

基于功能性近红外光谱技术观察不同康复治疗方法对产后盆底功能障碍的影响

徐明月^{1,2}, 苏敏^{1,3,4*}, 李春光⁵, 祖晓彤¹, 祝宇飞⁵, 蔡丝妍¹, 张娟¹

1 苏州大学附属独墅湖医院, 江苏 苏州 215125;

2 连云港市福临康复医院, 江苏 连云港 222006;

3 苏州大学康复研究所, 江苏 苏州 215006;

4 苏州大学附属第一医院, 江苏 苏州 215006;

5 苏州大学机电工程学院, 江苏 苏州 215100

* 通信作者: 苏敏, E-mail: sumin@suda.edu.com

收稿日期: 2024-02-22; 接受日期: 2024-06-02

基金项目: 国家重点研发计划指导项目(2022YFC2009706)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.05009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 **目的** 采用功能性近红外光谱技术(fNIRS)观察不同治疗方法下氧合血红蛋白(HbO₂)的浓度变化与脑区激活的相关性,为产后盆底康复的临床研究提供客观评估指标和分析依据。**方法** 选取2023年1—6月在苏州大学附属独墅湖医院收治的产后盆底功能障碍疾病(PFD)的患者40例,用随机数字表法将其分为4组:纯凯格尔组、电刺激组、磁刺激组和电磁联合组,每组10例。纯凯格尔组,进行凯格尔训练,每次30 min,每周3次;电刺激组给予生物反馈电刺激治疗,每次20 min,频率5~50 Hz,每次治疗前后进行5 min凯格尔训练;磁刺激组给予盆底磁刺激治疗,每次20 min,每次治疗前后进行5 min凯格尔训练;电磁联合组给予电刺激和盆底磁刺激交替联合治疗,每次20 min,每次治疗前后进行5 min凯格尔训练。4组均治疗1个疗程10次。4组治疗前后均采用盆底解剖学指标评估盆底脱垂情况,肌电图评估盆底肌表面肌电值,同时利用fNIRS观察不同脑区HbO₂的浓度变化和脑区的激活情况。**结果** 治疗后,纯凯格尔组膀胱颈移动度较治疗前有所改善($P<0.05$),尿道旋转角、肛提肌裂口面积有一定程度改善($P<0.05$);电刺激组、磁刺激组、电磁联合组盆底解剖学指标较治疗前均有所改善($P<0.05$);进一步组间比较,电磁联合组治疗后改善幅度优于其他3组($P<0.05$)。治疗后,纯凯格尔组前静息状态下盆底肌表面肌电值较治疗前改善($P<0.05$),耐力收缩状态下较治疗前有改善($P<0.05$);电刺激组、磁刺激组、电磁联合组较治疗前前静息、快速收缩、紧张收缩、耐力收缩和后静息状态下盆底肌表面肌电值均有所改善($P<0.05$);进一步组间比较,磁刺激组对前静息、后静息状态下盆底肌表面肌电值改善幅度优于纯凯格尔组和电刺激组($P<0.05$);电磁联合组快速收缩、紧张收缩、耐力收缩状态下盆底肌表面肌电值改善幅度均优于其他3组($P<0.05$)。与组内治疗前比较,L-PMC区域电刺激组和磁刺激组治疗后HbO₂浓度增大($P<0.05$);L-PMC区域电磁联合组治疗后HbO₂浓度增大($P<0.05$);L-SMC区域磁刺激组治疗后HbO₂浓度增大($P<0.05$);电磁联合组治疗后网络效率增加($P<0.05$)。组间差值比较发现,与电刺激组比较,R-PMC区域磁刺激组HbO₂浓度差值更大($P<0.05$);与电刺激组比较,R-SMC区域电磁联合组HbO₂浓度差值更大($P<0.05$);与磁刺激组比较,电磁联合组网络效率差值增大($P<0.05$)。**结论** 电磁联合治疗方案强化了右半球的参与度,增强了多个脑功能区域之间的协同效率,更有利于增强盆底收缩力,减小盆底解剖学异常。临床上建议多采用电磁联合治疗,有助于运动区脑功能连接。**关键词** 盆底功能障碍,凯格尔训练,盆底磁刺激,生物反馈电刺激,功能性近红外光谱技术

引用格式: 徐明月, 苏敏, 李春光, 等. 基于功能性近红外光谱技术观察不同康复治疗方法对产后盆底功能障碍的影响[J]. 康复学报, 2024, 34(5): 490-499.

XU M Y, SU M, LI C G, et al. Effect of different rehabilitation treatment methods on patients with postpartum pelvic floor dysfunction based on fNIRS observation [J]. Rehabil Med, 2024, 34(5): 490-499.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2024.05009

©《康复学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 4.0 协议

© Rehabilitation Medicine, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

盆底功能障碍(pelvic floor dysfunction, PFD)又称为盆腔底部功能障碍或盆腔器官支持功能障碍^[1],是一种由于盆底器官的衰老或损伤导致的慢性疾病,会引发多种健康问题,如压迫性尿失禁、盆腔器官脱垂、性功能障碍等^[2-3]。特别是在孕期,由于胎儿的发育,子宫的体积会迅速扩大,使得盆底肌肉受到持续的挤压,肌肉纤维发生变化,肌肉紧张度也会降低。在生育过程中,产道的膨胀不仅会损害盆腔结构,而且会导致盆腔内部脏器的失衡,从而引发更多的健康困难^[4]。

据统计,我国成年女性PFD性疾病平均发病率为20%~40%,老年女性发病率高达40%~60%,随着二孩政策的放开,患者的数量也随之提高,产后6~8周是进行盆底康复的最佳时机^[5]。目前医学上多采用凯格尔训练^[6]、盆底生物反馈电刺激(bio-feedback electrical stimulation, BES)^[7]和盆底磁刺激(pelvic floor magnetic stimulation, PFMS)^[8]治疗PFD。研究表明,盆底康复训练能改善盆底肌肉功能,降低PFD发病率,但最佳训练方案仍未统一^[9]。

本研究比较目前临床常用的凯格尔训练、电刺激、磁刺激和电磁联合治疗方案的效果,同时采用盆底表面肌电Glazer评估盆底肌肉运动功能恢复进度。有研究表明前额叶的脑区激活程度与运动功能行为有着密切的关系,本研究利用功能性近红外光谱技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)监测脑氧合血红蛋白含量变化,构建脑功能

网络特征^[10],从而探讨比较不同治疗方案的治疗效果。通过治疗前后脑功能网络和Glazer评分的变化来评价治疗效果,为盆底康复患者提供合适的治疗方案。

1 临床资料

1.1 病例选择标准

1.1.1 纳入标准 ①符合第9版《妇产科学》^[11]中有关于PFD的诊断标准;②恶露干净,伤口已经完全愈合;③没有盆腔炎症或尿路感染;④没有安装心脏起搏器;⑤提供的资料完整度超过90%且遵从医嘱,并能够按照要求进行治疗;⑥具备正常的认知能力。

