

· 专家论坛 ·

计算机相关辅助技术在神经康复中的应用与发展

黄晓琳

近年来计算机科学、机器人技术、网络信息科技等学科突飞猛进的发展,为现代神经康复技术提供了新的不断更新、扩展的契机,使得神经康复的研究与应用出现了一些新的领域和热点。

一、脑-机接口

脑-机接口(brain-computer interface, BCI 或 brain-machine interface, BMI)是在人脑和计算机或其它外部电子设备之间建立起来的不依赖于常规大脑信息输出通路(外周神经肌肉系统)的全新对外信息交流和控制技术^[1]。脑-机接口系统直接从头皮或颅内的电极获取脑电信号,信号通过适当处理后,从中提取反映使用者意图的信号特征,并将其转化为控制外部设备的命令输出^[2]。通过这项技术,大脑能够直接与外界进行通信或控制外部设备,而不需要通过肢体动作。基于这一原理设计的装置有望帮助瘫痪患者更好地实现运动功能重建和生活能力提高的目标。

BCI 系统是一种非生物性的信息传导通路系统,通常由信号采集系统、信号处理与模式识别系统、外部控制装置与反馈系统构成。其突出特点是不依赖于任何外围神经和肌肉系统的响应,仅根据大脑思维意念或感官反应所产生的脑电信号进行工作,因而是全新意义上的神经康复辅助手段。

根据神经接口方式,BCI 系统有两大基本类型^[3,4]:侵入式 BCI 和非侵入式 BCI。侵入式 BCI 是通过外科手术将信号检测电极阵列直接植入大脑皮质,不但可以零距离地接触大量神经元电活动信息,还避免了信号传递引起的衰减。但侵入式 BCI 需要进行外科手术植入电极,不仅对大脑具有损伤,而且长期留置还存在感染的风险。非侵入式 BCI 通过头皮电极来采集脑电信号,避免了电极植入大脑引起的损伤。但由于大脑的容积导体效应,使脑电信号传递至头皮表面后会明显削弱,并损失了大量时空分布信息,故其特征提取和模式识别具有一定技术难度。

目前,BCI 的研究已经引起全球越来越多科学家和研究者的关注和重视,成为神经康复研究领域最热门的课题之一。Nature 杂志 2000 年刊载了题为“Real Brains for Real Robots”的文章^[5],报道了从猴子大脑

皮质获取的神经信号,实时控制千里之外的一个机器人,实现了“Monkey Think, Robot Do”。2006 年 7 月 Nature 杂志将“Turning Thoughts into Actions”作为封面标题^[6],并介绍了美国 Brown 大学的 Hochberg 等进行的第一例 Brain Gate 系统临床研究。研究中这例 C₃ 完全性损伤的脊髓损伤患者在受伤 2 年多后通过将芯片植入大脑运动区,实现了对计算机屏幕的光标运动以及机器辅助设备的简单动作的控制^[7]。在国内,清华大学和华中科技大学等数个实验室开展了对 BCI 的研究,取得了一定的成果,并于 2005 年在武汉召开了第一届神经接口和控制国际会议。

BCI 的研究正成为神经康复领域中的一个新亮点。尽管目前此项技术的研发中还有许多极具挑战性的问题尚未得到圆满解决,但它为严重运动功能障碍患者的康复和生活质量的提高带来了新的希望。

二、康复机器人

康复机器人(assistive rehabilitation robot)作为医疗机器人的一个重要分支,涉及到康复医学、生物力学、机械学、电子学、材料学、计算机科学以及机器人学等诸多领域,其利用机器人的原理,辅助或者替代患者的功能运动,或者进行康复训练,已经成为国际上研究的大热点。

