

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.08.011

磁诱导对脑卒中患者运动康复的影响研究*

周鹏¹ 刘静¹ 王春方² 孙畅¹ 王学民¹ 杜金刚² 明东¹

(1. 天津大学精密仪器与光电子工程学院 天津 300072; 2. 天津市人民医院康复医学科 天津 300121)

摘要:探索了磁诱导对脑卒中患者运动康复的影响,设计了磁场诱导大脑自发脑电的实验方法,通过极低频(16 Hz)、低强度(20 mT)脉冲磁场作用于8位脑卒中患者的患侧脑区,同时采集静息状态下的脑电信号并对数据进行分析,利用Jebsen-Taylor手功能测试(JTT)和结合简化Fugl-Meyer运动功能评定量表和改良的Barthel指数评定量表评定康复效果。实验结果显示,磁诱导后量表评分显著升高,脑电高频段能量在运动皮层处有所增加。研究表明,磁诱导技术对脑卒中病人的康复有积极影响,可与传统康复疗法相结合在神经康复中起到辅助作用。

关键词: 脑卒中;磁诱导;运动康复;脑电

中图分类号: R743.3;R454.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Effect of magnetic induction on motion rehabilitation of stroke patient

Zhou Peng¹ Liu Jing¹ Wang Chunfang² Sun Chang¹ Wang Xuemin¹ Du Jingang² Ming Dong¹

(1. College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. Rehabilitation Medical Department, Tianjin Peoples Hospital, Tianjin 300121, China)

Abstract: This paper explores the effects of magnetic induction on motion rehabilitation in stroke patients. The extreme low frequency (16 Hz) and low intensity (20 mT) pulsed magnetic field was applied on the affected brain side of 8 stroke patients. The magnetic field-induced electroencephalography (EEG) signals in resting state were collected and analyzed. The Jebsen-Taylor hand function test (JTT) behavioral parameters combined with the simplified Fugl-Meyer motion function and the modified Barthel index rating scales were utilized to evaluate the rehabilitation effect. The experimental results show that after magnetic induction, the scores of the rating scales were significantly increased and the power of the high frequency rhythm increased upon the motion cortex. The study shows that the magnetic induction technique has positive effect on the rehabilitation of the stroke patient and could be combined with the traditional rehabilitation therapy to assist the neural rehabilitation.

Keywords: stroke; magnetic induction; motion rehabilitation; EEG

0 引言

脑卒中是成人运动障碍的主要原因。在未来几十年内,全球由脑卒中引发的残疾率将会增长,这将对家庭、医疗保健系统、经济带来极大负担^[1]。有效的神经康复手段是治疗脑卒中后残疾的关键。磁诱导技术是一种基于脉冲磁场的、无接触电极、能够穿入组织内部影响脑电

活动的物理疗法。利用磁场技术治疗疾病,国内外已有很长历史。

脑缺血性脑卒中患者的早期,脑电(EEG)有明显改变。对于脑梗死患者,梗死区已死亡的脑细胞无电活动,而周围的受损组织则产生异常电活动。EEG在目前已有研究中,是对脑力活动变化最敏感的生理信号之一^[2],能敏感检测缺血性脑卒中的神经元异常电活动^[3]。对脑缺血患者的早期诊断和病情的变化有重要的参考价值。

