

浅谈脑机接口康复假肢的相关研究

汪俊宇¹, 王美玉², 向武¹, 李敏¹, 唐瑞苓¹

(1. 成都中医药大学养生康复学院, 成都; 2. 新津县妇幼保健院, 新津)

摘要: 目前因神经肌肉系统瘫痪的患者的康复训练基本上是通过被动活动的方式完成, 但在康复训练中特别强调患者的主动参与, 脑机接口可能通过直接连接脑与康复假肢提供这个问题的永久性解决方案, 本文简述了脑机接口系统的原理和基本组成, 重点介绍了近年来脑控康复假肢的研究现状, 提出了脑控康复假肢的应用展望以及面临的问题, 希望能让更多学者了解。

关键词: 脑机接口; 康复假肢; 研究现状; 应用展望

中图分类号: R318.17

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3141.2017.45.036

本文引用格式: 汪俊宇, 王美玉, 向武, 等. 浅谈脑机接口康复假肢的相关研究 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, 17(45): 75-76.

0 引言

近年来, 许多实验室已经开始将脑机接口技术作为一种全新的沟通选择, 并应用于因神经肌肉损伤导致的运动功能障碍的病人和肢体残缺的人。脑机接口技术为这些人提供了不依赖于周围神经和肌肉的沟通渠道。1999年, 第一次脑-机接口国际会议给出了脑机接口 (brain-computer-interface, 简称 BCI) 的定义: 即脑机接口是一种不依赖于正常的由外周神经和肌肉组成的输出通路的通讯系统^[1]。如果这种新颖的技术能够应用到临床康复治疗中, 首先, 它能够与外界环境的相互交流达到重症瘫痪患者某些功能的替代。其次, 它能够使大脑功能重塑以代偿已丧失的功能^[2]。近年来神经科学的快速发展告诉我们: 人的中枢神经系统的功能在一定条件下可以重塑, 那么是否可以利用 BCI 系统使神经再恢复是我们急需探索的问题^[3, 4, 5, 6]。BCI 技术极可能为需要者带来福音, 研究意义现实且深远。

2 脑-机接口系统的原理及基本组成

脑机接口中有一个捕获受试者意图行动的脑传播装置; 该装置起到记录头皮、大脑表面和大脑皮层的微电活动的作用, 通过识别这些电活动信号并将其转换为驱动假肢和计算机显示器的命令信号^[7]。简言之, BCI 系统可以替代外周神经和肌肉组织并把大脑发出的信息直接转换成能够控制外部设备的命令信号。这种信号被称为脑电信号 (EEG), 是由神经细胞产生的几十毫伏的微电活动, 产生的微电活动传到头皮表层而形成的; 它是大脑内因神经元活动而产生的生理电活动, 反映大脑的功能状态^[8]。此 EEG 将体现出某种特定的节律和空间分布特征, 用一定的方法可以检测, 再通过信号处理的方法从中辨析出人的意识信号, 最终将其转换为控制命令, 从而实现对外部设备的控制。每个 BCI 有四个广泛的组成部分: 记录神经活动; 从该活动中提取预期行动; 用假肢效应器产生期望的动作; 以及通过某些完整的感觉 (例如视觉) 或由假体装置产生反馈^[9]。换言之, BCI 系统由信号采集、特征提取、输出装置和操作协议四部分构成 (如图 1 所示)。当前, BCI 系统多用计算机输出, 接受设备多种多样, 例如: 主要运用于康复工程的脑机接口技术: 脑控智能假肢。