1.1.2 排除标准 ①阴道出血;②盆腔脏器肿瘤;③有引产史;④分娩时胎位异常、胎盘早剥;⑤精神类疾病;⑥严重心律失常;⑦认知功能障碍,无法完成医嘱并配合治疗。

1.2 一般资料

选取2023年1—6月在苏州大学附属独墅湖医院收治的符合纳排标准的产后PFD患者40例,使用随机数字表法将其分成4组:纯凯格尔组、电刺激组、磁刺激组、电磁联合组,每组10例。4组的平均年龄、孕次、产后时间、临床表现等一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。见表1。本研究获得苏州大学附属独墅湖医院伦理委员会批准(审批号:230072)。

表1 4组一般资料比较($\bar{x}\pm s$)

Table 1 Comparison of general data in four groups ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	平均年龄/岁	孕次/次	产后时间/月	临床表现			
					尿失禁/例	膀胱膨出/例	子宫脱垂/例	肌力 ≤ 3 /例
纯凯格尔组	10	26.5±4.6	1.4±0.7	7.1±3.0	2	3	1	4
电刺激组	10	27.3±5.9	1.5±0.7	7.3±2.9	3	2	1	3
磁刺激组	10	25.8±4.6	1.3±0.7	7.7±2.4	2	2	2	3
电磁联合组	10	26.4±5.0	1.6±0.7	7.5±2.8	3	3	2	5

2 方法

2.1 治疗方法

2.1.1 纯凯格尔组 患者平躺,弯曲双腿,指导其深呼吸放松,吸气的同时夹紧臀部和大腿,提肛,感受尿时突然夹断的感觉,训练时可自行调整体位为卧位、坐位或站位,保持正常呼吸和身体放松。盆底肌收缩并保持5 s,放松10 s,反复训练30 min,1周3次,10次为1个疗程。

2.1.2 电刺激组 使用生物反馈电刺激仪S480型(南京伟思医疗)进行生物电反馈治疗,患者仰卧位

(约120°),双腿伸直放松,防止闭孔内肌收缩,将电极插入阴道,唤醒、激活盆底肌,调节电流强度。以患者不感觉疼痛的上限为宜,每次增加1%~5%,设定频率10~50 Hz,患者根据治疗仪反馈的信息主动交替收缩和放松盆底肌肉。根据患者敏感程度,在每次治疗前设定强度、脉宽和频率。训练前,评估患者盆底肌力水平。待患者恶露排净后,将治疗仪探头置于阴道内3~4 cm处。每次治疗前后增加5 min凯格尔训练,生物反馈电刺激治疗20 min,单次治疗共30 min,每周3次,10次为1个疗程。

2.1.3 磁刺激组 采用伟思磁刺激仪Magneuro100F,

患者排尿后,坐在磁刺激治疗椅上,打开治疗系统,根据患者的评估情况和体感耐受程度调节强度。治疗强度根据患者的最大耐受强度调整,若有晕磁现象则暂时停止,恢复后减小剂量并观察。频率为10~50 Hz,每次治疗前后增加5 min凯格尔训练,磁刺激治疗20 min,单次治疗共30 min,每周3次,10次为1个疗程。

2.1.4 电磁联合组 患者电刺激和磁刺激联合训练。一次为PFMS,下一次为生物反馈电刺激,每次进行交替治疗的方案,每次治疗时长20 min,每次治疗前后增加5 min凯格尔训练,单次治疗共30 min,每周3次,10次为1个疗程。

2.2 评定方法

本研究采用干预前后对照方法,治疗前后分别进行盆底解剖学评估和盆底表面肌电Glazer评估。另每组在干预前和干预后均采用fNIRS进行脑功能检测,观察不同脑区氧合血红蛋白(oxyhemoglobin, HbO₂)的浓度变化和脑区的激活情况。

2.2.1 盆底解剖学评估

Valsalva动作是一项常用的评估工具,用于评估盆底功能。按照规范,患者清空二便后,先置于截石位,随即开始Valsalva操作,经耦合剂消毒后,置探头于会阴部,此时,对膀胱颈的运动、尿道的旋转及肛提肌裂孔的形状等情况做出准确的评估^[12],

这一过程检查由同一名超声医师完成。一般来说,当处于Valsalva状态时,膀胱颈下降距离应<25 mm,尿道旋转角在30°~40°范围内,肛提肌裂孔面积不应超过20 cm²。

2.2.2 盆底肌表面肌电评估

采用盆底表面肌电Glazer评估对4组治疗前后盆底肌肉活动功能进行评估^[13]。包括5个阶段:前静息(运动前盆底肌张力)、快速收缩(快速收缩最大肌电值)、紧张收缩(慢肌收缩力量和快慢肌协调能力)、耐力收缩(慢肌耐力收缩平均肌电值)、后静息(运动后盆底肌张力)。参考值,静息:2~4 μV;快肌:36~45 μV;慢肌:25~35 μV。

2.2.3 fNIRS评估

2.2.3.1 fNIRS任务及治疗流程 所有患者在第1次和第10次治疗前后及治疗中应用近红外设备同步检测大脑血氧信息。在进行测试之前,应当向被试者说明测试内容,要求被试者具备正常的认知能力,并且清楚地理解测试过程,休息5 min后开始测试。整个任务过程中,需考虑瞬时效应和长期效应以及运动态和稳定态在大脑的相关链接是否能保持稳定一致。因此,治疗前后分别休息5 min,为所产生的效应进行横、纵向对比提供良好的数据支持。见图1。