收稿日期:2017-04 Received Date: 2017-04

* 基金项目:国家自然科学基金(51377120,51007063,31271062)资助项目

近年来,研究者们将视线转移到极低频脉冲磁场对机体的生物效应上。Wei 等人^[4]用 0 ~ 10.5 mT、50 Hz 的脉冲磁场作用脑缺血大鼠,每次作用时间 20 min, 7 次/d,发现大鼠脑梗死面积缩小明显,神经损伤症状改善,且大脑皮质胰岛素样生长因子 IGF-1 表达增多,表明极低频脉冲磁场对大鼠的缺血性脑损伤有缓解作用。Zhang 等人^[5]对脑缺血再灌注损伤大鼠采用脉冲磁场的频率为 10 Hz,强度为 20 mT,连续 4 d,40 min/d,刺激期间进行脑电图监测,结果显示脑电图频率显著增加,海马神经元数增加,他认为低频脉冲磁场对脑缺血再灌注大鼠的神经元损伤有保护作用。Ghione 等人^[6]发现,处在强度 80 μ T 的电磁场环境中的健康被试比处在 40 μ T 的电磁场环境中的健康被试的 Alpha 电活动有所增强。2010 年,Leone 等人^[7]发现暴露在 50 Hz、1 mT 的极低频磁场环境 30 d 的 C57BL/6 鼠的免疫荧光实验表明,大约一半新生成的未成熟神经细胞存活。电生理实验表明,新成熟的神经元影响海马突触可塑性,极低频脉冲磁场可以促进海马神经生长,这为可再生医学提供新的治疗方向。

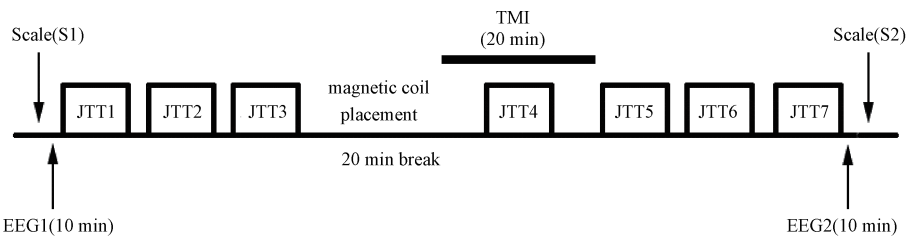
目前针对脑卒中病人的康复仍以传统疗法(包括运动疗法、作业疗法等)为基础,随着科学技术的进步,经颅磁刺激、电刺激、康复机器人等新兴疗法给脑卒中的康复发挥了很大助力。2013 年,Sera 等人^[8]分别用高频 rTMS 组(10 Hz 作用于患侧脑区)、低频 rTMS(1 Hz 作用于健侧脑区)、对照组(不施加 rTMS)作用于脑卒中患者,并完成一个连续 5 d 的疗程方案。结果显示在握力和敲击频率方面,两个刺激组均有显著提高,并且高频兴奋刺激对于患侧脑区的的效果要好于低频抑制刺激对健侧脑区的的效果。Hara 等人^[9]的研究显示,功能性电刺激诱导的肌肉收缩与拾取的肌电信号成比例。脑卒中病人患侧肢

体的活动范围、改良的 Ashworth 评分等指标在电刺激后均有显著改善。Lo 等人^[10]发现机器人辅助治疗和常规疗法治疗对比试验中,治疗机器人辅助治疗患者的平均 Fugl-Meyer 评分优于接受常规治疗的患者。在 Mehrholz 等人^[11]调研的结果是中风后接受机电和机器人辅助手臂训练患者,能够更大程度地改善他们的日常生活能力。本研究通过对脑卒中患者的量表和行为学分析以及脑电信号的特征分析,来探究使用极低频脉冲磁场仪对脑卒中患者运动障碍前后的治疗效果,探索一种有效安全的治疗手段。

