

脑卒中患者上肢康复训练系统研究进展

易金花,张颖,官龙,顾余辉,喻洪流

【关键词】 脑卒中;上肢康复训练系统;虚拟现实;肌肉电刺激

【中图分类号】 R49;R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2013.04.003

脑卒中是最常见的致残疾病之一,其中70%~85%的患者伴有偏瘫^[1]。脑卒中6个月以后,因偏瘫而需住院行康复治疗的患者中,只有60%能够达到独立进行些简单日常活动的能^[2-3]。约有85%伴有上肢功能障碍,其中55%~75%在发病3~6个月时仍有上肢功能障碍^[4-5]。研究表明,除手术和药物治疗外,科学的康复训练对脑卒中偏瘫患者的肢体功能康复起着重要的作用^[6]。本文对脑卒中患者上肢康复训练系统研究现状与进展进行综述。

1 上肢康复训练系统的主要类型与研究现状

目前康复训练主要有神经肌肉电刺激、基于虚拟现实技术的运动想象疗法和康复机器人辅助疗法。

1.1 基于神经肌肉电刺激的上肢康复训练 神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)从20世纪60年代开始用于脑卒中偏瘫患者的治疗,在国外临床上应用日益普遍^[7-8]。肌电生物反馈(electromyographic biofeedback)是生物反馈疗法的重要种类之一,是治疗神经肌肉疾病常用的辅助手段^[9-10]。近年来单纯的肌电生物反馈疗法逐渐被肌电生物反馈与神经肌肉电刺激的联合疗法所取代,后者又称为肌电信号触发的神经肌肉电刺激(electromyography-triggered neuromuscular electrical stimulation, EMG-stim)或肌电触发电刺激(electromyography-triggered stimulation, EMC-stim),是普通肌电生物反馈与神经肌肉电刺激疗法的有机结合。EMG-stim疗法不仅具有普通肌电生物反馈与神经肌肉电刺激的单独作用,而且在意识支配下,通过电刺激产生的肌群或肢体的运动,会对中枢神经系统产生本体感觉或运动觉的刺激,促使主动肌与拮抗肌之间形成协调性动作,后者以接近正常的运动模式反馈给受损的

中枢神经系统,有助于激活中枢神经系统中的潜在性突触,或形成新的突触联系,以建立新的感觉兴奋痕迹,重建神经环路,因而此疗法具有单纯被动治疗方式不可比拟的作用^[11]。目前市面上基于神经肌肉电刺激的康复训练系统还比较少,比较典型的一个为Freeman等^[12]研究中的一种使用功能电刺激(functional electrical stimulation, FES)治疗偏瘫患者上肢康复的训练系统。该系统把三头肌对刺激的反应作用纳入手臂模型。在通常情况下,脑卒中患者的三头肌在痉挛作用下不会进行轻微的不自主动作。在没有外力作用下,患者的活动缺乏自主或者不自主动作,该研究提出了一个信号刺激下的电刺激肌肉运动的扭矩计算模型。训练系统通过检测该扭矩是否能带动手臂运动,通过学习算法同步控制输出机械臂的辅助力或阻抗,可实现基于患者意愿的手臂轨迹跟踪训练,这种交互学习(iterative learning control, ILC)被证明可以大大提高上肢的康复训练效果。

1.2 基于虚拟现实技术的运动想象疗法 虚拟现实(virtual reality, VR)技术是利用计算机生成一种模拟真实事物的虚拟环境(如行走、跑步、取物、绘图等),并通过多种传感设备使用户"投入"到该环境中,事先用户与该虚拟环境直接进行自然交互的技术。在计算机模拟的虚拟环境中,用户会有身临其境之感,通过传感设备接受来自该环境的信号。与此同时,计算机可以精确地记录用户的信息,并据此对虚拟环境进行调整,实现人机的交互作用。研究表明,如果能够在训练过程中提供多种形式的信息反馈,充分发挥患者的主观能动性,并根据患者状态给予暗示或建议等,将会使康复效果得到很大提高^[13]。因此研究者们设计了基于虚拟现实的康复训练系统,以激发患者进行康复训练的兴趣^[14-15]。Jack等^[16]设计了一套基于PC的虚拟现实增强系统,利用CyberGlove和Rutgers Master II-ND(RMII)力反馈手套作为输入设备,可以实现用户和虚拟环境的交互,以增强患者进行康复训练的主动性,实现脑卒中患者手部功能恢复的康复训练。Tang等^[17]利用建模软件构建了三维用户图形界面,