康复机器人可细分为辅助型和治疗型两种。辅助康复机器人主要用于帮助老年人和残疾人更好地适应日常工作和生活,部分补偿了他们弱化或丧失的机体功能,还能帮助他们找回自立、自尊的感觉,重新融入社会。世界各国对其技术都进行了深入研究,出现了丰富的辅助康复系统^[8]。目前主要有:(1)智能轮椅型康复机器人,除了具有避障、导航等智能轮椅的功能外,由于将机械臂与轮椅的结合,可以完成各种操作;(2)工作站型康复机器人,包括一个操作臂和完成特定任务的固定工作站环境系统,主要用于完成一些专项任务如进食、办公等,它比轮椅机器人操作更方便;(3)移动服务型康复机器人,带有环境感知传感器,可以协助拿取物品以及监测环境和人体的一些信息,提供帮助;(4)家居型康复机器人,目前提出的智能家居(smart house)概念使得康复机器人应用于与家居设备相互通信,进一步拓展了其实用功能。对于那些独立生活困难的运动功能严重障碍的中枢神经系统疾病患

作者单位:430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院康复医学科

者,辅助康复机器人技术可以使他们恢复到最大程度的独立状态,帮助患者完成一定的日常活动,从而达到康复目标。

治疗康复机器人主要用于神经系统疾病患者运动功能恢复的康复训练,是近年来发展的新的神经康复治疗技术,具有广泛的应用前景。中枢神经系统疾病后的积极康复训练可以使中枢神经系统重塑,帮助患者恢复运动功能。将机器人技术应用于康复领域,既可定量地提供客观有效的康复训练,又不增加临床医疗人员的负担和卫生保健的成本,还可以记录详实的治疗数据及图形,以提供患肢运动的反馈信息以及康复评定参数,有助于改善康复效果和提高康复效率^[9]。目前,在国外已研制出了处于实验阶段的偏瘫上肢康复训练机器人。1991 年,美国麻省理工学院设计完成了第一台上肢康复训练机器人系统 MIT-MANUS,用于患者的肩、肘运动,在临床应用中取得了很好的效果。在此基础上,他们又研制了用于腕部康复的机械装置,可以提供三个旋转自由度,用于临床训练上肢损伤患者的日常生活活动。美国 Stanford 研制的 mirror-image motion enabler (MIME) 上肢康复训练机器人系统既可以提供平面运动训练,也可以带动肩和肘进行三维运动。在 2006 年的第 4 届神经康复世界大会上美国亚利桑那州立大学的何际平教授介绍了最新发展的可穿戴式 robot upper extremity repetitive therapy device (RUPERT) 机器人的研制和模拟生物反馈环境在脑卒中患者康复中的应用。可穿戴式上肢外置助力运动装置用于辅助上运动神经元综合征患者的上肢功能训练和日常生活的伸肘及握持活动,以保持患者上肢的感觉输入,辅助和促进脑功能重塑。装置的肩、肘、腕部装有关节位置感应器和压力传感器,根据患者肢体运动时的应力,调节 RUPERT 施加给患者的助力,从而最有效地辅助患者的上肢运动。

国内用于康复治疗训练的机器人系统比较少,但也正在开展相关研究。近年来我国也逐渐在加大此方面的资助力度,2006 年国家 863 计划先进制造技术领域“服务机器人”重大项目中,便将研发出高性价比的助老/助残康复机器人系列产品作为总体目标。清华大学从 2000 年起即开展了机器人辅助神经康复的研究,研制了一种上肢复合运动康复机器人,可以在平面内进行两个自由度的运动训练。毕胜等^[10]报道了这种机器人辅助训练可以减轻脑卒中和脑外伤患者的上肢残损程度,临床应用上取得了良好疗效。

机器人辅助康复训练对脑卒中患者运动感觉输入的提高、神经功能的重塑和运动功能的恢复有着十分积极的作用^[11]。随着科技水平的发展,机器人在控制、检测、分析和反馈等方面会有更大程度的提高,采用机器人进行个体化的康复训练逐渐发展成一种新的

治疗模式。

三、虚拟现实技术

虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术是一门蓬勃发展的新兴技术。随着神经科学以及计算机多媒体技术的发展,二者相结合的虚拟现实技术开始在神经康复治疗领域有了更深入的研究。VR 技术是利用计算机生成一种模拟环境 (如飞机驾驶舱、分子结构世界等),通过多种传感设备使用户“投入”到该环境中,实现用户与该环境直接进行自然交互的技术^[12]。VR 系统具有 immersion (沉浸)、interaction (交互) 和 imagination (想象) 三大基本特征,利用计算机和传感技术生成一个具有多种感官刺激的虚拟境界,这种虚拟境界可以使人产生一种身临其境的感觉,使人能以自然方式与虚拟境界中的对象进行交互。因此,将 VR 技术应用到康复医疗领域,可以有效地解决现有康复训练方法的局限性。