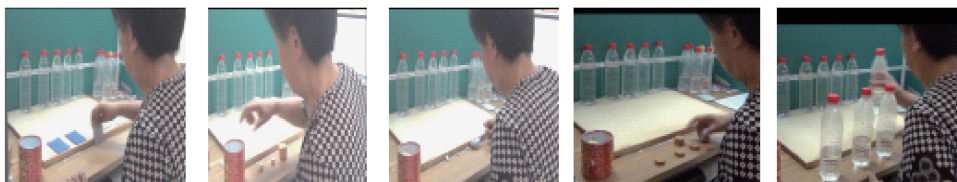
1 磁诱导康复实验设计

实验被试者包括 8 名缺血性脑卒中患者,左侧脑区为患侧区,右侧肢体障碍。磁诱导区域覆盖患侧脑区的左前额叶皮质和运动皮质。所有患者的脑卒中发生在半年内。每位病人都填写了实验知情同意书,被试者均由天津市南开大学人民医院康复科提供。要求脑卒中患者在实验期间无酗酒、吸烟、药物依赖等现象,不佩戴金属类首饰、无植入心脏起搏器、关节骨骼中无金属固定部件。实验环境安静无外界干扰。采用盐水电极,遵循国际标准 10-20 导联系统放置。

本实验采取改良的 Jebsen-Taylor 手功能测试(JTT)作为反映日常活动的功能性手运动技能评估测试工具^[12]。本文中 JTT 包含 6 项精细动作,并在实验前后分别辅以简化 Fugl-Meyer 运动功能评定量表、改良 Bathel 指数评定量表评价量表用于反映受试者机体、生活状态,实验过程中采集脑电信号。JTT 实验过程如图 1 所示,其中图 1(a)所示整个实验流程,图 1(b)所示为 JTT 示意图。



(a) 整个实验流程
(a) Whole process of the experiment



(b) Jebsen-Taylor手功能测试
(b) Jebsen-Taylor hand function test

图 1 JTT 实验过程

Fig. 1 Process of JTT experiment

所有病人在正式实验前,熟悉 JTT,如图 1(b)所示,通过连续进行 10 次 JTT 操作训练,以期达到熟练的状态,过程中记录每次 JTT 操作所需时间。6 项动作分别为翻转 5 张卡片,手拾 6 个小物体到容器里,用勺拾豆子到容器里,将 5 个棋子堆起,移动轻瓶子(半瓶水),移动重瓶子(一瓶水)。实验中要求被试以最快的速度完成每项操作。

经过 JTT 训练后,开始正式实验,实验流程如图 1(a)所示,共需做 7 组 JTT。首先,采集 10 min 静息脑电数据,采集静息脑电时,要求病人闭眼,清醒。采集完脑电数据后,做 3 组 JTT(JTT1 ~ JTT3,用于基线确定)。然后让被试 20 min 休息,此期间将磁线圈放置于要诱导的区域,固定好。接着进行 20 min 的磁诱导。当磁诱导进行到 10 min 时,病人做第 4 次 JTT(JTT4)。磁诱导后,再进行 3 组 JTT(JTT5 ~ JTT7),最后再采集 10 min 静息脑电数据。本天实验结束。每位被试连续 5 d 实验,磁诱导参数设置为频率 16 Hz、强度 20 mT。在第 1 天诱导前和第 5 天诱导后均进行一次量表评定。整个实验流程如图 2 所示。

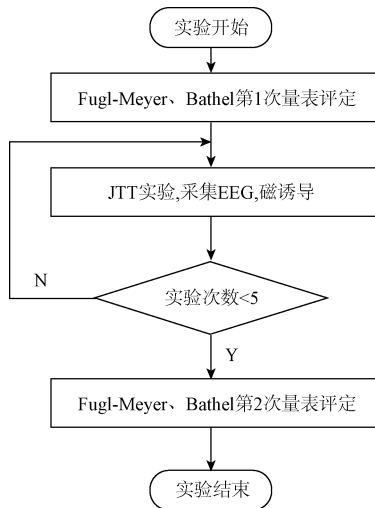


图 2 整个实验流程

Fig. 2 Block diagram of whole experiment procedure

2 量表与行为学分析

2.1 量表分析

用简化的 Fugl-Meyer 运动功能评价量表对磁诱导前、后脑卒中患者的运动功能情况进行评价。用改良的 Bathel 指数评定量表反映被试在治疗前、后的日常生活能力的改善情况。通过对量表得分做均值,从表 1、2 中可以看出,4 名被试在磁诱导治疗后,Fugl-Meyer 量表中上肢平均得分、总分均值、改良的 Barthel 量表的平均得