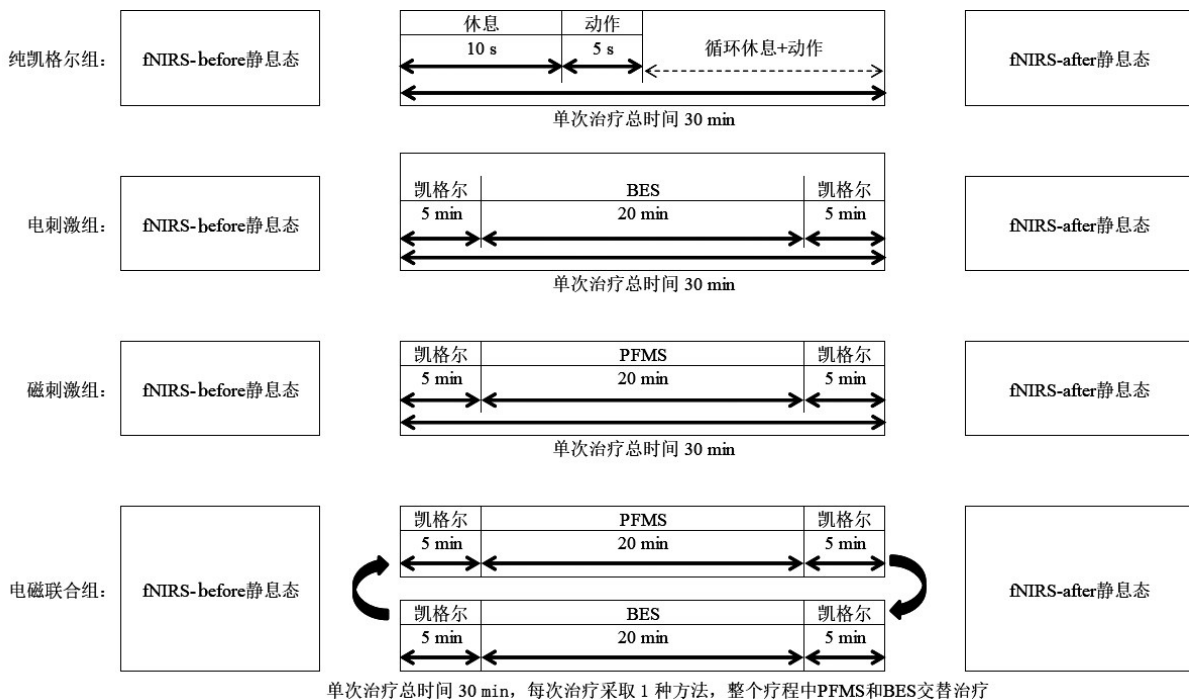
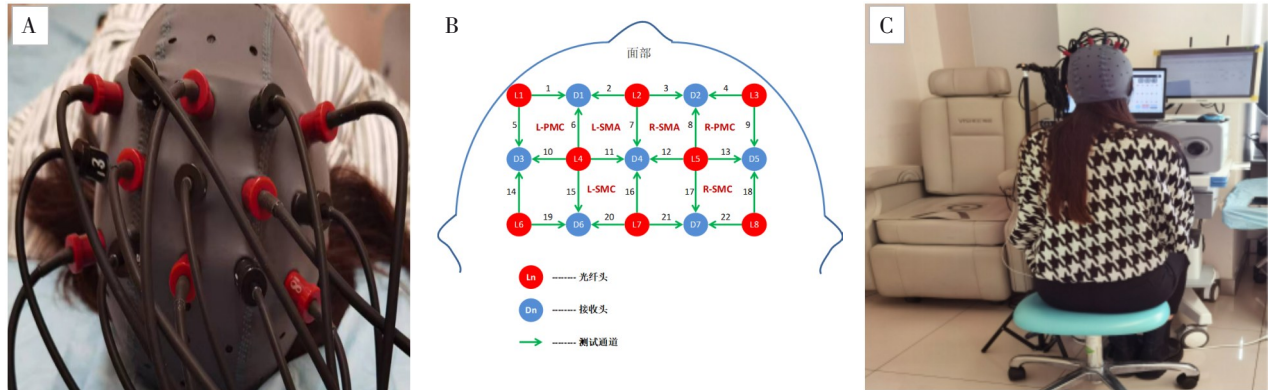


图1 患者进行fNIRS测试的具体流程

Figure 1 Specific process of fNIRS testing for patients

2.2.3.2 fNIRS测试仪器及探头布局 实验采用多通道fNIRS系统(佰睿昕智能科技有限公司,型号:H01B,采样频率为10 Hz),使用785 nm和830 nm的连续波形式记录大脑皮层的活动。光纤帽由8个光

源和7个探测器(红色是光源发射端,蓝色是探头接收端),间隔3 cm,采样周期为0.13 s,选用3×5探头布局的头套戴在被试者身上,戴前先闭眼,避免近红外光刺激眼睛。见图2。



注:A表示探头布局;B表示测试用通道各ROI区覆盖情况;C表示患者磁疗前采集近红外。

Note: A represents the probe layout; B represents the coverage of each ROI area of the test channel; C represents the near-infrared acquisition of the patient before magnetic therapy.

图2 fNIRS测试示意图

Figure 2 Schematic diagram of fNIRS test

光源发出光线透过头皮、头骨,被皮质内的HbO₂和HbR吸收,剩余光线被探测器接收。光源和探头形成一个通道。参考布罗德曼分区(BrodMann areas),半脑有52个功能区域^[14]。研究显示,感兴趣区(region of interest, ROI)^[15-18]包括前运动皮质(pre-motor cortex, PMC)、辅助运动区(supplementary motor cortex, SMA)以及感觉运动区(sensorimotor cortex, SMC)。经过连接光源和探测器的检验,本研究共检验了20个通路:PMC(左侧通道为1、5、6、10,右侧通道为4、8、9、13),SMA(左侧通道为2、11,右侧通道为3、12),SMC(左侧通道为14、15、19、20,右侧通道为17、18、21、22)^[19]。所有区域都与运动功能相关,在认知处理和运动控制中起重要作用。

2.2.3.3 fNIRS数据处理 通过近红外脑功能成像系统(佰睿昕智能科技有限公司)进行数据预处理与分析:① 辨别和去除运动伪影;② 基于卡尔曼滤波器的0.01~0.1 Hz带通滤波;③ 基于熵权平均法计算感兴趣区域的氧合血红蛋白浓度;④ 计算任务态下ROI脑区之间的皮尔森相关系数,并基于脑区相关系数构建邻接矩阵,基于邻接矩阵计算网络效率。

2.3 样本量计算

根据既往研究,纯凯格尔组、电刺激组、磁刺激组、磁电联合组治疗后快肌收缩最大值的均值分别

为24.00、32.19、32.88、37.36 μV ,标准差为5.72 μV ,使用95%的检验功效和 $\alpha=0.05$ 进行单因素ANOVA分析(G*Power 3.1.9.4软件),则每组至少需要8名女性^[20]。考虑到20%的脱落率,共需40名女性参与实验。

2.4 统计学方法

采用SPSS 26.0软件分析数据。计量资料符合正态分布采用($\bar{x}\pm s$)表示,组内比较采用配对样本 t 检验对数据进行比较,组间比较采用单因素方差分析,若方差齐,两两比较采用LSD- t 法;计量资料不服从正态分布采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,组内治疗前后比较采用配对秩和检验,组间比较采用秩和检验。 $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

3 结果

3.1 4组治疗前后盆底解剖学指标比较

治疗前,4组盆底解剖学指标膀胱颈移动度、尿道旋转角和肛提肌裂口面积比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,纯凯格尔组膀胱颈移动度较治疗前改善($P<0.05$),尿道旋转角、肛提肌裂口面积改善($P<0.05$);电刺激组、磁刺激组、电磁联合组盆底解剖学指标较治疗前有一定改善($P<0.05$);进一步组间比较,电磁联合组改善幅度优于其他3组($P<0.05$)。见表2。

表2 4组治疗前后盆底解剖学指标比较($\bar{x}\pm s$)

Table 2 Comparison of pelvic floor anatomical indexes in four groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	膀胱颈移动度/mm			尿道旋转角/ $^{\circ}$		
		治疗前	治疗后	差值	治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	26.60 \pm 7.89	25.80 \pm 7.13 ¹⁾	0.80 \pm 0.92	64.90 \pm 21.06	62.30 \pm 20.43 ¹⁾	2.60 \pm 0.97
电刺激组	10	26.68 \pm 7.52	24.58 \pm 7.72 ¹⁾	2.10 \pm 1.20	61.20 \pm 15.70	56.20 \pm 16.00 ¹⁾	5.00 \pm 2.40
磁刺激组	10	24.10 \pm 4.46	21.20 \pm 5.51 ¹⁾	2.90 \pm 1.52	59.30 \pm 15.87	52.30 \pm 16.03 ¹⁾	7.00 \pm 1.94
电磁联合组	10	29.46 \pm 5.65	24.70 \pm 5.79 ¹⁾	4.76 \pm 1.52 ²⁾³⁾⁴⁾	73.60 \pm 11.76	61.10 \pm 12.54 ¹⁾	12.50 \pm 2.22 ²⁾³⁾⁴⁾