VR 相对常规康复方法有明显的优势:(1) 可以提供多种治疗场景和刺激,患者可以在安全的环境中进行康复治疗;(2) VR 系统可以根据患者的实际病情进展进行治疗过程设计和调整,而且同样的场景和任务可以重复进行;(3) 系统可以迅速得到治疗效果的反馈信息,通过多种模式的传感设备得到患者治疗时的状态和效果,并对数据进行存储、分析,有利于指导治疗;(4) 可使训练更为有的放矢,更具有科学性和趣味性,使得训练时间缩短,训练效果更为显著;(5) 有利于开展远程康复治疗,大大方便了患者,增加了受益的范围。

VR 技术在提供认知障碍患者治疗方案和评估手段方面展现出非常好的前景,在认知障碍的恢复性和功能性康复方面表现出显著的特点。VR 环境不仅能通过训练患者记忆、思维、空间认知等行为来间接促进患者 ADL 能力的康复,而且可以为患者直接提供安全、熟悉的日常生活环境和训练计划,国内学者李科等^[12]在此方面进行了综述。近年来,VR 技术开始逐渐应用于脑卒中患者的康复治疗^[13]。研究表明,通过 VR 系统进行康复训练不仅能提供互动、有吸引力的环境,还可促进中枢神经系统的功能重塑^[14]。本期中徐丽丽等^[15]介绍了 VR 技术在脑卒中患者手功能康复中的应用。此外,近年来随着视频虚拟游戏技术的革新,出现了新的游戏交互方式。索尼公司的 PS2 游戏机应用 EyeToy 视频捕捉技术开发的动作驱动游戏,可训练肢体协调能力^[16];任天堂新发行的 Wii 游戏机,其特有的动作感应遥控技术提示在神经康复的应用会有越来越广泛的应用前景。

四、远程康复

远程康复 (telerehabilitation) 也称为网络康复 (e-rehabilitation) 或在线康复 (online rehabilitation),是指应用电脑、远程交流和信息技术改善功能障碍者与残

疾者享受康复服务的权力,支持其独立生活。其目的是帮助接受远程康复的个人在回归社区中获得更大的成功,减少并发症,增强日常生活活动中的自立能力,降低整体医疗护理及支持费用,提高与健康有关的生存质量的满意度。

远程康复治疗技术以远程通讯技术及电子技术为基础,不仅能为偏远地区的残疾患者长期提供康复指导及支持,还能促使患者更灵活、主动、积极地参与康复治疗。由于因特网的发展非常迅猛,从而大大支持了远程康复业务的迅速发展,治疗师和患者/家属间可通过宽带网进行远程康复评估与训练^[17]。香港理工大学康复科学系谭声辉与文伟光教授^[18]带领的课题组对电脑辅助以及远程认知康复进行了多年研究,建立了专家系统、创新性康复软件库、二维及三维虚拟系统,在实际应用中已初见成效。随着计算机科技的进步和普及,远程康复将可能成为未来神经康复的热门领域。

五、神经康复辅助技术的发展趋势

1. 与神经康复理论研究的发展互相促进:这些辅助技术的应用有赖于康复理论的发展,而新技术的临床应用又检验了康复理论的正确性并推动着神经康复理论的进一步发展。例如机器人训练、虚拟现实技术在神经康复中的应用是基于运动再学习理论和中枢神经的可塑性原理。而且,根据不同的神经康复治疗理论,可以设计出康复机器人的不同训练模式^[10]。因此神经康复的基础理论与新思路的不断涌现,为辅助技术的发展提供了理论基础,并对其临床应用具有重要的指导意义。

2. 多学科密切合作不断加强,各项技术研究不断深入:目前各项辅助新技术在临床的应用都还存在不少问题有待解决。计算机科学、机器人技术等前沿科技研究的不断深入,是将其应用到神经康复领域并持续发展的基础;而各学科密切合作的相互融合又为辅助新技术的发展提供了直接动力。我们相信随着研究的深入,BCI 对脑电信号的提取与控制将更加精确,康复机器人的设计将更加人性化、智能化,远程康复的应用将更加普及与多样。