基金项目:上海市科技支撑项目(12441903400)

收稿日期:2013-07-02

作者单位:上海理工大学生物力学与康复工程研究所,上海 200093

作者简介:易金花(1990-),女,硕士,主要从事脑卒中康复方面的研究。

通讯作者:喻洪流。

将视觉反馈与触觉反馈相结合,实现了带有力反馈的协作任务,操作者通过 InMotion 2 对虚拟物体施加一定大小的力,虚拟物体产生一系列交互作用力,并通过触觉设备作用于操作者。Wisconsin 医学院和 Marquette 大学研究了家用的计算机辅助康复训练设备 TheraDrive,创建脑卒中上肢康复治疗虚拟环境界面,通过计算机游戏辅助患者进行运动训练^[18]。这些基于虚拟环境的康复训练系统大多数强调视觉反馈,将运动结果在虚拟环境中显示,并通过操纵虚拟物体提供交互力反馈,对于如何在训练过程中利用力反馈为患者提供暗示和帮助很少提及。因此,设计一个与现实环境相似、引人入胜的虚拟环境,对于康复训练十分重要。

1.3 基于康复机器人辅助训练的上肢康复训练 目前对神经系统伤病所致肢体功能障碍的康复治疗主要依赖于治疗师一对一的训练,难以实现高强度、有针对性和重复性的康复训练要求,特别是在国外,人工训练的成本很高;另外由于康复评价也多为主观评价,不能够实时监测治疗效果。为解决这些康复训练过程中出现的问题,需要安全、定量、有效及可进行重复训练的新技术,因此机器人辅助训练技术在这种背景下应运而生,康复机器人便是其中之一。有些机器人在训练过程中仅仅提供阻力或支撑,不能对患者提供主动作用力。Arno 等^[19]的研究使用的就是仅支撑重力的上肢康复训练系统,这套系统通过自由惯性平衡的弹簧来进行上肢的减重。这些机器人系统设计相对简单,难以满足临床康复对患者不同功能状态的训练要求。随着相关学科的发展和研究的深入,能够根据患者的训练状态来调整训练模式的康复机器人系统越来越被人们所需要。

2 上肢康复训练机器人技术发展概况

20 世纪 80 年代以来国际上研发了多种上肢康复机器人,下面介绍几款较为典型的上肢康复训练系统。

2.1 ARMin 康复机器人 由瑞士苏黎世大学研究的 ARMin 康复机器人具有低惯量、低摩擦、可反向驱动的特性^[20]。该装置具有 6 个自由度(4 个主动,2 个被动)及 4 种运动模式,其中预定轨迹模式为医生指导患者手臂运动,并记录下轨迹,其后由机器人以不同速度对该轨迹进行重复;预定义治疗模式是在预定的几种标准治疗练习中进行选择训练;在点到达模式中,预定到达点通过图像显示给患者,由机器人对患者肢体进行支撑和引导完成训练;患者引导力支持模式中,运动轨迹由患者确定,利用测得的位置、速度信息通过系统的机械模型来预测所需力与力矩的大小,并通过一个

