

· 继续教育园地 ·

脑卒中康复治疗新技术

吴毅 贾杰 刘罡 白玉龙

随着医学水平的不断提高,康复医学事业也呈现快速发展的趋势,涌现了一批新的治疗思路和技术,这些新技术大多在传统治疗方法的基础上经过大量的临床实践不断改进而来,也有一些新技术的出现则是其他相关研究领域进一步获得突破的结果。国家高新技术研究发展计划(863 计划)项目也开始资助康复医学领域中新技术、新产品的研发,这为康复医学事业的发展奠定了较好的基础。本文重点将介绍几种用于或将用于治疗脑卒中后各种功能障碍的新技术和新方法,这些新技术的应用将大大提高康复治疗的功效,促进脑卒中患者各项功能进一步提高。

基于肌电信号分析的功能性电刺激

低频电刺激是指应用频率在 1 000 Hz 以下的低频脉冲电流治疗疾病的物理治疗方法之一。它主要通过电刺激来激发肌肉进行有节律的被动收缩运动。脑卒中患者常遗留肢体运动功能障碍而影响其日常生活活动能力。在脑卒中后早期,患者的偏瘫肢体主要表现为弛缓性麻痹,没有随意的肌肉收缩,或仅出现细微的联合反应,相当于 Brunnstrom 分期 I 期~II 期。此时,被动运动是康复治疗的主要运动形式。低频电刺激作为一种被动治疗,在脑卒中后偏瘫患者的早期康复治疗中已广泛应用。低频电刺激的作用机制可能是,电流刺激偏瘫肢体肌肉引起反复的被动运动训练,可增加肌肉的血液循环及营养代谢,促进神经兴奋性及传导功能恢复,加快运动功能的恢复^[1,2]。实验研究发现,低频电刺激可增加脑局部血流量、促进轴突发芽及新突触间联系的建立^[3]。

传统的低频电刺激在脑卒中后偏瘫康复的应用中具有价格低廉、使用方便等优点,但该技术也存在一定的局限,如缺少患者的主动参与、仅能促进单一肌群的运动功能而无法完成实用性运动功能的整合等,这些问题都可能影响低频电刺激对脑卒中后偏瘫患者的疗效。上世纪 60 年代,功能性神经肌肉电刺激的发明极大地促进了低频电刺激的发展。它是利用低频电流刺激,通过预先设定的程序来激发一组或多组肌肉的被动运动,从而增强肌力,纠正异常的运动模式、代偿肢体运动功能,以帮助患者提高日常生活活动能力^[4]。研究表明,反复进行相同的肢体运动对脑卒中患者的运动学习及功能恢复至关重要^[5]。采用功能性神经肌肉电刺激对脑卒中后偏瘫患者反复进行肢体的功能性被动运动是运动学习的过程,可强化轴突发芽及新突触间联系^[6]。同时,功能性神经肌肉电刺激可能通过表面电极刺激感觉和运动神经,易化大脑皮质重组^[7]。随着电子生物反馈技术的发展,一种由肌电生物反馈介导的低频电刺激,即肌电反馈电刺激,使低频电刺激治疗极具特色。它的工作原理是,当来自患者肌肉自主收缩产生的微弱的肌电信号达到或超过某一设

定阈值时,可立即转化为多种可视可听的感官信号,并同步启动神经肌肉电刺激,使患者肌肉进一步收缩,属于主动型电刺激治疗。这种治疗方法基于感觉运动整合理论,强调主动重复的随意运动而产生更为有效的被动运动,要求患者主动参与,有助于运动再学习,因此在运动功能恢复的作用方面优于传统的低频电刺激疗法^[8]。De Kroon 等^[9]对二种电刺激治疗脑卒中患者偏瘫上肢临床试验发现,肌电生物反馈电刺激比传统的低频电刺激更有利于偏瘫肢体运动功能的恢复,而且电刺激的疗效与刺激参数的设定、靶肌肉、脑卒中的分期等无关。

