

虚拟现实技术在特殊儿童教学与训练中的应用研究^{*}

王庭照¹ 许琦² 赵微¹

(1. 陕西师范大学教育学院, 西安 710062; 2. 西安市第二聋哑学校, 西安 710043)

摘 要: 虚拟现实技术在特殊教育领域中的应用既是一种新的尝试, 又是一项具有广阔发展前景的课题。本文阐述了近年来虚拟现实技术在肢体障碍儿童、视力障碍儿童、听力障碍儿童及其它类型特殊儿童教学、治疗与训练中的应用研究, 并针对当前存在的问题提出建议: (1) 联系特殊儿童评估专家, 制订科学的治疗和评估标准; (2) 尊重特殊儿童发展的基本规律, 注重多种方法的综合使用; (3) 强调人文关怀和回归主流, 强化各类特殊儿童社会适应能力的训练; (4) 结合我国特殊教育的发展实际, 争取多方人员的积极配合。

关键词: 虚拟现实; 特殊儿童; 教学; 训练

近年来, 随着我国社会与经济的发展, 特殊教育得到政府和社会各界越来越多的关注。2010年7月, 国务院颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》明确指出, 要关心和支持特殊教育, 提高残疾学生的综合素质。特殊教育面向的诸如肢体障碍、视力障碍、听力障碍、智力障碍、自闭症等类型的特殊儿童, 大多存在不同程度的生理或心理障碍, 不能像普通儿童那样有效地通过各种信息渠道感知周围的世界, 从而给他们的学习和生活带来诸多不便和困扰。那么, 如何通过有针对性地康复训练与教育, 帮助他们克服障碍、发挥潜能, 使其尽快地学得生活技能、融入主流社会, 就成为特殊教育工作者的毕生追求。

2012年12月, 教育部发布的《关于加强特殊教育教师队伍建设的意见》指出, 坚持“特教特办”, 开展特殊教育教师教育技术能力专项培训, 促进特殊教育教师专业发展常态化。从教育技术近些年的发展看, 虚拟现实(Virtual Reality, 简称VR)技术自上世纪80年代诞生之日起, 就表现出独特的优越性。基于VR的虚拟教学系统有利于学习者在系统所设置的虚拟场景中, 直观立体地了解显性知识, 通过反复操练加强对意会知识的理解和掌握, 有助于提高教学的效率和效果。^①VR技术的不断革新不仅为教育技术的发展注入新生力量, 更为特殊儿童康复训练与教育水平的提高带来了巨大的发展机遇。

在VR技术创设的仿真与即时反馈环境中, 特殊儿童可以充分调动视觉、听觉、触觉等感觉器官进行学习和训练, 不仅弥补了传统教学方式和康复治疗的不足, 更提高了相关操作的安全性和实效性。但是, VR技术在特殊教育中的应用还处于起步阶段, 一些特殊教育工作者还没有认识到该

^{*} 基金项目: 上海市哲学社会科学规划教育科学研究重点项目“自闭症儿童社会认知的虚拟现实与真实情景的比较研究”(A1007)、中央高校基本科研业务费专项资金重点项目“特殊儿童视知觉加工特征及教育干预策略的眼动研究”(10SZDD04)。

项技术的价值所在,更不具备基本的使用和操作技能。基于此,本文拟对 VR 技术近年来在特殊教育不同领域中的研究成果及应用进行阐述,并针对当前使用中存在的问题提出建议。

一、肢体障碍儿童的肢体康复训练

肢体障碍儿童接受康复训练与治疗的目的是掌握一定的知识技能,提高活动能力和增强社会适应性。^②在传统肢体康复训练中,由于训练单调枯燥、动作反复,很容易使他们产生厌烦情绪,不利于康复的顺利开展。黄靖远等人认为,现有康复器械不能将功能测评、运动治疗及心理治疗三方面有机结合在一起,尤其是无法将心理治疗贯穿治疗过程的始终。而 VR 技术可以很好地解决上述问题,提供测评、辅助、监控、训练等技术,使训练效果更为显著。^③

(一) 基于 VR 的上下肢康复训练

VR 技术在环境创设上的优势为肢体障碍儿童提供了新的肢体康复训练方式。儿童不仅可以在虚拟环境中扮演训练角色,与虚拟环境进行互动,还可以看到 VR 系统提供的反馈信息,及时调整训练计划。这种新颖的训练模式在为儿童提供个性化的训练方案和量化评估的同时,也可以增加训练的趣味性,激发儿童治疗的积极性,从而有利于他们的身心健康发展。相关研究表明,肢体障碍儿童不仅能在虚拟环境中学会运动技能,而且能将习得的运动技能迁移到现实世界的真实环境中。^④

在上肢的康复治疗中,VR 技术可以使儿童像在真实环境中一样用手操作相应的虚拟物体,来进行手部精细动作的训练。例如,可以通过系统生成圆锥体、分指板等虚拟物体,并根据儿童手的大小和恢复情况进行物体大小和形状的调整。英国爱丁堡大学的 Wann 和 Turnbull 开发了一个实时计算机反馈系统(RTF),通过控制不同的虚拟游戏场景来治疗肢体障碍儿童,结果表明,使用 RTF 训练的儿童比使用传统治疗方案的儿童有更好的运动表现。^⑤美国加利福尼亚大学的 Sanchez 等人研制出一套用于上肢康复的“外骨骼式训练系统”,将画面、语言、音乐等感官刺激融入生动、有趣的虚拟游戏中,极大地促进了儿童训练的主动性,提高了康复训练的效果。^⑥