组别	例数	肛提肌裂口面积/ mm^2		
		治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	21.59 \pm 3.12	20.61 \pm 2.69 ¹⁾	0.98 \pm 0.69
电刺激组	10	21.12 \pm 3.97	19.11 \pm 4.11 ¹⁾	2.01 \pm 0.85
磁刺激组	10	18.57 \pm 2.17	16.16 \pm 1.79 ¹⁾	2.41 \pm 0.96
电磁联合组	10	21.70 \pm 4.62	18.30 \pm 3.82 ¹⁾	3.40 \pm 1.51 ²⁾³⁾⁴⁾

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与纯凯格尔组比较,2) $P<0.05$;与电刺激组比较,3) $P<0.05$;与磁刺激组比较,4) $P<0.05$ 。

Note: Compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the pure Kegel group, 2) $P<0.05$; compared with the electrical stimulation group, 3) $P<0.05$; compared with the magnetic stimulation group, 4) $P<0.05$.

3.2 4组治疗前后盆底肌电评估比较

治疗前,4组盆底肌电评估前静息、快速收缩、紧张收缩、耐力收缩和后静息状态下盆底肌表面肌电值比较,差异无统计学意义($P>0.05$);治疗后,纯凯格尔组前静息状态下盆底肌表面肌电值较治疗前改善($P<0.05$),耐力收缩状态下盆底肌表面肌电值较治疗前有改善($P<0.05$),电刺激组、磁刺激组、电磁联合组较治疗前的前静息、快速收缩、紧张收

缩、耐力收缩和后静息状态下盆底肌表面肌电值均有改善($P<0.05$);进一步组间对比,磁刺激组对前静息、后静息状态下盆底肌表面肌电值改善幅度优于纯凯格尔组、电刺激组($P<0.05$),与电磁联合组比较差异无统计学意义($P>0.05$),但改善幅度值高于电磁联合组;电磁联合组对快速收缩、紧张收缩、耐力收缩状态下盆底肌表面肌电值治疗改善幅度优于其他3组($P<0.05$)。见表3。

表3 4组治疗前后盆底肌表面肌电值比较($\bar{x}\pm s$)/[$M(P_{25}, P_{75})$]

Table 3 Comparison of pelvic floor muscle surface electromyography values in four groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)/[$M(P_{25}, P_{75})$]

组别	例数	前静息			快速收缩		
		治疗前	治疗后	差值	治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	7.45 \pm 2.77	7.01 \pm 2.52 ¹⁾	0.44 \pm 0.38	30.05 \pm 5.84	30.62 \pm 6.10	0.82(-0.22, 1.45)
电刺激组	10	8.14 \pm 3.51	6.00 \pm 2.74 ¹⁾	2.14 \pm 1.10	30.48 \pm 5.75	39.62 \pm 6.59 ¹⁾	9.14 \pm 2.85
磁刺激组	10	8.54 \pm 2.81	4.17 \pm 1.29 ¹⁾	4.37 \pm 2.38 ²⁾³⁾	31.83 \pm 4.32	36.10 \pm 3.93 ¹⁾	4.26 \pm 1.66
电磁联合组	10	8.69 \pm 1.42	5.56 \pm 1.46 ¹⁾	3.13 \pm 0.71	31.52 \pm 7.13	44.11 \pm 5.30 ¹⁾	12.6 \pm 2.87 ²⁾³⁾⁴⁾

组别	例数	紧张收缩			耐力收缩		
		治疗前	治疗后	差值	治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	22.94 \pm 3.47	24.21 \pm 2.46	1.55(-1.42, 3.22)	18.73 \pm 2.23	19.80 \pm 2.30 ¹⁾	1.00(-0.13, 2.35)
电刺激组	10	22.35 \pm 4.79	32.91 \pm 5.50 ¹⁾	10.56 \pm 4.76	18.38 \pm 4.55	26.60 \pm 2.84 ¹⁾	8.21 \pm 3.54
磁刺激组	10	22.20 \pm 2.77	27.59 \pm 4.02 ¹⁾	5.40 \pm 2.46	18.30 \pm 3.40	23.28 \pm 2.83 ¹⁾	4.98 \pm 2.43
电磁联合组	10	22.96 \pm 5.21	37.37 \pm 4.02 ¹⁾	14.40 \pm 4.86 ²⁾³⁾⁴⁾	16.54 \pm 4.31	29.89 \pm 1.94 ¹⁾	13.36 \pm 3.25 ²⁾³⁾⁴⁾

组别	例数	后静息		
		治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	7.34 \pm 3.20	6.82 \pm 3.44	0.32(-0.04, 0.89)
电刺激组	10	8.14 \pm 3.46	5.98 \pm 2.65 ¹⁾	2.15 \pm 1.11
磁刺激组	10	8.13 \pm 2.98	4.08 \pm 0.64 ¹⁾	4.05 \pm 2.92 ²⁾³⁾
电磁联合组	10	8.82 \pm 1.08	5.39 \pm 1.17 ¹⁾	3.44 \pm 0.75

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与纯凯格尔组比较,2) $P<0.05$;与电刺激组比较,3) $P<0.05$;与磁刺激组比较,4) $P<0.05$ 。

Note: Compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the pure Kegel group, 2) $P<0.05$; compared with the electrical stimulation group, 3) $P<0.05$; compared with the magnetic stimulation group, 4) $P<0.05$.

3.3 fNIRS检测结果

与组内治疗前比较,L-PMC区域电刺激组和磁刺激组治疗后HbO₂浓度增大($P<0.05$);L-PMC区域电磁联合组治疗后HbO₂血氧浓度增大($P<0.05$);L-SMC区域磁刺激组治疗后HbO₂血氧浓度增大($P<0.05$);电磁联合组治疗后网络效率增加

($P<0.05$)。组间差值比较发现,与电刺激组比较,R-PMC区域磁刺激组HbO₂浓度差值更大($P<0.05$);与电刺激组比较,R-SMC区域电磁联合组HbO₂血氧浓度差值更大($P<0.05$);与磁刺激组比较,电磁联合组网络效率差值增大($P<0.05$)。见表4、表5、图3、图4。

