

· 康复工程 ·

面向虚拟训练的脑卒中患者康复策略*

赵翠莲¹ 胡世东^{1,3} 李成梁¹ 范志坚¹ 金培勇²

摘要

目的:为了应对老龄化社会带来的数量日益剧增的脑卒中患者在康复训练上面临的严峻挑战,探讨基于虚拟现实的训练策略和方法对其功能康复的影响。

方法:通过分析虚拟世界和物理世界的特点与联系,并结合脑卒中患者的病理性特征,提出了一种基于虚拟现实的任务导向式的多模式康复训练策略。

结果:在该训练策略的基础上,开发了一套针对脑卒中患者上肢康复训练的可视化平台。

结论:初步形成了一套针对脑卒中患者康复训练的策略和理论,对基于虚拟现实的康复训练系统开发有一定的指导意义。

关键词 脑卒中;虚拟现实;虚拟训练;康复策略

中图分类号:R496,R743.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2012)-05-0452-06

A research on rehabilitation strategy of stroke patients oriented to virtual training/ZHAO Cuilian, HU Shidong, LI Chengliang, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2012, 27(5): 452—457

Abstract

Objective: In response to the severe challenges of rehabilitation in aging society that posed by progressively increasing number of stroke patients, to explore the influence of virtual reality based training strategies and methods on stroke patients' function rehabilitation.

Method: The characteristics and connection of virtual world and physical world were analyzed. Combining with pathological features of stroke patients, a set of virtual reality based task-oriented multi-mode rehabilitation strategy was proposed.

Result: Based on the training strategy, a set of visualization platform for stroke patients' upper extremity rehabilitation was developed.

Conclusion: A set of strategy and theory for stroke patients' rehabilitation training has been formulated. It can be used to develop and to guide the virtual reality based rehabilitation system.

Author's address Shanghai Key Lab of Mechanical Automation and Robotics, School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai, 200072

Key word stroke; virtual reality; virtual training; rehabilitation strategy

资料表明^[1],大约80%左右的脑卒中患者伴有肢体功能障碍。传统的康复方法主要是治疗师手把手地对患者进行单一的运动治疗及作业治疗^[2]。这些方法效率不高,过程枯燥,强度也难以保证。一些研究中引入机械手或机器人技术^[3-5],由于康复机械

与康复机器人势必要与人紧密联系在一起,因此十分强调系统的安全性和可靠性。国外有些康复设备已在国内一些康复中心使用,但费用昂贵。同时,由于缺乏训练和康复效果间的评价参数,无法对患者的训练情况进行及时的反馈。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2012.05.015

*基金项目:上海市重点学科建设项目资助(Y0102);上海市科学技术委员会重点科技攻关项目资助(10441900800)

1 上海大学机电工程与自动化学院上海市机械自动化及机器人重点实验室,上海,200072;2 上海市静安老年医院康复科;3 通讯作者
作者简介:赵翠莲,女,教授;收稿日期:2011-12-23

虚拟训练是指将虚拟现实技术与康复训练相结合来提高患者的功能恢复能力^[6]。美国鲁特格斯大学设计了一套基于个人计算机的虚拟现实增强系统,用于脑卒中患者手部功能的训练^[7];美国威斯康星医学院研制了一种个人计算机辅助康复训练设备,通过计算机游戏激发患者进行运动训练^[8]。国内的宿春慧等^[9]提出了在普通计算机上集成数据手套和位置传感器的虚拟训练系统。虽然这些研究实现了娱乐式交互训练过程,但并没有形成一套完整的规范化康复训练策略。本研究旨在提出一种针对性的运动模式来恢复患者在日常生活所需的运动技能,增强患者的训练兴趣,提高康复效果。