近年来,基于肌电信号分析的功能性电刺激控制系统将肌电信号引入到功能性神经肌肉电刺激治疗中,它将成为功能性电刺激研究应用的主要方向。它的作用原理是通过获取躯干上部的肌电信号,将其转换为功能性神经肌肉电刺激的刺激信号,从而实现瘫痪患者的步行功能^[10]。该技术可应用于偏瘫患者健侧控制患侧的运动训练,即根据偏瘫患者的健侧肢体运动时所产生的肌电信号,启动相应的动作模式程序,通过功能性神经电刺激仪作用于患侧肢体,激发其运动,同时通过检测患侧肢体的关节角度和肌力等运动参数来反馈调节刺激量,实现运动的协调性,从而将健侧肢体的运动模式相似地复制到患侧肢体上,重建患侧肢体的运动功能^[11]。目前,该系统仍处于实验研究阶段,今后将逐步应用于临床上,为脑卒中偏瘫患者提供更大的帮助。

虚拟现实技术

虚拟现实技术(virtual reality, VR)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),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。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,计算机可以精确记录用户的信息,并据此对虚拟环境进行调整。VR 系统根据其系统组成可分为 3 种类型:桌面式、大屏幕式和头盔式。目前应用较多的是头盔式,它能将观察景物的屏幕拉近到观察者眼前,这样便大大扩展了观察者的视角,同时在头盔上安装立体声和一些控制装置,更加增强了这种方式的沉浸感。

一、VR 在康复方面应用的重要性

现阶段在国内的康复治疗中,针对患者功能训练的治疗仍旧以治疗师的手法操作为主,或辅助一些简单的器械,即通过被动运动、辅助运动、主动运动和抗阻运动等来达到恢复运动功能的目的。这样,每个治疗师在同一时间仅能对一名患者进行治疗,而且训练过程单调无趣,患者总是处于被动状态,训练程度和效果不容易被治疗师及时地了解,不能做到将功能评测、运动疗法和心理疗法有机地结合在一起。例如,在作业治疗中,若想使脑卒中后的家庭主妇能够生活自理、学习烹调等,最好的康复治疗就是患者回到自己的家,自行训练烹调技术。但是要使每个作业治疗师到患者的家中指导患者进行训练是不现实的。而在康复治疗中引入 VR 就能很好的解决这些矛盾。通过 VR 模拟现实生活中的环境,在患者训练前、训练中和训练后,对患者

基金项目:国家高新技术研究发展计划(863 计划)项目(2007AA02Z482)

作者单位:200040 上海,复旦大学附属华山医院康复医学科,复旦大学上海医学院康复与运动医学系

受损部位的功能有一个客观的评定,并能够实时地调整训练计划和训练强度。并且,还可以利用计算机的优势,让患者在家中康复训练,治疗师进行远程指导^[12];并可同时对患者进行心理治疗,不断地给患者正确的心理暗示和鼓励,并配以优美的音乐和图像,增加训练的乐趣,起到事半功倍的作用。

二、VR 在脑卒中患者手功能康复方面的应用

近年来,脑卒中患者的康复治疗已有了较大的进展,但是由于手部的精细运动、神经支配的复杂性,手功能训练的效果不很理想。而运用 VR 可以对脑卒中患者的手功能进行针对性功能训练,包括改善关节活动度、增强肌力、增加速度和促进分离运动的产生等^[13]。

Merians 等^[14]将 VR 应用于脑卒中后手功能的康复治疗中,通过为期 2 周的 VR,观察它在改善脑卒中患者偏瘫手运动功能方面的作用。该系统由一个 Cyber 手套、一个罗格斯控制手套和一台计算机组成。为了训练手指的活动范围、分离运动、伸缩速度和肌力,该系统设计了 4 个有针对性的训练模型:第一个模型通过让患者擦拭窗户来训练拇指的活动范围;第二个模型通过抓球游戏针对手指的运动速度进行训练;第三个模型通过弹奏虚拟钢琴训练患者手指的分离运动;第四个模型使用罗格斯控制手套训练手指的力量。参加试验的 3 例患者均是右利手,病程为 3~6 年,均为左大脑半球损伤,3 例患者的患侧腕关节主动背伸应至少达到 20°,掌指关节主动牵伸达到 10°。试验中,使用手功能测试在训练前、后对每个患者的手功能进行测试,并在训练前、训练中期和训练后用测力计来测量患者的抓握力量。训练结束后,每个患者拇指的运动范围和肌力、手指的分离运动和运动速度都有了显著的改善。在进行 VR 之后,脑卒中患者的偏瘫手功能有了明显的改善,这就证明了这一训练系统在改善脑卒中患者手功能方面的有效性和可行性。但是,他们的试验并不能证明疗效是应用 VR 技术的结果还是在真实环境中进行训练的结果。随后,Boian 等^[15]对 4 例脑卒中患者进行了为期 3 周的 VR 训练。训练结束后,4 例患者患侧手指的关节活动范围增加了 20%,运动速度增加 10%~18%,最为明显的改善是手指分离运动的产生,从 40% 到 118% 不等。这次试验证明了对脑卒中慢性期患者单独进行以 VR 系统为基础的训练可以促进偏瘫手功能的恢复。