表4 4组治疗前后各ROI区HbO₂浓度变化($\bar{x}\pm s$)/[$M(P_{25},P_{75})$]

mmol/L*mm

Table 4 Changes of HbO₂ in each ROI region in four groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)/[$M(P_{25},P_{75})$]

mmol/L*mm

组别	例数	L-PMC		
		治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	0.003(-0.003,0.035)	0.011(-0.006,0.032)	-0.001(-0.012,0.013)
电刺激组	10	0.007(0.004,0.011)	0.011(0.006,0.027) ¹⁾	0.004(-0.001,0.018)
磁刺激组	10	0.005(0.002,0.008)	0.006(0.003,0.032) ¹⁾	0.002(-0.002,0.031)
电磁联合组	10	0.004(0.002,0.01)	0.007(0.002,0.024) ¹⁾	0.003(-0.003,0.011)
组别	例数	SMA		
		治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	0.010(0.001,0.02)	0.018(-0.001,0.039)	0.0001(-0.009,0.021)
电刺激组	10	0.014(0.007,0.025)	0.011(0.006,0.021)	-0.002(-0.011,0.008)
磁刺激组	10	0.005(0.004,0.009)	0.007(0.005,0.032)	0.002(-0.003,0.015)
电磁联合组	10	0.006(0.002,0.014)	0.007(0.002,0.013)	0.000(-0.007,0.008)
组别	例数	R-PMC		
		治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	0.021(0.006,0.039)	0.022(0.001,0.037)	-0.001(-0.017,0.025)
电刺激组	10	0.012(0.005,0.033)	0.013(0.006,0.035)	-0.000(-0.006,0.015)
磁刺激组	10	0.006(0.003,0.016)	0.010(0.004,0.039)	0.004(-0.001,0.013) ²⁾
电磁联合组	10	0.003(0.002,0.008)	0.009(0.003,0.027)	0.001(-0.002,0.009)
组别	例数	L-SMC		
		治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	0.010(0.004,0.025)	0.013(-0.004,0.033)	0.000(-0.015,0.022)
电刺激组	10	0.012(0.006,0.031)	0.007(0.004,0.039)	-0.000(-0.011,0.008)
磁刺激组	10	0.010(0.006,0.015)	0.011(0.008,0.025) ¹⁾	0.003(-0.004,0.011)
电磁联合组	10	0.005(0.002,0.017)	0.008(0.005,0.025)	0.002(-0.007,0.007)
组别	例数	R-SMC		
		治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	0.014(-0.001,0.034)	0.009(-0.004,0.032)	-0.007(-0.020,0.011)
电刺激组	10	0.016(0.007,0.042)	0.013(0.007,0.026)	-0.003(-0.029,0.01)
磁刺激组	10	0.012(0.004,0.024)	0.018(0.007,0.033)	0.005(-0.006,0.016)
电磁联合组	10	0.007(0.004,0.013)	0.018(0.004,0.050) ¹⁾	0.005(-0.001,0.020) ²⁾

注:与组内治疗前比较,1) $P<0.05$;与电刺激组比较,2) $P<0.05$ 。

Note: Compared with before treatment within the group, 1) $P<0.05$; compared with the electrical stimulation group, 2) $P<0.05$.

表5 4组治疗前后的脑功能网络参数($\bar{x}\pm s$)/[$M(P_{25},P_{75})$]

Table 5 Brain function network parameters in four groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)/[$M(P_{25},P_{75})$]

组别	例数	治疗前	治疗后	差值
纯凯格尔组	10	0.306±0.126	0.307±0.139	0.017(-0.090,0.106)
电刺激组	10	0.289±0.152	0.339±0.156	-0.003(-0.114,0.171)
磁刺激组	10	0.315±0.121	0.280±0.171	-0.045(-0.191,0.172)
电磁联合组	10	0.245±0.133	0.333±0.148 ¹⁾	0.092(-0.082,0.268) ²⁾

注:与组内治疗前比较,1) $P<0.05$;与磁刺激组比较,2) $P<0.05$ 。

Note: Compared with before treatment within the group, 1) $P<0.05$; Compared with the magnetic stimulation group, 2) $P<0.05$.

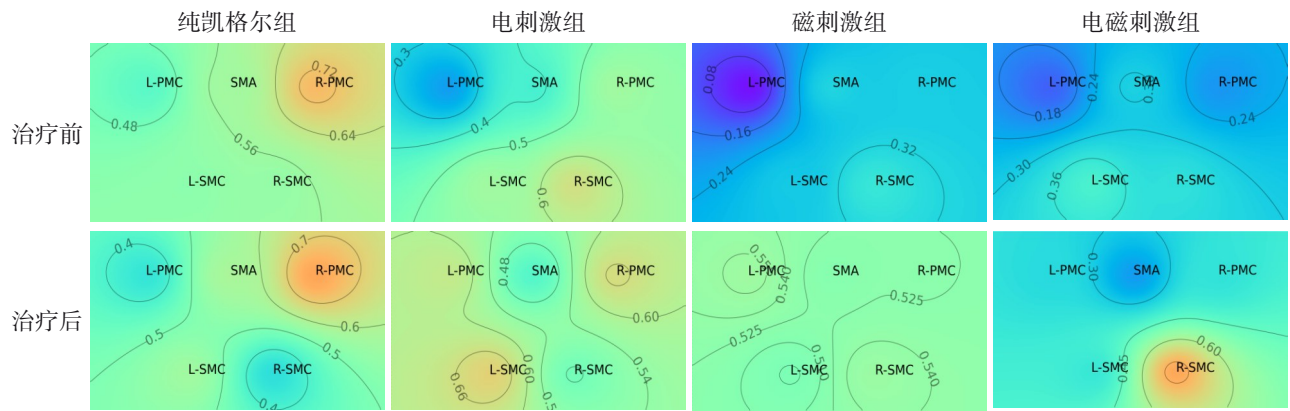


图3 4组治疗前后各ROI区HbO₂、HbR血氧浓度变化直观示意图

Figure 3 Schematic diagram of the changes of blood oxygen concentration in each ROI region HbO₂ and HbR in four groups before and after treatment