1 目标训练者康复阶段的划分

目标训练者的划分层次是决定能否正确选择与个体特征相适应训练方式的关键因素,它也直接关系到该训练交互设备的适宜性。脑卒中偏瘫是由中枢神经损伤所引起的痉挛性瘫痪,根据国际上普遍认可的Brunnstrom偏瘫运动功能分期评定法^[10]将偏瘫恢复划分为六阶段,即阶段Ⅰ:弛缓期、阶段Ⅱ:痉挛期、阶段Ⅲ:联合运动期、阶段Ⅳ:部分分离运动期、阶段Ⅴ:分离运动期、阶段Ⅵ:运动大致正常。在阶段Ⅰ,患者肢体失去控制能力,随意运动消失,肌张力低下,腱反射减弱或消失。在阶段Ⅱ,腱反射亢进,肌张力增高,联合反应、共同运动出现。在阶段Ⅲ,共同运动随意出现,显示有关节运动,痉挛进一步加重,达到高峰。在阶段Ⅳ,已经出现部分分离运动。在阶段Ⅴ,痉挛减弱,基本脱离共同运动,出现分离运动。在阶段Ⅵ,痉挛基本消失,协调运动正常或接近正常。

2 交互式康复训练策略设计

在传统的游戏设计中,策略是为了战胜挑战,取得胜利的,策略可以让玩家针对挑战做出选择,有利于游戏的交互性。虚拟训练与传统的计算机游戏在游戏策略设计上是有较大区别的,它特别强调交互的针对性和训练部位的科学性。除了具有传统游戏的艺术性、趣味性、交互性外,更重要的是训练的真实性、实用性、挑战性和交互训练设备的适宜性。

2.1 训练的真实性要求

虚拟环境的真实性要求用户能产生较强的立体感和临场感。虚拟世界的场景、操作物、目标物要与物理世界的背景、人体、工作对象形成映射关系。如图1所示,在虚拟世界中,创建的三维空间几何体需要添加光照、材质、纹理和各种特效表达等,即赋予模型物理属性。在场景的设计上,要求场景颜色给人一种温馨、亲切的感觉,可以采用低饱和度的暖色系列^[11],也可以在大面积冷色系列中点缀暖色。在操作物的设计上,要根据训练部位的需求来特定设计。既要来源于现实生活给人一种精确、有效、安全的感觉,又要能激发好奇心。在虚拟世界中有时需要使用某些特定的操作物,它们均能在物理世界中找到其原型,这类操作物被称为工具块。在训练中,可以设计虚拟人、虚拟手和各种特定的工具块来操作目标物。如在虚拟训练中使用铁锹来铲除杂草,铁锹就属于工具块。在目标物的设计上要求其在背景中尺寸突显、颜色鲜艳,同时要符合人的生理和心理需求。目标物的尺寸、色彩、运动状态等要与物理世界的工作对象相匹配。为了在虚拟世界中最大限度地模拟真实的物理世界,还要考虑速度、重力、动量、运动碰撞检测等相关物理因素。在三维动画处理方面,要应用计算机图形学相关算法来实现物体每一帧的绘制和渲染。

生物反馈是一种通过视觉、听觉、触觉等作用提供人体生理活动的信息,包括血压、心跳、生物电等来增加自动控制生理活动能力的技术^[12]。在患者进行某个动作训练时可以使用生物电作为输入源来控制目标物,同时提供视觉反馈。根据背景变换、目标化变化、训练进程等因素配置不同的音乐,给以听觉反馈。在音乐设计上,背景音乐要轻缓、柔和,给人一种舒适、轻松的感觉;操作成功时,音乐要愉悦、清脆,能给人一种激励;操作失败时的音乐要短暂、急促,能给人带来一种警示的同时又不会打破患者内心的平静。各种不同交互设备的使用可以增强用户的触觉感受。所以生物反馈的应用可以使患者能够安全地进行自我训练,并获得愉快的真实体验。