三、虚拟现实技术的应用前景

脑卒中患者手功能的恢复程度直接影响着患者的独立日常生活活动能力,在脑卒中患者的康复治疗 and 评估中引入 VR 是康复治疗发展的一个新阶段,它为脑卒中患者提供了一个与现实生活相关的环境,在这种环境中,患者能够进行有意义、有目的的训练;这种训练不是被动的过程,而是患者主动参与、与计算机进行互动、从而获得运动技能的过程。例如,患者可以对虚拟的物体进行移动、抓、放等操作,并沉浸在这种模拟环境之中;同时,患者可以实时地接受到关于自己操作的视觉的、听觉的、触觉的和嗅觉的反馈信息,根据这些信息,调整自己的运动,增加手指运动的灵活性,促进分离运动的产生。VR 不仅可以用来改善脑卒中患者的手功能,还可以用来改善步态、平衡功能、认知功能和空间忽略等多种功能障碍情况^[16,17]。康复医师和治疗师还可以根据患者的不同情况,制定个体化的训练任务,选择适合的难度,使患者在运动、认知和心理受损的情况下,树立重新康复的信心。此外,更重要的一点是 VR 对患者进行心理治疗成为可能,患者在轻松愉快的环境中进行训练,在很大程度上增加了患者的兴趣,对改善训练效果起到极大的作用。在

以后的康复实践中,可以逐步尝试将手、腕、肘及肩关节的功能训练整合到一起,增强硬件的通用性,简化操作系统,以较低的成本为用户制定安全的、个性化的训练环境,为脑卒中患者提供训练的机会,并将功能评估标准化。相信随着 VR 的进一步完善,脑卒中患者的功能恢复将会取得更好的效果。

旋律语调治疗

失语是脑卒中常见的后遗症之一,旋律语调治疗是近年来发展的一种针对脑卒中后失语症治疗的新技术。其主要方法是用一些富有旋律的句子做吟诵训练,学会使用夸张的韵律、重音、旋律来表达正常的语言。最近研究发现,旋律语调治疗后,可以重新激发大脑左半球的正常语言区域^[18]。目前其在临床上开展不广泛,主要应用于重度失语症或经其他语言治疗后效果不显著的患者^[19]。旋律语调疗法是通过运用失语症患者理解能力来歌唱的一种训练方法,感觉性失语症患者也适用此方法治疗。有学者采用旋律语调治疗对重度感觉性失语患者进行训练,取得显著疗效^[19]。

机器人在康复领域的应用

有学者研制了一种称作手-物体-手的系统,尝试对一只手功能受损的患者进行康复训练,成为脑神经康复机器人研究的起点^[20]。机器人具备许多优点,例如节省劳力,能够确保患者的安全性,长期、稳定地重复训练,记录详实的治疗数据及图形,提供了客观、准确的治疗和评价参数,提供实时反馈,精确控制运动、存储训练信息、提供患者科学训练模式,远程训练等^[21,22]。但目前康复机器人尚未达到真正的临床康复应用,然而近几年的相关研究表明此领域已引起人们关注。

对上肢康复机器人的研究相对较多。胡宇川等^[22]介绍了一种用于偏瘫上肢复合运动的机器人,它可带动患肢完成大范围、大幅度的复合动作训练,并可以实现主动、被动、抗阻、助力等多种训练模式,且具有较高的安全性。张秀峰等^[21]研制了一种新型神经康复机器人。该机器人采用二连杆机构模拟人体上肢,其中机器人大臂、小臂分别由两台伺服电机驱动,可以实现平面内的复合运动。另外,该机器人系统针对患者病情的不同阶段,可以提供相应的训练模式。而后学者^[23,24]提出了一种融合单、多关节及日常生活功能动作训练的 5 个自由度外骨骼式偏瘫上肢康复机器人系统,同时引入表明肌电图作为康复训练的控制信号,实现人机交互,根据患者意图实现康复训练动作。痉挛上肢机器人训练系统的设计也在研究之中^[25]。此外,一些相关的评估、分析方法也在逐步探讨中^[26,27]。