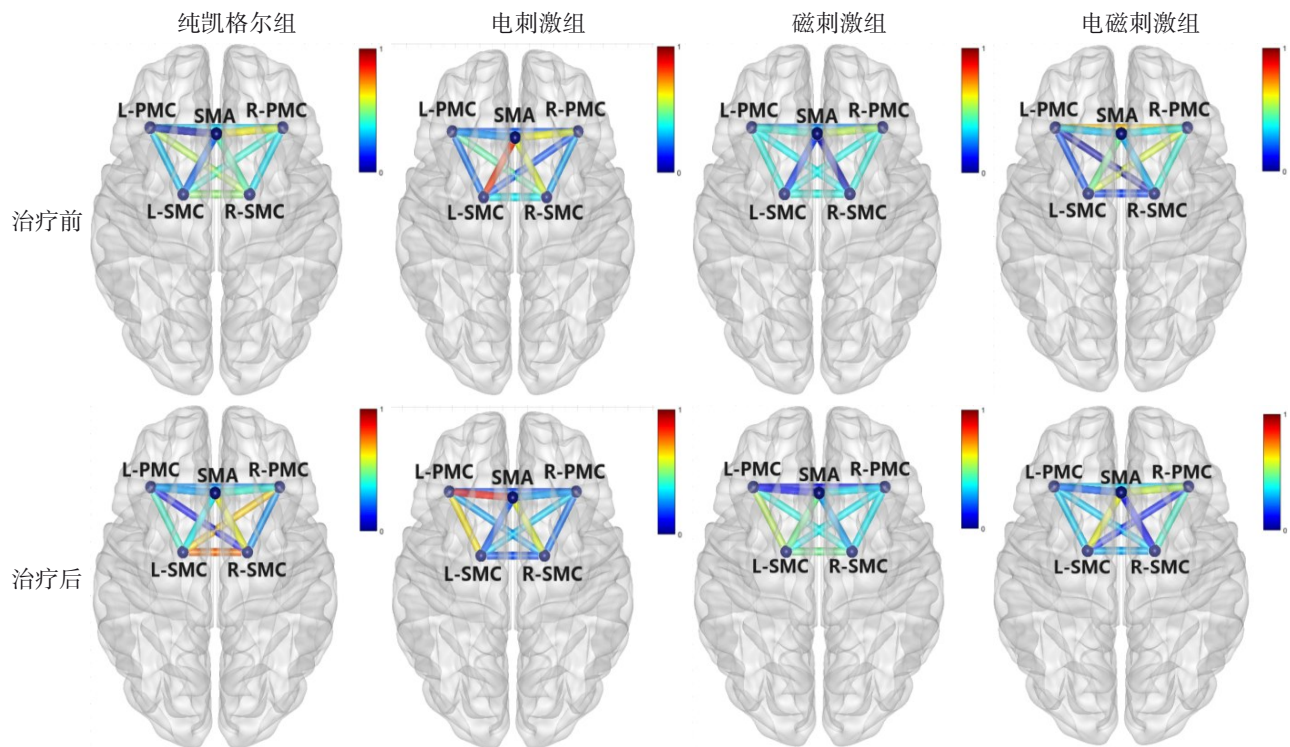


图4 不同治疗手段下任务态对应的脑功能网络

Figure 4 Brain function network corresponding to task states under different treatment methods

4 讨论

目前,盆底功能性障碍的治疗方式主要包括康复治疗、药物治疗以及手术治疗。其中康复治疗适用于大部分患者,费用较低,无创且无后遗症,易被患者接受。盆底康复治疗的方法多样,主要有凯格尔训练,无须受限于任何时间、任何地点,并获得了国内外学术界的肯定;电刺激则能有效改善盆底肌弹性和协调性,是目前产后康复使用最多的方

法^[21-22];磁刺激是一种新兴的治疗方法,利用磁场产生感应电场,刺激神经产生兴奋,从而增强盆底肌肉收缩和血液循环,改善盆底肌力不协调,以其无痛、无创、非入侵性的特性而受到关注^[23]。

本研究结果显示,在原有的凯格尔、电刺激或者磁刺激的单一治疗基础上,电磁联合刺激能更有效地改善盆底解剖指标和盆底肌力指标,治疗效果明显高于其他3组。当患者主动自觉收缩盆

底肌肉时,电刺激可明显提高肌肉兴奋性,完成盆底肌肉收缩,并向中枢神经系统传递大量运动感觉信息,有利于机体重新感知盆底肌肉运动,正确控制肌肉和运动功能,增强盆底肌的感知觉,增加感觉传入,帮助协调性失调的患者产生节奏性收缩、舒张和神经调节的作用^[24];在生物反馈电刺激的基础上,加入磁刺激,能够充分刺激盆底深部神经肌肉组织,产生感应电流,将神经动作传递至远端,同时促使部分细胞去极化引发组织兴奋,被动提高肌力,强化盆底及外周肌肉,从而达到强化功能恢复的治疗行为,使盆底疾病的复发率远远低于电刺激^[25];盆底康复采用电磁联合的方式,更有利于产生协同效应,让患者获得更好的疗效,从而提高生活质量。

fNIRS是用近红外光大脑入射光和出射光光强的变化,来分析血氧信息。具有成本低,灵敏度高,时间分辨率高,高电磁场兼容,环境影响小,可与经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)、脑电图(electroencephalogram, EEG)、功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)等同步检测,适用人群广泛,便携,检测灵活等优点^[26-27]。利用fNIRS检测到的血氧信息,获得相应脑区域的神经兴奋程度,构建脑网络,已成为临床研究热点之一。

大脑是由不同脑区组成的网络,每个脑区有其相应的任务和功能,神经影像学研究发现,人类高级认知功能的关键脑区是前额叶皮层,SMC区域参与人的运动。近年来,由于脑功能研究的不断开展,脑功能网络连接逐渐为人所知,通过分析脑功能网络的特点,脑皮质区域之间神经生理活动的相关性,分析研究其康复效果,取得了一定进展。本研究fNIRS的成像发现,电刺激组、磁刺激组、电磁联合组治疗下的脑区激活显著高于纯凯格尔组治疗下的脑区激活,其中电磁联合组治疗下脑区激活显著高于磁刺激组和电刺激组的脑区激活。磁刺激组、电磁联合组均能不同程度地增强脑功能连接,提高盆底肌兴奋性。电磁联合组对右半球作用更强,尤其是R-SMC区域,功能区之间的协作效率增量最大,R-SMC和L-PMC连接增强尤为显著。

fNIRS应用于产后康复治疗的相关研究尚处在初级阶段,使用时仍有些缺点,比如脑区和探头匹配度不精确、容易产生的运动和生理伪影,因此fNIRS系统仍需进一步优化,需要应用更先进的技术和算法扩大fNIRS系统的应用场景,提高fNIRS综合性能。本研究存在不足之处:①病例量相对较

少,未细分盆底疾患的种类,后期将增大样本量和临床试验;②尚未进行后期随访,无法确定疗效维持时间,尚需进一步增加随访观察;③未深入探讨作用机制,如何将fNIRS作为产后康复治疗的评估工具,怎样合理地改善治疗方法,今后将进行深入细致的研究。

综上所述,本研究发现fNIRS可用于评估盆底肌康复状态,有利于学习治疗方案的作用机制。还发现电磁联合治疗方案强化了右半球的参与度,平衡左右半球在盆底肌收缩过程中的参与程度,增强了多个脑功能区域之间的协同效率,治疗后的短期作用疗效可用于指导治疗方案的选择与调整,电磁联合治疗增强了多个脑功能区域之间的协同效率,减小较长路径的依赖,更有利于增强盆底收缩力,减小盆底解剖学异常,两者结合成为攻克PFD的有力武器。

参考文献

- [1] OKEAHIALAM N A, DWORZYNSKI K, JACKLIN P, et al. Prevention and non-surgical management of pelvic floor dysfunction: summary of NICE guidance [J]. *BMJ*, 2022, 376: n3049.
- [2] 王建宁, 吴丽萍. 盆底功能障碍性疾病患者盆底肌训练依从性评估的研究进展[J]. *护理学杂志*, 2023, 38(21): 16-20.
WANG J N, WU L P. Research progress on assessment of pelvic floor muscle training adherence in patients with pelvic floor dysfunction [J]. *J Nurs Sci*, 2023, 38(21): 16-20.
- [3] 叶俊彤, 李梦熊, 费慧, 等. 女性盆底功能障碍与性功能障碍的关系[J]. *实用医学杂志*, 2021, 37(17): 2204-2209.
YE J T, LI M X, FEI H, et al. Analysis of the relationship between pelvic floor dysfunction and female sexual dysfunction [J]. *J Pract Med*, 2021, 37(17): 2204-2209.
- [4] 侯晓, 李霞, 孙群, 等. 女性盆底功能障碍性疾病诊治流程及物理康复技术临床应用: 定义、流行病学、发病机制及物理康复技术概要[J]. *生殖医学杂志*, 2024, 33(3): 277-282.
HOU X, LI X, SUN Q, et al. Diagnosis and treatment process of female pelvic floor dysfunction and clinical application of physical rehabilitation technology: definition, epidemiology, pathogenesis and physical rehabilitation technology [J]. *J Reprod Med*, 2024, 33(3): 277-282.
- [5] BØ K. Pelvic floor muscle training in treatment of female stress urinary incontinence, pelvic organ prolapse and sexual dysfunction [J]. *World J Urol*, 2012, 30(4): 437-443.
- [6] 汪婕, 张银雪, 任旭. 格林健康教育联合凯格尔盆底康复训练对产妇产后盆底功能及预后的影响[J]. *护理研究*, 2022, 36(6): 1110-1113.
WANG J, ZHANG Y X, REN X. Effects of Green health education combined with Kegel pelvic floor rehabilitation training on postpartum pelvic floor function and prognosis of maternity [J]. *Chin Nurs Res*, 2022, 36(6): 1110-1113.
- [7] 陈儒新, 王珊珊, 任晓爽, 等. 再生育对女性盆底肌力的影响及产后生物反馈电刺激治疗盆底肌力恢复观察[J]. *临床和实验医学杂志*, 2023, 22(24): 2648-2652.