分均显著提高,表明经过磁诱导治疗后脑卒中患者改善了患侧上肢、下肢运动情况,而且生活自理水平能力也得到了提高。

表 1 Fugl-Meyer 量表评分均值 (** P < 0.01)

Table 1 Average scores of Fugl-Meyer rating scale

	诱导状态	均值	标准差	P 值
上肢评分	诱导前	55.625 0	5.829 42	
	诱导后	61.625 0	2.774 24	0.004 **
上肢和下肢总分	诱导前	82.571 4	8.343 80	
	诱导后	90.8571	4.91354	0.007 **

表 2 Barthel 量表评分均值 (** P < 0.01)

Table 2 Average scores of Barthel rating scale

	均值	标准差	P 值
诱导前	62.500 0	23.299 29	
诱导后	73.125 0	21.536 93	0.006 **

2.2 行为学分析

如图 3 所示所有被试经过 10 次 JTT 练习均达到一个较稳定的熟练状态。将所有被试磁诱导前、中、后的 JTT 时间分别求平均。结果如图 4 和表 3 所示。诱导中

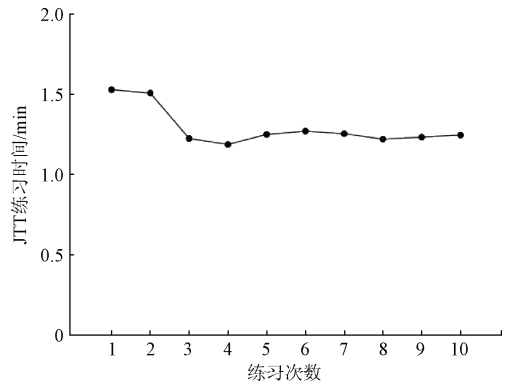


图 3 10 次 JTT 时间平均结果

Fig. 3 Average results of 10 times JTT time

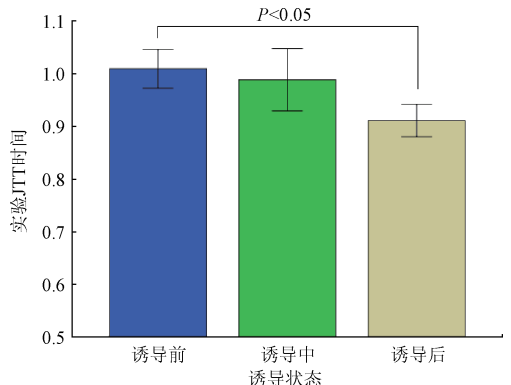


图 4 诱导前、中、后 JTT 总时间均值

Fig. 4 JTT time mean before, during and after induction

的 JTT 时间与诱导前相比有下降趋势,但不明显,且从图 4 中发现不具有显著性变化($P=0.215 > 0.05$)。而诱导后 JTT 时间下降较明显,且跟诱导前相比,有显著性变化,这说明磁诱导对手功能的恢复有效果。

的时间在磁诱导前、后均随天数变化呈现明显下降趋势。

3 EEG 信号分析

EEG 的相对功率是指脑电信号各频段与总功率的比值。Finnigan 等人^[13]的研究表明,脑缺血脑卒中患者相比于正常人左前额叶 Delta 频段功率谱偏高; Nuwer 等人^[14]发现,脑卒中患者 Delta 频段功率谱大幅提高,全脑范围的 Alpha 频段都有降低;希望得到的结果是 Delta 频段功率谱减低,Alpha 频段功率谱提高,同时,因为磁诱导频率采用的是 16 Hz,根据 Wang 等人^[15]提出的磁诱导大脑谐振效应理论,大脑的自发节律可以被磁诱导调控,因此,Beta 频段(12~30 Hz)功率谱应该受到磁场影响,也有提高。