下肢康复机器人的研究也得到关注。王岚等^[28]设计了一种新型的助力机器腿,通过分析人在径向平面行走时腿部运动的特点,建立了基于广义坐标的逆运动学模型。采用三次样条插值的方法,结合经验数据设定插值点,进行了模型的髋关节和踝关节轨迹的求解。采用图像分析方法,得到了人体行走过程中髋关节和踝关节的轨迹,与得到的下肢运动学模型相比较,验证了理论分析的正确性。而国外对辅助步态训练的机器人也在进一步研究^[29]。

神经干细胞移植

近年来国内外学者开展了较多的基础研究,证实了中枢神经系统存在神经再生,并发现缺血性损伤后再生的神经细胞可

以分化为神经元和胶质细胞,可部分修复缺血性脑卒中所致的功能缺失。但是,损伤后单纯的内源性神经再生面临很多的难题,如细胞的存活比例极低,分化的神经细胞不具备特定的功能,无法与原有的神经网络进行整合等,严重阻碍了“以新生神经细胞替代损伤神经细胞功能”这一治疗策略的发展。近 20 年来,有关神经干细胞移植的研究取得了迅猛的发展,很多研究将重点集中在用神经干细胞移植治疗脑卒中后的功能障碍方面,取得了一定的效果。目前认为,神经干细胞移植治疗脑卒中后的功能障碍主要通过以下几种途径:①替代损伤细胞:有研究表明,移植入脑的神经干细胞可以迁移至损伤区并分化为成熟细胞,在免疫组化上表现出宿主细胞的特征;产生各种神经递质;形成树突并具有类似于成熟神经元的电生理特性^[30];②神经保护和免疫调节:移植的神经干细胞可以分泌各种神经营养因子,中和自由基、炎性细胞因子、兴奋性毒素以及下调损伤脑区炎性 T 细胞和巨噬细胞数量从而减轻脑组织的损伤^[31],有利于神经功能的康复;③促进损伤组织修复:神经干细胞的发育过程中产生的各种细胞因子,可以促进损伤神经组织轴突的芽生,并促进突触的形成^[32]。

但是,神经干细胞移植自身也存在一些问题,如:①安全性不能够确定:有实验表明神经干细胞移植会增加脑部肿瘤的风险;②存活分化率低:移植进入损伤脑组织后,只有较少的一部分细胞能够存活并分化为区域特征性的神经元或神经胶质细胞;③缺乏功能整合证据:目前对由移植的神经细胞分化而来的神经元是否具有成熟神经细胞的功能还缺乏统一的认识和明确的证据支持。这些都是目前限制神经干细胞移植治疗的主要原因所在,因而还需要进一步的研究来证实神经干细胞移植在促进脑卒中后神经功能恢复中的作用。

(测试题见本期 395 页,答题卡见本期 380 页)