- CHEN R X, WANG S S, REN X S, et al. Impact of reproductive function on female pelvic floor muscle strength and observation on the recovery of pelvic floor muscle strength through postpartum biofeedback electrical stimulation therapy [J]. *J Clin Exp Med*, 2023, 22(24): 2648-2652.
- [8] 曹燕, 傅琦博, 司俊文, 等. 非侵入式盆底肌康复治疗对产后盆底功能恢复的影响[J]. *上海护理*, 2019, 19(7): 31-33.
- CAO Y, FU Q B, SI J W, et al. Effect of non-invasive pelvic floor muscle rehabilitation therapy on postpartum pelvic floor function recovery [J]. *Shanghai Nurs*, 2019, 19(7): 31-33.
- [9] 贺杰, 吕小娟, 刘睿, 等. 188例女性盆底功能筛查结果分析[J]. *中国妇幼保健*, 2024, 39(5): 854-858.
- HE J, LYU X J, LIU R, et al. Analysis of screening results of pelvic floor function in 188 women [J]. *Matern Child Health Care China*, 2024, 39(5): 854-858.
- [10] 赵佳. 基于静息态fNIRS的执行功能神经相关性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016: 2-4.
- ZHAO J. Study on neural correlation of executive function based on resting fNIRS [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016: 2-4.
- [11] 谢幸, 孔北华, 段涛. 妇产科学[M]. 9版. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 278-279.
- XIE X, KONG B H, DUAN T. *Obstetrics and gynecology* [M]. 9th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018: 278-279.
- [12] 张新玲. 实用盆底超声诊断学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2019: 3-4.
- ZHANG X L. *Practical ultrasonic diagnosis of pelvic floor* [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2019: 3-4.
- [13] 吕小娟, 唐佳松, 张晓杰, 等. 1 600例经阴道分娩产妇产后盆底肌电检测分析[J]. *中国妇幼保健*, 2019, 34(4): 735-737.
- LYU X J, TANG J S, ZHANG X J, et al. Analysis of postpartum pelvic floor electromyography in 1 600 cases of vaginal delivery [J]. *Matern Child Health Care China*, 2019, 34(4): 735-737.
- [14] 近红外脑功能成像临床应用专家共识编写组. 近红外脑功能成像临床应用专家共识[J]. *中国老年保健医学*, 2021, 19(2): 3-9.
- Expert consensus writing group on clinical application of near infrared functional brain imaging. Expert consensus on clinical application of near infrared functional brain imaging [J]. *Chin J Geriatr Care*, 2021, 19(2): 3-9.
- [15] STRANGMAN G, CULVER J P, THOMPSON J H, et al. A quantitative comparison of simultaneous BOLD fMRI and NIRS recordings during functional brain activation [J]. *Neuroimage*, 2002, 17(2): 719-731.
- [16] 黄雯, 李军. 利用多模态光学脑成像研究前额叶静息态功能连接[J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 49(4): 11-15.
- HUANG W, LI J. Using multimodal optical brain imaging to investigate resting-state functional connectivity in frontal cortex [J]. *J South China Norm Univ Nat Sci Ed*, 2017, 49(4): 11-15.
- [17] DUAN L, ZHANG Y J, ZHU C Z. Quantitative comparison of resting-state functional connectivity derived from fNIRS and fMRI: a simultaneous recording study [J]. *Neuroimage*, 2012, 60(4): 2008-2018.
- [18] KATO H, IZUMIYAMA M, KOIZUMI H, et al. Near-infrared spectroscopic topography as a tool to monitor motor reorganization after hemiparetic stroke: a comparison with functional MRI [J]. *Stroke*, 2002, 33(8): 2032-2036.
- [19] 苏敏, 韩立影, 杨卫新, 等. 经颅磁刺激在脑卒中患者上肢功能康复疗效评估中的应用[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016, 38(3): 175-179.
- SU M, HAN L Y, YANG W X, et al. Transcranial magnetic stimulation for monitoring the rehabilitation of upper-extremity function after stroke [J]. *Chin J Phys Med Rehabil*, 2016, 38(3): 175-179.
- [20] 朱瑞森. 磁电刺激联合治疗女性产后压力性尿失禁的疗效分析[D]. 青岛: 青岛大学, 2023: 18.
- ZHU R S. Analysis of curative effect of magnetolectric stimulation combined with treatment on female postpartum stress urinary incontinence [D]. Qingdao: Qingdao University, 2023: 18.
- [21] 邵彤华. 妊娠期盆底肌肉锻炼联合产后生物反馈电刺激对盆底功能的影响[J]. *中国妇幼保健*, 2017, 32(8): 1798-1801.
- SHAO T H. Effect of pelvic floor muscle exercise during pregnancy combined with postpartum biofeedback electrical stimulation on pelvic floor function [J]. *Matern Child Health Care China*, 2017, 32(8): 1798-1801.
- [22] 郑伟, 李翥. 盆底功能障碍性疾病护理及相关生物力学研究: 评《盆底功能障碍性疾病诊治与康复·康复分册》[J]. *世界中医药*, 2023, 18(4): 595.
- ZHENG W, LI F. Nursing care of pelvic floor dysfunction diseases and related biomechanical research: comment on "diagnosis, treatment and rehabilitation of pelvic floor dysfunction diseases" [J]. *World Chin Med*, 2023, 18(4): 595.
- [23] 王雪莲, 杜国华, 王亚楠. 盆底磁刺激联合电刺激治疗女性压力性尿失禁疗效及对盆底肌张力的影响[J]. *中国妇产科临床杂志*, 2023, 24(1): 87-88.
- WANG X L, DU G H, WANG Y N. Effect of pelvic floor magnetic stimulation combined with electrical stimulation on female stress urinary incontinence and its influence on pelvic floor muscle tension [J]. *Chin J Clin Obstet Gynecol*, 2023, 24(1): 87-88.
- [24] 王晓玉, 罗新. 盆底功能障碍的生物反馈治疗和电刺激治疗[J]. *中国实用妇科与产科杂志*, 2006, 22(7): 559-560.
- WANG X Y, LUO X. Biofeedback therapy and electrical stimulation therapy for pelvic floor dysfunction [J]. *Chin J Pract Gynecol Obstet*, 2006, 22(7): 559-560.
- [25] 吕小娟, 唐佳松, 张琳, 等. 盆底磁刺激治疗产后盆腔器官脱垂的疗效观察[J]. *中国妇幼保健*, 2019, 34(23): 5532-5534.
- LYU X J, TANG J S, ZHANG L, et al. Observation on the therapeutic effect of pelvic floor magnetic stimulation on postpartum pelvic organ prolapse [J]. *Matern Child Health Care China*, 2019, 34(23): 5532-5534.
- [26] CAREY J R, KIMBERLEY T J, LEWIS S M, et al. Analysis of fMRI and finger tracking training in subjects with chronic stroke [J]. *Brain*, 2002, 125(Pt 4): 773-788.
- [27] PINTI, TACHTSIDIS I, HAMILTON A, et al. The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience [J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2020, 1464(1): 5-29.
- [28] 赵佳. 基于fNIRS的脑功能连接研究综述[J]. *北京生物医学工程*, 2015, 34(6): 633-638, 656.
- ZHAO J. Review of functional brain connectivity studies based