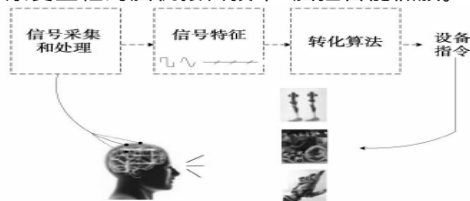


图 1 BCI 系统基本操作流程

3 脑控智能假肢技术的相关研究

脊髓损伤, 脑干中风, 肌萎缩性侧索硬化等障碍后的麻

痹可以使大脑与身体脱离, 从而丧失了执行动作的能力^[10]。另外, 对于缺失肢体的人来说, 神经假肢技术可以利用脑电信号来控制和支配肢体。相关研究报道^[12] 斯坦福大学的研究小组将假肢固定在患者前臂上, 使用 BCI 技术来控制七个自由度假肢来引导中风患者自主运动, 患者完成了沿肘方向的单自由度运动^[13], 如图 2 所示。有研究者发现, 长期存在四肢麻痹症的人可以使用脑神经接口系统来移动并点击计算机光标并使其控制相关物理设备^[14, 15, 16]。他们让患者植入初级运动皮层的 96 号微电极, 该电极阵列记录神经元的整体活动, 结果发现神经假肢运动改善了脊髓损伤后三年的皮质尖峰模式^[14, 15, 16]。科林格尔研究团队测试了具有四肢瘫痪的个体是否可以使用脑机接口快速实现高性能假肢的神经控制^[17]。他们在一名 52 岁四肢瘫痪的个体的运动皮质中植入了两个 96 通道的皮质内电极。与此同时完成 13 周的脑机界面训练, 目的是控制具有七个自由度 (三维平移, 三维取向, 一维掌握) 的拟人假肢。通过临床上肢功能评估来评估参与者控制假体肢体的能力。结果发现参与者能够在训练的第二天在三维工作空间中自由移动假肢。13 周后, 常规进行稳定的七个自由度运动。平均成功率为 91.6%, 完成时间 (从平均 148 秒降低到 112 秒) 和路径效率 (从 0.30 增加到 0.38)。参与者还能够使用假肢做技巧和协调的触及以及掌握较难的动作, 使得临床上肢功能测试显著增益。没有不良报告事件发生。在国外, Nicoletis 研究团队认为, 大部分瘫痪患者的部分脊髓神经是完好的, 由于与大脑之间信号中断, 那些神经就静静地躺在那里, 通过脑机接口和假肢的结合可以重新激活这些沉睡的神经^[18], 即使只有一小部分神经保持完好无损, 通过这种训练, 也可以使患者机体的部分功能得以恢复^[18]。该研究团队对 8 名因脊髓损伤瘫痪多年的患者进行不断地训练, 借用脑机接口控制仿生外骨骼假肢, 利用 VR 技术解决触觉的反馈问题, 他们的下肢的肌肉功能和感觉功能得到部分恢复, 在本次研究中, 有一些患者在接受 7 个月的训练之后, 就开始发生一些变化。一年之后, 有 4 名患者下肢的感觉功能和肌肉的控制能力发生了显著的变化, 以至于医生把诊断结果从一年前的“完全瘫痪”改成“部分瘫痪”。其中一名瘫痪 13 年的 32 岁女患者, 发生在她身上的变化可以用戏剧性来形容。在接受训练之前, 即使给她提供支持工具, 她都无法站立; 在接受完整的训练后, 在支持工具和医生的帮助下, 她竟然可以行走。到 13 个月的时候, 在安全带的支撑下, 她就可以自主的运动一点双腿。又有研究指出^[19], 该研究团队调查脑机接口技术与触觉旋钮 (HK) 机器人的交互式结合在卒中患者的手臂康复中的功效。将卒中患者分为三臂, 单盲, 随机对照三组; 经过治疗后对 21 名慢性偏瘫中风患者进行 FMMA 评分。结果发现各组 FMMA 评分均有改善, 且在任何时间点均未发现组间差异, 得出结论为: BCI-HK 是有效的, 安全的, 并且与治疗师辅助联合治

疗更有可能增强慢性中风患者的运动恢复。



图2 基于BCI系统的康复假肢辅助中风患者做物理治疗

4 应用与展望

4.1 应用到运动功能障碍患者的康复训练中

利用脑机接口技术控制假肢可以帮助运动障碍患者进行康复训练,是脑机接口的重要运用之一。康复训练中特别强调患者的主动参与,而目前的康复训练无法保证患者集中精神进行训练。用脑机接口技术进行康复训练使患者的随意运动与本身的意愿保持一致,有可能得到更好的训练效果,并且可能对神经的恢复起到更好的促进作用。

4.2 应用到残疾人生活中

我国因脊髓损伤造成下肢瘫痪的患者很多,可以利用脑机接口神经假肢,外骨骼机器人以及智能轮椅帮助伤残人士进行运动功能重建和生活自理,把BCI技术应用到残疾人生活中去,可以很大的减轻他们因心理压力所带来的自卑感,丧失感以及失助感,从而大大提高残疾人的生活质量和幸福指数。

4.3 与虚拟现实技术相结合

我国已有科研人员证明了运用脑机接口算法与虚拟现实的实时交互技术相结合,能够更大程度地刺激患者的运动想象,有望提高患者的康复训练效果^[20]。Nicolelis研究团队利用VR技术解决触觉的反馈问题^[18]。