2.2 训练的实用性要求

在策略设计上还应关注训练的实用性,即康复训练的目的在于有助于患者快速回归生活自理能力。实用性是建立在脑损伤后运动再学习、神经可塑性

图1 虚拟世界与物理世界映射图

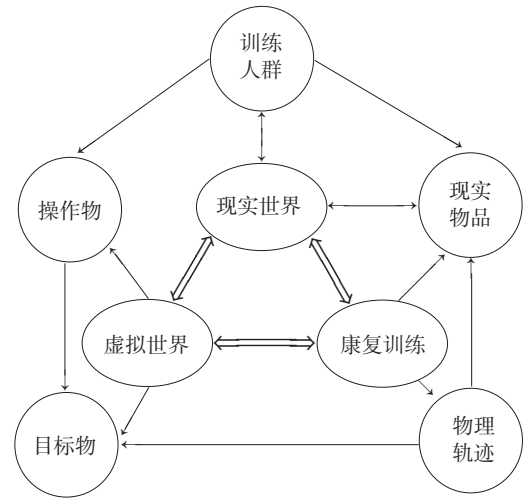


及功能恢复的理论基础之上^[13-14]。肌收缩和肌舒张是维持人体健康和运动能力的基础,而人体的运动最终是通过肢体的物理运动轨迹来实现。现实世界、虚拟世界和患者功能康复训练之间的关系如图2所示,根据训练需求,患者与其生活环境中所接触的物品均来源于现实世界,在虚拟世界中有针对性地选择操作物和目标物,并配合肢体相应的物理运动轨迹来实现操作物对目标物的操作,而这些肢体的运动轨迹又是在现实生活中患者实现日常生活自理能力的必须环节。在训练过程中,为了训练大脑思维和认知能力,可以通过设计一些简单有趣的智力题,同时配合某一肢体的运动来完成解答;训练下肢小腿关节,可以通过小腿关节的屈曲运动来踢动虚拟世界中的足球并射入球门;还可以通过肢体的混合运动来完成一项复杂的综合性训练。患者在虚拟环境中不但能学会运动技能,并且能将其习得的运动技能迁移到现实世界中^[15],这些运动技能都是患者在正常生活中需要具备的运动能力,对其生存质量的提高具有十分重要的意义。

2.3 训练的挑战性要求

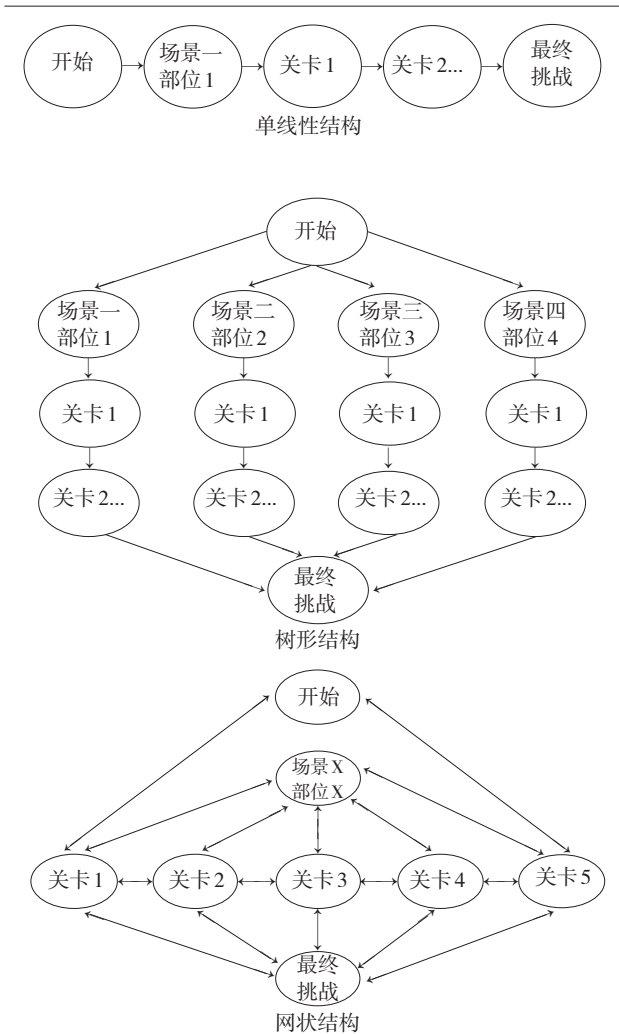
每个游戏的挑战都要在关卡难度上有所上升,训练也必须通过关卡来实现。关卡的设计上要逐步升级,提升难度。在训练最初,可以进行最简单的适应性训练,然后逐步升级,提升难度,直至患者在理