3. 多种辅助技术综合应用:多种辅助技术的联合应用将有助于提高神经康复治疗效果,具有良好的发展前景。例如远程康复训练机器人系统对患者出院后在家庭或社区进行康复锻炼是有效且具有前景的^[19],而基于虚拟环境的康复机器人系统不仅可以通过多种感官刺激进行反馈治疗,而且训练中可以增加吸引患者兴趣,摆脱机械训练的枯燥,提高康复训练的能动性^[20]。

总之,综合应用各种神经康复新技术将向患者提供全方位的神经刺激,有利于全面促进中枢神经系统的重塑及康复,使神经康复的治疗模式与康复策略得到不断拓展。

参 考 文 献

- [1] Wolpaw JR, Birbaumer N, Heetderks WJ, et al. Brain-computer interface technology: a review of the first international meeting. *IEEE Trans Rehabil Eng*, 2000, 8:164-173.
- [2] Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, et al. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clin Neurophysiol*, 2002, 113:767-791.
- [3] Lebedev MA, Nicolelis MA. Brain-machine interfaces: past, present and future. *Trends Neurosci*, 2006, 29:536-546.
- [4] Schwartz AB, Cui XT, Weber DJ, et al. Brain-controlled interfaces: movement restoration with neural prosthetics. *Neuron*, 2006, 52:205-220.
- [5] Mussa-Ivaldi S. Real brains for real robots. *Nature*, 2000, 408:305-306.
- [6] Scott SH. Neuroscience: converting thoughts into action. *Nature*, 2006, 442:141-142.
- [7] Hochberg LR, Serruya MD, Friehs GM, et al. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature*, 2006, 442:164-171.
- [8] Tejima N. Rehabilitation robotics: a review. *Advanced Robotics*, 2000, 14:551-564.
- [9] Fasoli SE, Krebs HI, Stein J, et al. Effects of robotic therapy on motor impairment and recovery in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84:477-482.
- [10] 毕胜,季林红,纪树荣,等. 依据神经康复原则应用机器人对脑卒中和脑外伤患者上肢运动功能障碍的康复训练. *中华物理医学与康复杂志*, 2006, 28:523-527.
- [11] Reinkensmeyer DJ, Emken JL, Cramer SC. Robotics, motor learning, and neurologic recovery. *Annu Rev Biomed Eng*, 2004, 6:497-525.
- [12] 李科,尧德中. 虚拟现实技术在认知康复中的应用. *中华物理医学与康复杂志*, 2005, 27:245-247.
- [13] Jack D, Boian R, Merians AS, et al. Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2001, 9:308-318.
- [14] You SH, Jang SH, Kim YH, et al. Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: an experimenter-blind randomized study. *Stroke*, 2005, 36:1166-1171.
- [15] 徐丽丽,吴毅. 虚拟现实技术在脑卒中患者手功能康复中的应用. *中华物理医学与康复杂志*, 2007, 29:136-138.
- [16] Haik J, Tessone A, Nota A, et al. The use of video capture virtual reality in burn rehabilitation: the possibilities. *J Burn Care Res*, 2006, 27:195-197.
- [17] Hoenig H, Sanford JA, Butterfield T, et al. Development of a tele-technology protocol for in-home rehabilitation. *J Rehabil Res Dev*, 2006, 43:287-298.
- [18] 谭声辉,宋元良,文伟光,等. 电脑辅助及远程认知康复的发展与应用. *中华物理医学与康复杂志*, 2003, 25:572-573.
- [19] Carignan CR, Krebs HI. Telerehabilitation robotics: bright lights, big future? *J Rehabil Res Dev*, 2006, 43:695-710.
- [20] Patton J, Dawe G, Scharver C, et al. Robotics and virtual reality: a perfect marriage for motor control research and rehabilitation. *Assist Technol*, 2006, 18:181-195.

(收稿日期:2007-01-20)

(本文编辑:熊芝兰)