对所有被试每天磁诱导前、后的脑电信号进行平均,以观察每天诱导前后脑电信号相对功率的变化,处理结果如图 7 所示。从图 7 中可以看出,第 1 天,在两侧颞叶顶叶处(C3、T3、C4 导联),Theta 频段、Alpha 频段以及

表 3 诱导前、中、后 JTT 总时间均值 (** $P < 0.01$)

Table 3 JTT time mean before, during and after induction

	均值	标准差	P 值
诱导前	1.009 1	0.284 9	
诱导中	0.988 4	0.260 5	0.215
诱导后	0.910 7	0.239 1	0.000 **

将磁诱导前所有被试的 JTT 时间按天数分别求平均,作为诱导中、诱导后的参考基线对比标准。如图 5 所示,随着磁诱导天数的增加,JTT 时间整体呈现下降趋势,表明被试完成任务的时间缩短。在每一天的磁诱导前、后 JTT 时间均下降了,说明磁诱导后病人的手功能也是有所改善的。而第 2、3 天诱导中的 JTT 时间超过了诱导前,分析原因,这可能是由于被试带着电极帽做 JTT 动作导致行动不便,延长了 JTT 时间,也有可能是因为病人还没有完成从静息状态到运动状态的过渡,因此剔除诱导中的 JTT 时间,如图 6 所示,直观地反映出手功能测试