可调辅助因子来提供一部分力和力矩。该装置目前仍然在研究中,利用健康人作了一些机构的可行性实验,还未提出任何评价方法。

2.2 Armeo 系列产品 瑞士 Hocoma 公司 Armeo 系列康复训练机器人是上肢康复训练机器人研究中较为典型的案例。Armeo 系列目前共研制了 3 代,分别为 Boom、Spring、Power,其中 Spring 是 Armeo 系列中最为成熟的一代。Spring 的特点是使用了减重结构来平衡整个手臂的重力,使得患者能够摆脱手臂重力的作用,自由地在三维空间运动手臂。同时,Spring 还提供了基于个人计算机的较为完善的人机交互控制系统,患者可以在该系统中进行二维的虚拟现实康复训练。但 Spring 只能进行自由训练功能,不具备被动、抗阻、助力等训练模式,这使得该装置的适用对象范围较小。第 3 代装置 Power 功能较为全面,它能实现上肢各关节的主、被动训练,由于其自由度较多,采用了较多的电机进行设计,导致外形较为复杂、庞大。Power 设计有基于个人计算机的人机交互控制系统,可以对机器人的各种运行参数进行设置与调节。

2.3 Multi-Joint 上肢康复训练系统 英国 Technobody 公司最近开发出一种多关节上肢运动康复系统 Multi-Joint System。该系统可实现肩关节的 3 个自由度,其特点是可以进行肩关节与肘关节的主动运动与肩关节的助力/阻力运动,而不能进行肘关节的被动运动,只能主动运动或在治疗师帮助下进行被动运动,没有电刺激或肌电触发控制,是一个开环控制系统。对于上肢功能康复,机器人辅助治疗是一种前景广阔的新兴方法,康复机器人联合运用肌肉点刺激以及虚拟现实技术将会是新的突破点,需要进行更多更深入的研究。

2.4 其它康复训练机器人研究 除上述几种典型的上肢康复训练机器人之外,国内外还有许多学者研发了一系列的上肢康复机器人。麻省理工学院从 1995 年开始研制了 MIT-Manus,其采用连杆机构^[21],患者握住机构末端的手柄完成平面内的运动训练。德国柏林工业大学研制了的手部动力外骨骼矫形器手功能康复训练装置通过采集手部关节微弱的关节紧绷力和关节角度的微小变化,来驱动外骨骼进行运动,从而辅助患者进行活动。目前,我国许多高校也开展了上肢康复训练机器人研究,如清华大学、上海理工大学、华中科技大学、浙江大学等。上海理工大学最新相继研发了多自由度上肢康复训练机器人、外骨骼穿戴式手功能康复训练机器人、减重式虚拟现实上肢康复训练系统等系列上肢康复训练机器人,其中新型上肢康复训练机器人是国内外首个中央驱动式、智能人机交互、多

功能新型上肢康复训练机器人,可以实现基于虚拟现实的主、被动多自由度康复训练。

3 小结

本文根据上肢康复训练的发展现状,从神经肌肉电刺激、虚拟现实技术以及康复机器人3个方面介绍了目前上肢康复系统的研究概况,且这3种训练方法都对上肢康复医疗训练有较好的疗效,因此如果将三者进行有机统一的结合,开发出一种能同步实现以上3种训练模式的上肢康复训练系统,将进一步提高现有康复设备的治疗效果。在脑卒中患者软瘫期与痉挛期,可以应用神经肌肉电刺激技术结合外骨骼康复机器人与虚拟现实技术的训练模式,而在恢复期,可以应用外骨骼康复机器人结合虚拟现实技术的模式等。这样,不仅在训练效率上有很大的提高,并且在训练的趣味性以及调动患者积极性上也会有明显的帮助。但是,目前上肢康复医疗训练系统仍然处于起步阶段,国外的技术虽然较国内而言比较成熟,但是高额的费用限制了国内的普及,很多家庭没有能力去进行这类康复训练。近年来,国内的基础研究和对这一领域的了解与国外差距并不大,但局限于科研实验室内的研究,临床应用还很少。另外,现在的上肢康复训练系统都普遍缺乏一套标准的康复评价系统,这方面的研究也是当务之急,可以从临床上的一些数据与训练参数进行研究。综上所述,上肢康复训练系统具有广泛的应用前景。