- on the fNIRS [J]. Beijing Biomed Eng, 2015, 34(6): 633-638, 656.
- [29] 任克, 汪待发, 刘松柏, 等. 近红外脑功能成像技术(fNIRS)在应激障碍治疗中的研究进展[J]. 中华卫生应急电子杂志, 2020, 6(6): 369-371.
- REN K, WANG D F, LIU S B, et al. Research progress of near infrared functional brain imaging (fNIRS) in treatment of stress disorder [J]. Chin J Hyg Rescue Electron Ed, 2020, 6(6): 369-371.
- [30] 王海芳, 徐敏杰, 李颖, 等. 脑卒中领域功能性近红外光谱技术研究的可视化分析[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(12): 1405-1419.
- WANG H F, XU M J, LI Y, et al. Application of functional near-infrared spectroscopy in stroke: a visualized analysis [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2023, 29(12): 1405-1419.

Effect of Different Rehabilitation Treatment Methods on Patients with Postpartum Pelvic Floor Dysfunction Based on fNIRS Observation

XU Mingyue^{1,2}, SU Min^{1,3,4*}, LI Chunguang⁵, ZU Xiaotong¹, ZHU Yufei⁵, CAI Siyan¹, ZHANG Juan¹

¹ Dushu Lake Hospital Affiliated to Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215125, China;

² Lianyungang Fulin Rehabilitation Hospital, Lianyungang, Jiangsu 222006, China;

³ Soochow University Rehabilitation Research Institute, Suzhou, Jiangsu 215006, China;

⁴ The First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215006, China;

⁵ Mechanical and Electrical Engineering College of Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215100, China

*Correspondence: SU Min, E-mail: sumin@suda.edu.com

ABSTRACT Objective To observe the correlation between oxyhemoglobin (HbO₂) concentration changes and brain region activation under different treatment methods using functional near-infrared (fNIRS), providing objective evaluation indicators and analysis basis for the clinical research of postpartum pelvic floor rehabilitation. **Methods** A total of 40 patients with postpartum pelvic floor dysfunction (PFD) treated at Dushu Lake Hospital Affiliated to Soochow University from January to June 2023 were selected and randomly divided into 4 groups: pure Kegel group, electrical stimulation group, magnetic stimulation group, and electromagnetic combination group, with 10 cases in each group. The pure Kegel group performed Kegel training for 30 minutes each time, 3 times a week; the electrical stimulation group received biofeedback electrical stimulation for 20 minutes each time, with a frequency of 5-50 Hz, and 5 minutes of Kegel training before and after each treatment; the magnetic stimulation group received pelvic floor magnetic stimulation for 20 minutes each time, and 5 minutes of Kegel training before and after each treatment; the electromagnetic combination group received alternating electrical stimulation and pelvic floor magnetic stimulation treatment for 20 minutes each time, and 5 minutes of Kegel training before and after each treatment. All four groups were treated for one course of 10 sessions. Before and after treatment, pelvic floor prolapse was assessed by pelvic floor anatomy indicators, surface electromyographic values of the pelvic floor muscles were assessed by EMG, and HbO₂ concentration changes and activation in different brain regions were observed using fNIRS. **Results** After treatment, the mobility of bladder neck in the pure Kegel group improved compared with that before treatment ($P < 0.05$), and the urethral rotation angle and levator ani fissure area improved to some extent ($P < 0.05$). The electrical stimulation, magnetic stimulation and electromagnetic combination groups all showed improvements in pelvic floor anatomical indicators compared with those before treatment ($P < 0.05$), and further inter-group comparison showed that the improvement in the electromagnetic combination group after treatment was significantly better than the other three groups ($P < 0.05$). After treatment, the surface electromyography values of pelvic floor muscle in the pure Kegel group showed significant improvement in pre-resting potential ($P < 0.05$) and the endurance contraction ($P < 0.05$) compared to those before treatment. The pre and post resting potentials, and flick, tonic and endurance contractions the surface electromyography values of pelvic floor muscle in the electrical stimulation, magnetic stimulation and electromagnetic combination groups all improved ($P < 0.05$). Further inter-group comparison showed that the the surface electromyography values of pelvic floor muscle in magnetic stimulation group showed better improvements in pre-rest and post-rest stages than the pure Kegel group and the electrical stimulation group ($P < 0.05$). The improvement of flick contraction, tonic contraction and endurance contraction the surface electromyography values of pelvic floor muscle in the electromagnetic combination group was better than that in the other three groups ($P < 0.05$). Compared with that before treatment, the oxygen concentration of HbO₂ in L-PMC regional electrical stimulation group and magnetic stimulation group increased after treatment ($P < 0.05$). After treatment, the oxygen concentration of HbO₂ in L-PMC regional electromagnetic combination group increased ($P < 0.05$). The oxygen concentration of HbO₂ in the L-SMC regional magnetic stimulation group increased after treatment ($P < 0.05$). After treatment, the network efficiency of the electromagnetic combination group increased ($P < 0.05$). Compared with the electrical stimulation group, the difference of HbO₂ blood oxygen concentration in the R-PMC regional magnetic stimulation group was larger ($P < 0.01$). Compared with the electrical stimulation group, the difference of HbO₂ blood oxygen concentration in the R-SMC regional electromagnetic combination group was larger ($P < 0.05$). Compared with the magnetic stimulation group, the difference of network efficiency in the electromagnetic combination group increased ($P < 0.05$). **Conclusion** The electromagnetic combination treatment regimen strengthens the involvement of the right hemisphere, enhances the synergistic efficiency between multiple functional brain regions, and is more conducive to enhancing pelvic floor contractility and reducing pelvic floor anatomical abnormalities. Clinically, it is recommended to use electromagnetic stimulation treatment more often, which contributes to the brain functional connectivity in the motor area.

KEY WORDS pelvic floor disorders; Kegel training; pelvic floor magnetic stimulation; biofeedback electrical stimulation; functional near infrared spectroscopy

DOI:10.3724/SP.J.1329.2024.05009