图2 虚拟世界、现实世界、功能康复关系图



论范围内能完成的最艰难的事件出现。整个关卡设计中要遵循游戏设计理论的平衡、游戏紧张感和挑战^[16]。如果关卡结构设计的太简单,患者很容易产生厌倦和疲惫,如果设计得太难,又容易产生挫败感。合理的关卡设计应该让患者通过努力,逐一攻克各个关卡难度,每个关卡都可设置有趣的目标和奖励,而每个关卡的小目标都要为最终目标服务。患者实现了各个关卡的小目标后再完成最终目标的挑战,整个训练才会充满挑战性。

图3 三种关卡结构



训练关卡与关卡之间的关系可以是线性的,也可以是非线性的。线性关系中包含单线性结构和树形结构,这种结构存在着明显的前因后果关系。非线性结构也被称为网状结构,是一种开放型结构,各分支交点可以相互跳转。这三种结构分别如图3所示。在线性关系中,每个关卡都有一个特定的目标,训练中每一个关卡在结束时都对应一个新的目标,每个关卡在难度上都会持续上升,在最终挑战中难度到达最高点。线性结构的每一关卡的场景对应特定的训练部位,适合单一基本动作的训练。在非线性关系中,患者可以选择进入任何关卡进行训练,而不必从头开始来依次完成指定的关卡,每一关卡中训练场景和训练部位随机,适合多场景下的综合动

作训练。使用非线性结构可以增添训练的不可预测性和神秘感。

2.4 交互训练设备的适宜性要求

一款康复训练产品拥有真实感的界面,动听的音乐和丰富的剧情是不够的,还必须具有良好的操作方式,而良好的操作方式取决于患者对交互设备的适宜性。在训练中,交互设备的使用能将肢体运动的物理轨迹映射到虚拟世界。人机交互设备是用户与游戏沟通时真正接触到的实体界面,交互效果直接关系到训练的质量。传统的交互设备主要是鼠标、键盘、操纵杆等设备,对脑卒中偏瘫患者来说显然是不具有通用性的。数据手套、运动传感器、生理信号传感器、电荷耦合图像传感器(charge-coupled device imaging sensor, CCD)等交互设备的开始逐渐应用于医学康复中,因此需要根据患者的康复级别合理选择和开发适用于各种康复级别的交互设备。在上海市静安老年医院针对常用的几种交互设备的适宜性做了测试性试验。实验实施方法具体如下:

实验目标人群:选取12名编号分别为A→L;年龄均分布在50—75岁之间;病情稳定,意识清醒,能积极配合实验;无言语和视力障碍;无精神病史;无大量饮酒或滥用药物。每个被试在实验前都知情并同意进行试验。见表1。

表1 目标人群基本信息表

编号	性别	年龄(岁)	患手	利手	康复阶段
A	男	51	左	右	I
B	女	56	左	右	
C	女	65	左	右	
D	男	70	左	左	II
E	男	57	左	右	
F	女	68	左	左	III
G	男	63	右	右	
H	男	59	左	右	IV
I	女	53	左	左	
J	男	68	左	右	V
K	男	71	左	左	
L	女	55	右	右	

实验设备:试验台、固定支架、计算机、康复训练配套软件产品、交互设备(肌电采集设备、运动传感器、CCD、鼠标)、电极片、医用酒精、医用胶带等。

实验方法:运行计算机中的康复训练配套软件产品,针对不同级别的训练个体,选择不同的康复训练游戏。根据训练的要求分别用患手来独立操作这

表2 实验结果

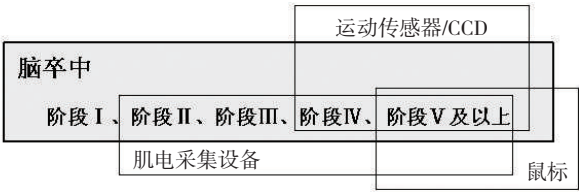
编号	肌电采集设备	CCD	运动传感器	鼠标
A	0	0	0	0
B	0	0	0	0
C	1	0	0	0
D	1	0	0	0
E	1	0	0	0
F	1	0	0	0
G	1	1	1	0
H	1	1	1	0
I	1	1	1	1
J	1	1	1	1
K	1	1	1	1
L	1	1	1	1

