.
- [20] 钱琪, 龙诗琦, 吕海东, 等. 重复经颅磁刺激对脑卒中患者神经功能恢复及运动诱发电位的影响[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2022, 25(2): 207-211.
- [21] 邵素霞, 王传飞, 刘玲玲. 体外膈神经电刺激对脑卒中后肢体功能障碍患者膈肌功能、呼吸肌肌力、肺通气功能和躯干稳定性的影响价值研究[J]. 内科, 2023, 18(1): 45-48.
- [22] 贾慧敏. 体外膈肌起搏联合呼吸功能训练在脑卒中后吞咽障碍中的应用[J]. 广东医学, 2018, 39(S1): 56-58.