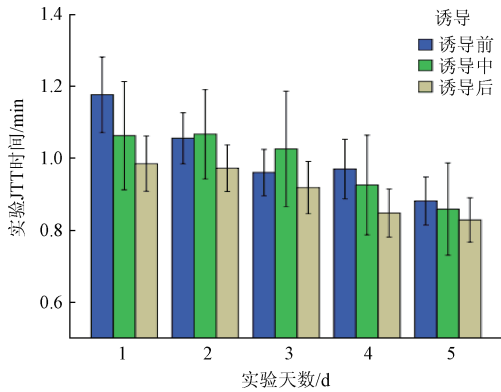


图 5 诱导前、中、后 JTT 时间均值

Fig. 5 JTT time mean before, during and after induction

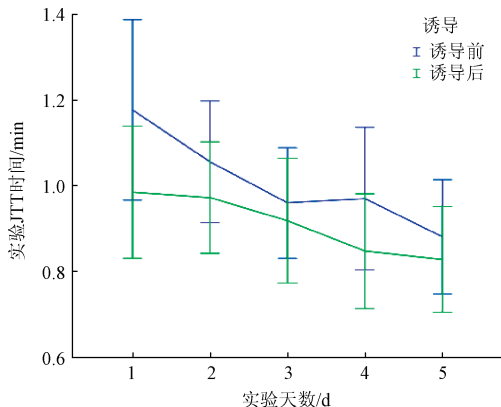


图 6 诱导前、后 JTT 时间均值

Fig. 6 JTT time mean before and after induction

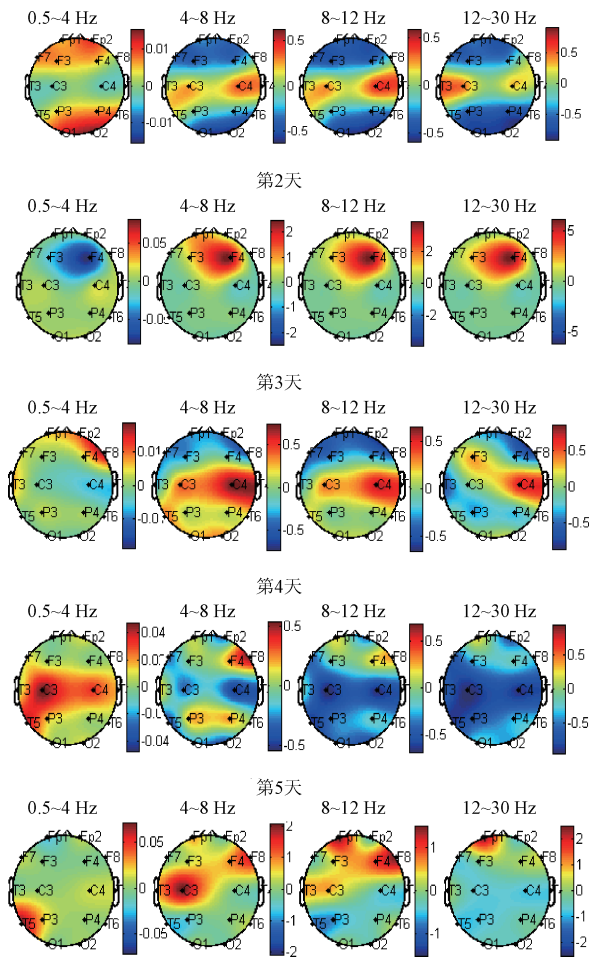


图 7 磁诱导前后的相对功率变化

Fig. 7 Relative power variations before and after induction

Beta 频段功率有所增加,在额叶和枕叶区,这3个频段的功率有所降低,同时 Delta 频段在额叶和枕叶处有所提高;第2天在额叶处(F3、F4 导联)Theta 频段、Alpha 频段以及 Beta 频段功率有所增加,在相同的位置,Delta 频段相对功率谱有所降低,其他脑区无明显变化;第3天诱导后与第1天变化相似,在两侧颞叶顶叶区(C3、C4、T3、T4)、Theta 频段、Alpha 频段功率有所增加,在 F3、C4、T4 处 Beta 频段有提高,同时,在额叶处 Alpha 和 Beta 两个频段的功率均有所下降,Beta 频段在右前额部下降明显,而 Delta 频段在 C3、C4、T4 处略微降低,在右侧前额叶略微增高。第4天的变化与前3天不同,之前在 C3、C4 导联处呈降低趋势的 Delta 频段略有上升,相同的位置,Theta 频段有所降低,Alpha 频段在除 F4 导联的全脑区域均有所降低,Beta 频段在全脑范围有所降低。第5天 Delta 频段在 T5 略有升高,Theta 频段和 Alpha 频段在 FP1、T3、C3、F4 导联处有所升高,Beta 频段在 FP1 导联处有提高。

综上所述,第1天与第3天 Alpha 频段升高的脑区正好位于运动皮层处,说明磁诱导对被试的运动功能有改善的效果,这与第2节的行为学数据相符。Beta 频段的功率谱在脑区位置上变化情况与 Alpha 频段相似,能量上比 Alpha 频段高,这是因为诱导频率为 16 Hz,处于 Beta 频段,与之前的期望相符,证明了磁诱导大脑谐振效应现象的存在。

4 结 论

经过 1 次/d,持续 5 d 的极低频脉冲磁诱导后手功能测试时间显著降低,简化 Fugl-Meyer 运动功能评定量表和改良的 Barthel 指数评定量表评分显著升高,证明了磁诱导治疗后脑卒中患者的运动功能、日常生活能力得到了显著改善。EEG 分析结果显示,EEG 高频段在运动皮层能量有所增加,推断外界电磁场作用人脑特定区域,会诱导大脑皮质产生与外磁场相同或相近的脑电活动节律,促使大脑“谐振效应”的产生。研究结果表明,极低频脉冲磁诱导技术对脑卒中病人康复,特别是对患者的手功能康复有较好的疗效,其有效提高了患者日常生活能力,这为今后临床实践和科研奠定了实验基础。物理疗法和 ECG 结合作为一种新型方式,可以实时监测脑卒中患者康复动态过程,利于临床医生更好地分析判断。

参考文献

[1] BREWER L. Stroke rehabilitation: Recent advances and future therapies [J]. *Qjm Monthly Journal of the Association of Physicians*, 2013, 106(1):11-25.