四种不同的训练交互设备进行相应的测试。

实验结果:见表2所示,表中主要描述的是每位患者对4种不同的交互训练设备的使用情况,如能正常使用此设备,表格中标记为1,否则就标记为0。

实验结论:初步得出了肌电采集设备、运动传感器、CCD、鼠标这四种设备针对不同康复训练级别的实用性结论,如图4所示。

图4 四种常用交互设备的适用性结论



3 应用实例

本研究利用上述开发策略并结合虚拟引擎技术开发了一种基于计算机的虚拟训练仿真系统。浇花训练就是其中一个很典型实例,本训练的交互设备采用的是运动传感器,由前面的临床试验可知,处于阶段IV及以上的脑卒中偏瘫患者使用此设备进行前臂旋转动作训练的适用性较好。健康人的上肢前臂以肘关节为原点,可以完成前臂旋前、前臂旋后、中立位三种基本动作,而脑卒中上肢偏瘫患者是根本无法完成的。前臂关节运动是生活中所涉及的一种十分重要的运动,最常用的就是使用茶壶给茶杯倒水的动作。通过浇花游戏的针对性训练,患者能够快速将训练中的运动轨迹迁移到现实生活中。

训练分为三个关卡,每个关卡的难度区分主要

有三个因素,即:旋转角度 θ (弧度),每个生长期所需浇水时间 t (秒),种植盆数 n 。每盆花的种植都要经历4个生长阶段,即:种子期到嫩芽期、嫩芽期到枝条期、枝条期到花苞期、花苞期到花朵期。每个生长阶段都需要浇满一次浇完一壶水才会进入下一阶段,壶里的水用完后必须旋转水壶到平衡位置完成自动加水。训练开始前,可以看见阳台上只有一个装着一粒种子的花盆,水壶处于平衡位置并已自动加满水。训练开始后伴随着愉悦的背景音乐,患者旋转佩戴着运动传感器的前臂,运动传感器可以采集到患者运动的空间位置信息。通过硬件接口技术,场景中的水壶会跟随前臂做同步旋转运动,每次转过 θ 角度,水壶开始出水,并保持数秒来完成1次浇水。每完成一个生长阶段就会有提示音响起,每当种植完一盆花就会伴随着持续数秒的激励声音和闪烁的五彩灯光。种植完毕的花盆放置在阳台上,同时阳台上会重新出现放置着一粒种子的花盆,重复以上步骤,直到种植的花盆到达设定数目,训练结束。选取界面如图5所示,可以看出训练进行到某一关卡,场景中已经种植完第一盆花,第二盆花正处于花苞期。