【参考文献】

- [1] Dobkin B. The clinical science of neurologic rehabilitation [M]. New York: Oxford University Press, 2003, 250-268.
- [2] Patel A, Duncan P, Lai S, et al. The relation between impairments and functional outcomes poststroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2000, 81(10): 1357-1363.
- [3] Jorgensen H, Nakayama H, Raaschou H, et al. Outcome and time course of recovery in stroke, part I: time course [J]. Arch Phys Med Rehabil, 1995, 76(5): 406-412.
- [4] Brokes JG, Lankhorst JG, Rumping K, et al. The long term outcome arm function after stroke: results of a follow up study[J]. Disabil Rehabil, 1999, 21(8): 357-364.
- [5] Kwakkel GW, Wagenaar RC, Twisk JW, et al. Intensity of leg and arm training of primary middle-cerebral-artery stroke: A randomized trial[J]. Lancet, 1999, 354(9174): 191-196.
- [6] 常俊玲, 孙波. 运动再学习对偏瘫患者上肢功能恢复的影响[J]. 现代康复, 2000, 14(5): 684-685.
- [7] 燕铁斌, 窦祖林. 实用瘫痪康复[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1999, 397-398.
- [8] 游国清, 燕铁斌. 功能性电刺激及其在脑卒中后偏瘫患者中的应用[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2007, 29(2): 142-144.
- [9] 郑华, 孙宝民, 吕燕华, 等. 肌电生物反馈对急性偏瘫康复的临床疗效[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(9): 620-621.
- [10] Armagan O, Tascioglu F, Oner C. Electromyographic bio-feedback in the treatment of the hemiplegic hand: a placebo-controlled study[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2003, 82(11): 856-861.
- [11] Fields RW. Electromyographically triggered electric muscle stimulation for chronic hemiplegia[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1987, 68(7): 407-414.
- [12] Freeman CT, Hughes AM, Burridge JH, et al. A Model of the Upper Extremity Using FES for Stroke Rehabilitation [J]. Journal of Biomechanical Engineering, MARCH 2009, 131(3): 111-114.
- [13] Rionef R, Wellner M, Nef T, et al. A View or VR-Enhanced Rehabilitation Robotics [C]. International Workshop on Virtual Rehabilitation, 2006, 149-154.
- [14] Harwin WS, Patton JL, Edgerton VR. Challenges and Opportunities for Robot-Mediated Neurorehabilitation [J]. Proceedings IEEE, 2006, 94(9): 1717-1726.
- [15] Burdea G, Popescu V, Hent V, et al. Virtual reality-based orthopedic telerehabilitation [J]. IEEE Trans Rehabil Eng, 2000, 8(3): 430-432.
- [16] Jack D, Boian R, Merians AS, et al. Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation [J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2001, 9(3): 308-318.
- [17] Tang J, Carignan C, Gattewar S, et al. Virtual environment for robotic telerehabilitation [C]. International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005, 7-20.
- [18] Goto E, Ohnishi K, Miyagawa H, et al. Field test of a force control rehabilitation system for quantitative evaluation of the disorder in the upper extremities [C]. International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005, 82-85.
- [19] Arno HA, Stienen, Edsko EG, et al. Freebal: Design of a Dedicated Weight-Support System for Upper-Extremity Rehabilitation [J]. Journal of Medical Devices, 2009, 3(4): 1-9.
- [20] Nef T, Riener R. ARM in-design of a novel arm rehabilitation robot [C]. In: Proceeding of the 9th conference on Rehabilitation Robotics, Chicago, 2005, 57-60.
- [21] Krebs HI, Volpe BT, Aisen ML, et al. Increasing productivity and quality of care: Robot aided neuro rehabilitation [J]. Journal of Rehabilitation Research and Development, 2000, 37(6): 639-652.