- [2] MING D, KE Y F, HE F, et al. Psychophysiological measures based studies on mental workload assessment and adaptive automation: Review of the last 40 years and the latest developments [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2015, 29(1):1-13.
- [3] O'GORMAN R L, POI S S, BRANDEIS D, et al. Coupling between resting cerebral perfusion and EEG [J]. *Brain Topogr*, 2013, 26(3): 442-457.
- [4] WEI Y, FAN J Z, WU H X, et al. Effects of pulse magnetic field on brain injury and insulin-like growth factor-1 expression in rats with cerebral ischemia-reperfusion [J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, 2008(10):878-883,860.
- [5] ZHANG H R, LI B Q, PENG J H. Study the protective effects of low-frequency pulsed electromagnetic field on neuron following cerebral ischemia-reperfusion injury in rats [J]. *Journal of Clinical Neurology*, 2007(2): 125-127.
- [6] GHIONE S, SEPIA C D, MEZZASALMA L, et al. Effects of 50 Hz electromagnetic fields on electroencephalographic alpha activity, dental pain threshold and cardiovascular parameters in humans [J]. *Neuroscience Letters*, 2005, 382(1-2): 112-117.
- [7] LEONE L, CUCCURAZZU B, PODDA M V, et al. P22.22 Exposure to extremely low-frequency (50 Hz) electromagnetic fields enhances adult hippocampal neurogenesis in C57BL/6 mice [J]. *Clinical Neurophysiology*, 2010, 122(1): 173-82.
- [8] SERA M, SATO H, MAKI M, et al. Comparison of the effects of high-and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on upper limb hemiparesis in the early phase of stroke [J]. *Journal of Stroke & Cerebrovascular Diseases the Official Journal of National Stroke Association*, 2013, 22(4): 413-418.
- [9] HARA Y, OGAWA S, TSUJIUCHI K, et al. A home-based rehabilitation program for the hemiplegic upper extremity by power-assisted functional electrical stimulation [J]. *Disability & Rehabilitation*, 2008, 30(4): 296-304.
- [10] LO A C, GUARINO P D, RICHARDS L G, et al. Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke [J]. *New England Journal of Medicine*, 2010, 362(19): 1772-1783.
- [11] MEHRHOLZ J, HADRICH A, PLATZ T, et al.

Electromechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke [J]. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2008, 40(4) : CD006876.

- [12] HUMMEL F, CELNIK P, GIRAUX P, et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke [J]. Brain, 2005, 128(3) : 490.
- [13] FINNIGAN S P, WALSH M, ROSE S E, et al. Quantitative EEG indices of sub-acute ischaemic stroke correlate with clinical outcomes [J]. Clinical Neurophysiology Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 2007, 118(118) : 2525-2532.
- [14] NUWER M R, JORDAN S E, AHN S S, Evaluation of stroke using EEG frequency analysis and topographic mapping [J]. Neurology, 1987, 37(7) : 1153-1159.
- [15] WANG X M, CHEN F, YU H Q, et al. Resonance effects on human brain based on magnetic stimulation of extremely low frequency [J]. Journal of Tianjin University, 2011, 44(9) : 823-828.

作者简介



周鹏, 分别在 2002 年、2005 年和 2007 年于天津大学获得学士学位、硕士学位和博士学位, 现为天津大学副教授, 主要研究方向为神经工程、脑认知、医学信号与图像处理。

E-mail: zpzp@tju.edu.cn

Zhou Peng received B. Sc., M. Sc., and Ph. D. all from Tianjin University in 2002, 2005 and 2007, respectively. Now he is an associate professor in Tianjin University. His main research interests include neural engineering, brain cognition, medical signal and image processing.



刘静, 2010 年于燕山大学获得学士学位, 2017 年于天津大学获得硕士学位, 主要研究方向为神经工程与仪器。

E-mail: lj2014@tju.edu.cn

Liu Jing received B. Sc. from Yanshan University in 2010, and M. Sc. from Tianjin University in 2017, respectively. Her main research interests include neural engineering and instruments.