此训练项目初始设计为3个关卡,每个关卡都要求在总时间300s内完成。相关参数设计见表3。

浇花训练的关卡结构为线性的,训练难度随着游戏进程的发展而增加,难度的增加所带来的挑战是在不断递增的关卡上体现的。在总时间保持不变

图5 游戏训练场景

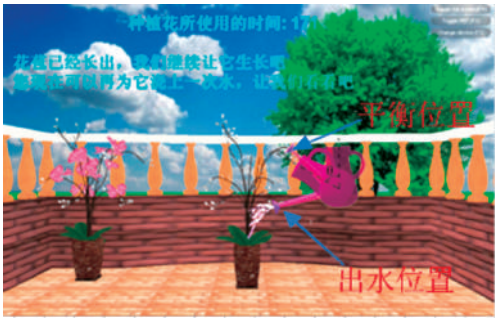


表3 关卡设计相关参数

关卡	盆数	θ	时间(s)
关卡1	2	$\pi/6$	2.5
关卡2	4	$\pi/4$	4
关卡3	6	$\pi/3$	5.5

的前提下,每个关卡通过种植数量的增多加大了任务量,这就要求患者提高旋转速度; θ 角度的增加扩展了前臂的旋转范围,这就要求患者在心理上逐渐提高耐力水平同时还应提高旋转速度;时间的延长提高了抗重、抗阻强度,这也就要求患者在提高耐力水平的同时通过提高旋转速度来减少从平衡位置到出水位置的时间。在训练中悦耳的音效,不断变换的目标物,五彩缤纷的灯光等效果使患者得到有效的反馈和激励,使训练中充满了悬念和期待,增强了患者的积极性和主动性。

4 结论

本文提出了一套康复训练策略能够有效结合现代信息技术和计算机技术,形成一种基于计算机的具有人机交互功能的多模式康复训练产品。脑卒中患者康复训练策略设计的前提是根据现代康复医学理论将患者分级训练,然后提出与每一级别相适应的训练方案。该策略能够将虚拟现实的优势与康复医学、数字娱乐有效地结合起来,为患者提供多模式人机交互下的虚拟训练,特别注重虚拟环境的真实感,训练的实用性,训练的挑战性,训练交互设备的适宜性。针对上述康复训练策略,通过自研的上肢虚拟训练平台在上海市静安老年医院进行了相应的试验,验证了该策略的可行性和系统的适用性。该策略只是提出一个总体的康复训练方案,针对不同康复级别患者的实际病情和不同训练部位的具体要求,还需要进一步的细化研究。

参考文献

- [1] 胡永善,吴毅,刘世文,等. 三级康复治疗改善脑卒中偏瘫患者综合功能的临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(1): 3—8.
- [2] 张竹青,孙启良,白伟,等. 脑卒中偏瘫上肢的作业治疗[J]. 现代康复, 2000, 4(4): 495—497.
- [3] Peter S. Lum, PhD, Charles G. Burgar, et al. Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2002, 83(7): 952—959.
- [4] 李会军,宋爱国. 上肢康复训练机器人虚拟环境建模技术[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(44): 8877—8881.
- [5] Sai K. Banala, Seok Hun Kim, Sunil K. Agrawal, et al. Robot assisted gait training with active leg exoskeleton[J]. Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2009, 17(1): 2—8.
- [6] 刘向群,吴彬. 虚拟现实案例教程[M]. 北京:中国铁道出版社, 2010: 1—3.
- [7] David Jack, Rares Boian. Virtual reality enhanced stroke rehabilitation[J]. IEEE Transactions on Neural System Rehabilitation Engineering, 2001, 9(3): 308—318.
- [8] Johnson MJ, Trickey M, Brauer E, et al. A new stroke therapy concept for home-based, computer-assisted motivating rehabilitation[C]. Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2004, (9): 4844—4847.
- [9] 宿春慧,杨方廷,涂颖. 基于数据手套虚拟训练系统的研究与实现[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(1): 189—192.
- [10] 丁新华,尤春景. 脑卒中患者Brunnstrom分期及其运动功能恢复[J]. 中国康复, 1996, 11(3): 110—111.
- [11] 张成忠,吕屏. 设计心理学[M]. 北京:北京大学出版社, 2007: 102—106.
- [12] Sha MA, Martin VARLEY, Lik-kwan SHARK, et al. EMG biofeedback based VR system for hand rotation and grasping rehabilitation[C]. 14th International Conference Information Visualization, 2010: 479—484.
- [13] 杨晓响,王君,罗跃嘉. 认知功能障碍的评估和康复策略[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(9): 849—853.
- [14] 陈兆聪,黄真. “运动再学习”疗法在脑卒中康复治疗中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(11): 1053—1056.
- [15] Burke JW, McNeill MDJ, Charles DK, et al. Serious games for upper limb rehabilitation following stroke[C]. Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 2009: 103—110.
- [16] 贾颖. 游戏策划理论及方法研究与实现[D]. 上海:上海交通大学, 2009.