参 考 文 献

- [1] Hamada T, Hayashi T, Kimura T, et al. Electrical stimulation of human lower extremities enhances energy consumption, carbohydrate oxidation, and whole body glucose uptake. *Appl Phys*, 2004, 96:911-916.
- [2] Vitenzon AS, Mironov EM, Petrushanskaya KA. Functional electrostimulation of muscles as a method for restoring motor functions. *Neurosci Behav Phys*, 2005, 35: 709-714.
- [3] 张艳, 黄如训, 吴金浪, 等. 电刺激对大鼠脑梗死运动功能及突触的影响. *中山医科大学学报*, 1998, 19:89-93.
- [4] Vitenzon AS, Mironov EM, Petrushanskaya KA. Functional electrostimulation of muscles as a method for restoring motor functions. *Neurosci Behav Phys*, 2005, 35:709-714.
- [5] Jones EG. Cortical and subcortical contributions to activity-dependent plasticity in primate somatosensory cortex. *Annu Rev Neurosci*, 2000, 23: 1-37.
- [6] Asanuma H, Pavlides C. Neurobiological basis of motor learning in mammals. *Neuroreport*, 1997, 8:1-4.
- [7] Rushton DN. Functional electrical stimulation and rehabilitation-an hypothesis. *Med Eng Phys*, 2003, 25: 75-78.
- [8] Chae J. Neuromuscular electrical stimulation for motor relearning in hemiparesis. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2003, 14:S93-109.
- [9] De Kroon JR, Ijzerman MJ, Chae J, et al. Relation between stimulation characteristics and clinical outcome in studies using electrical stimulation to improve motor control of the upper extremity in stroke. *Rehabil Med*, 2005, 37:65-74.
- [10] Graupe D, Kohn KH. A Critical Review of EMG-Controlled Electrical Stimulation in Paraplegics. *CRC Crit Rev in Biomed Eng*, 1987, 15: 187-210.
- [11] 毕胜, 鄢达来, 王福根, 等. 基于肌电信号分析的功能性电刺激控制系统及其应用. *中国康复医学杂志*, 2001, 16: 40-42.
- [12] Popescu VG, Burdea GC, Bouzit M, et al. A virtual-reality-based telerehabilitation system with force feedback. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 2000, 4: 45-51.
- [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] Merians AS, Jack D, Boian R, et al. Virtual reality augmented rehabilitation for patients post stroke: three case studies. *Phy Ther*, 2002, 82: 898-915.
- [15] Boian R, Sharma A, Han C, et al. Virtual reality-based post-stroke hand rehabilitation. *Studies in Health Technology & Informatics*, 2002, 85:64-70.
- [16] Castiello U, Lusher D, Burton C, et al. Improving left hemispatial neglect using virtual reality. *Neurology*, 2004, 62:1958-1962.
- [17] Katz N, Ring H, Naveh Y, et al. Interactive virtual environment training for safe street crossing of right hemisphere stroke patients with uni lateral spatial neglect. *Disabil Rehabil*, 2005, 27:1235-1243.
- [18] 张庆苏, 纪树荣. 失语症治疗的研究进展. *中国康复理论与实践*, 2006, 12:20-22.
- [19] 张玉梅, 王拥军, 周筠, 等. 失语类型与病变部位之间的关系的临床研究. *中国康复医学杂志*, 2005, 20: 352-352.
- [20] 王耀兵, 季林红, 王广志, 等. 脑神经康复机器人研究的进展与前景. *中国康复医学杂志*, 2003, 18:230-231.
- [21] 张秀峰, 季林红, 王景新. 辅助上肢运动康复机器人技术研究. *清华大学学报(自然科学版)*, 2006, 46:1864-1867.
- [22] 胡宇川, 季林红. 一种偏瘫上肢复合运动的康复训练机器人. *机械设计与制造*, 2004, 6:47-49.
- [23] 王东岩, 李庆玲, 杜志江, 等. 5DOF 穿戴式上肢康复机器人控制方法研究. *哈尔滨工业大学学报*, 2007, 39:1383-1387.
- [24] 王东岩, 李庆玲, 杜志江, 等. 外骨骼式上肢康复机器人及其控制方法研究. *哈尔滨工业大学学报*, 2007, 28:1008-1013.
- [25] Fazekas G, Horvath M, Toth A. A novel robot training system designed to supplement upper limb physiotherapy of patients with spastic hemiparesis. *Int J Rehabil Res*. 2006, 29:251-254.
- [26] 阳小勇, 王子羲, 季林红, 等. 上肢肩肘关节运动功能的综合性运动学评价指标. *清华大学学报(自然科学版)*, 2006, 46:172-175.
- [27] 季林红, 张宇博, 王子羲, 等. 基于自适应 Chirplet 分解的偏瘫肌强直症状评估. *清华大学学报(自然科学版)*, 2007, 47:627-630.
- [28] 王岚, 王婷, 张立勋, 等. 助力机器腿仿真研究. *机械设计*, 2006, 23:22-25.
- [29] Husemann B, Müller F, Krewer C, et al. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. *Stroke*, 2007, 38: 349-354.
- [30] Bühlmann C, Scholz A, Bernreuther C, et al. Neuronal differentiation of transplanted embryonic stem cell-derived precursors in stroke lesions of adult rats. *Brain*, 2006, 129: 3238-3248.
- [31] Ourednik J, Ourednik V, Lynch WP, et al. Neural stem cells display an inherent mechanism for rescuing dysfunctional neurons. *Nat Biotechnol*, 2002, 20:1103-1110.
- [32] Wieloch T, Nikolich K. Mechanisms of neural plasticity following brain injury. *Curr Opin Neurobiol*, 2006, 16:258-264.

(收稿日期:2008-05-14)

(本文编辑:阮仕衡)