5 小结

BCI技术是一门综合的,复杂的,创新性的技术。由于BCI技术、基于BCI技术的假肢技术都处于研究的初级阶段,难免出现很多问题,例如(1)如何保证电极长期有效工作,微电极植入大脑创伤大^[21]。(2)由于脑电信号十分微弱,怎样减少其他脑电信号的干扰成分,此外还存在分辨率不高和通信速度慢等问题^[22-23]。(3)现有设备价格昂贵,不适合普通人购买,而且现在应用于实际生活中的较少,大多还处在实验室阶段。但随着技术的不断完善和成熟,我们相信BCI技术将会逐渐应用到现实中去,应用到运动功能障碍患者的康复训练和残疾人生活中去。

参考文献

- [1] Wolpaw JR, Birbaumer N, Heetderks WJ, et al. Brain-computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting [J]. IEEE Trans Rehab Eng, 2000, 8(2): 164-173.
- [2] 王正, 董超, 金荣疆, 等. 脑机接口技术在康复医学中的潜在应用研究进展 [J]. 现代临床医学, 2016, 42(3): 176-178.

- [3] Andrew BS, X Tracy Cui, Douglas JW and Daniel WM. Brain-Controlled Interfaces: Review Movement Restoration with Neural Prosthetic [J]. Neuron, 2006(52): 205-220.
- [4] Janis J Daly & Jonathan Wolpaw. Brain-computer Interfaces in Neurological Rehabilitation [J]. Lancet Neural, 2008(7): 1032-1043.
- [5] Hansjorg, S. Neural Control of Motor Prostheses [J]. Current Opinion in Neurological, 2009(19): 1-5.
- [6] 李庆玲, 孙立宁, 杜志江. 上肢康复机器人发展现状的分析与研究 [J]. 机械设计, 2008, 25(9): 1-3.
- [7] 孙进, 张征, 等. 基于脑机接口技术的康复机器人综述 [J]. 机电工程技术, 2010, 39(4): 13-16.
- [8] 李颖洁, 邱意弘, 朱贻盛. 脑电信号分析方法及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1-11.
- [9] Andrew BS, X Tracy Cui, Douglas JW and Daniel WM. Brain-Controlled Interfaces: Review Movement Restoration with Neural Prosthetic [J]. Neuron, 2006(52): 205-220.
- [10] Donoghue JP. Bridging the brain to the world: a perspective on neural interface systems [J]. Neuron, 2008; 60: 511-521.
- [11] Nicolelis MAL, Lebedev MA. Principles of neural ensemble physiology underlying the operation of brain-machine interfaces [J]. Nature Reviews Neuroscience, 2009; 10: 530-540.
- [12] 张小栋, 李睿, 李耀楠. 脑控技术的研究与展望 [J]. 国家自然科学基金资助项目, 振动、测试与诊断, 2014, 34(2): 205-210.
- [13] RODRIGUEZ M G, WENTRUP M G, HILL J, et al. Towards brain-robot interfaces in stroke rehabilitation [C]// IEEE Conference on Rehabilitation Robotics. Zurich: IEEE, 2011: 1-6.
- [14] Hochberg LR, et al. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia [J]. Nature, 2006; 442: 164-171.
- [15] Simeral JD, Kim SP, Black MJ, Donoghue JP, Hochberg LR. Neural control of cursor trajectory and click by a human with tetraplegia 1000 days after implant of an intracortical microelectrode array [J]. J Neural Eng, 2011, 8: 025027.
- [16] Kim SP, et al. Point-and-click cursor control with an intracortical neural interface system by humans with tetraplegia [J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2011, 19: 193-203.
- [17] Collinger J. L, et al. High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia [J]. Lancet, 2011, 377: 557-564.
- [18] Nicolelis, et al. MA. Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients [J]. Sci Rep, 2016, 6(6): 1-14.
- [19] Ang, K. K. et al. Brain-computer interface-based robotic end effector system for wrist and hand rehabilitation: results of a three-armed randomized controlled trial for chronic stroke. Front [J]. Neuroeng. <http://dx.doi.org/10.3389/fneng.2014.00030> (2014).
- [20] 马赞, 王毅军, 高小榕, 等. 基于脑机接口技术的虚拟现实康复训练平台 [N]. 中国生物医学学报, 2007, 26(3): 73-378.
- [21] 张安仁. 脊髓损伤康复的现状与思考 [J]. 名家论坛, 康复学报, 2016, 26(2): 1-5.
- [22] Wolpaw J R, McFarland D J, Vaughan T M. Brain computer interface research at the wadsworth center [J]. IEEE on Rehabilitation Engineering, 2000, 8(2): 222-226.
- [23] Pfurtscheller G, Neuper C, et al. Current trends in Graz brain computer interface (BCI) search [J]. IEEE Trans Rehabilitation Engineering, 2000, 8(2): 216-219.