在下肢的康复训练中,日本香川大学的 Wada 等人和康复医学部门合作开发了一套“虚拟现实滑雪系统”,儿童可以通过下肢的左右摆动来控制虚拟的滑板,进行有趣的虚拟滑雪训练,达到恢复下肢运动功能的目的。^⑦在国内,清华大学的黄靖远等人研制了“康复用虚拟现实健身车”,儿童能以轻松愉快的自行车骑行方式,训练和恢复受损的下肢运动功能。^⑧哈尔滨工程大学的张立勋等人开发了“下肢康复机器人虚拟现实仿真系统”,通过网络远程监控康复机器人的运动状态,在线调整康复机器人的控制参数,并在控制端进行虚拟仿真,使治疗师能在控制端直观了解儿童的训练状态,为治疗师远程指导儿童进行康复训练提供了平台。^⑨

(二) 基于 VR 的生活技能训练

有研究者认为,VR 技术在模拟真实生活场景,提供日常生活技能训练方面,具有传统训练不可比拟的优越性。^⑩肢体障碍儿童在 VR 技术创设的虚拟生活环境中,通过操纵种类繁多的训练器材来提高日常生活技能。由于训练器材具有虚拟性,操作中出现的困难或失误不会对儿童的身心造成伤害,有较高的安全性能。加拿大蒙特利尔大学犹太康复医院和魁北克康复研究协会合作开发了一套基于 VR 技术的“多自由度反馈控制下肢训练器”,设计了动态的过街三维场景,场景中包含了使用者本人、正在行驶的汽车和行人等。研究表明,这种有较强真实感的步行过街训练,不仅锻炼了肢体障碍儿童的步态和步速,还增强了他们的社会适应性。^⑪加拿大渥太华大学的 Kayyal 等人为肢体障碍儿童设计了置物架训练、倒茶训练和盛汤

训练三种不同难度等级的虚拟训练场景,儿童可以使用具有触觉反馈的数据手套进行相应的操作训练。场景中的虚拟物体可以设定不同的重量值,实现了由简到繁、由易到难的训练过程,培养了肢体障碍儿童独立解决生活问题的能力。^⑫

二、视力障碍儿童的视觉康复训练

视力障碍包括盲和弱视两类。在儿童视觉发育早期,积极正确的弱视治疗会产生良好的效果。但处于该时期的儿童认知能力差,很难配合与坚持单调乏味、训练周期长的传统疗法。因此近些年来,眼科工作者就试图寻找一种既能激发儿童训练兴趣,又能提高治疗效果的 VR 治疗新方法。

(一) 基于 VR 的弱视治疗

英国诺丁汉大学的 VR 技术人员和皇后医学中心的眼科医生合作开发了一套互动的“双目处理系统”,为弱视儿童提供交互式 3D 游戏和视频。研究表明,该系统可以提供一种令人轻松、愉快的治疗方法,可以使儿童在较短的时间内获得较为理想的疗效。^⑬在国内,我国眼科专家也进行了类似的探索,研发出“增视能”系统软件,将弱视治疗与虚拟场景融于一体。该系统采用多种刺激模式,一方面提高弱视眼视力,弥补传统疗法的不足;另一方面帮助儿童建立正常的双眼视觉功能,促进其视觉功能及身心的健康发展。^⑭

临床报告表明,“增视能”系统软件具有针对性强、易操作、多样化、儿童乐于接受等优点,其训练效果优于传统疗法,尤其对屈光不正性弱视、轻度弱视的治愈效果最好。^⑮任小军等人在运用该系统软件对不同年龄弱视儿童进行治疗时指出,由于训练过程中要用手控制鼠标,需要儿童具备一定的手眼协调能力,因此年龄过小的儿童不适合使用该系统。^⑯在另一项研究中,他们强调了弱视的早期发现和早期治疗,并建议有条件的家庭尽早使用该软件进行训练。^⑰此外,该系统软件可以随时查看治疗效果,及时调整训练计划,增强了训练方案制订的科学性。

(二) 基于 VR 的视觉功能缺损类型研究

传统的视觉功能缺损类型以视力表的检查为依据,划分为屈光不正性弱视、屈光参差性弱视、斜视性弱视三种类型,并区分为轻度、中度、重度三个等级。阎丽等人运用“基于感知觉学习的儿童视觉及智能虚拟现实数据库系统”对 323 例弱视儿童进行视功能缺损检查,按照视觉信息加工缺损类型将弱视划分为“低级视功能缺损”、“高噪声型视功能缺损”及“高级视功能缺损”三种,得到了较好的区分效果。^⑱并进一步指出,今后在对弱视儿童进行诊断时,应在传统视力表测量其视力水平的基础上增加对其视觉状态的评估,并以此为依据进行针对性治疗,修复其视觉功能障碍。根据“基于感知觉学习的儿童视觉及智能虚拟现实数据库系统”的评估结果,研究者对 174 例不同视觉缺损类型的弱视儿童采用不同的视觉刺激组合方式进行治疗,达到了最佳治疗效果。^⑲

三、听力障碍儿童的语言训练和课堂教学

听力障碍包括聋和重听两类。聋童由于听力严重缺损导致不同程度的语言障碍,对外界信息的加工更多依赖视觉、触觉等其它感觉通道,重听儿童则由于听不清周围声音,难以与他人进行顺畅的口语交流。因此,在听力障碍儿童的教学和训练中要充分利用“缺陷补偿”理论,向他们提供直观、形象的视觉刺激,调动其它感觉器官共同参与知识获得过程,并进行相

关语言训练,帮助他们建立言语和视觉刺激间的联系。

(一) 基于 VR 的语言训练

VR 技术不仅能为听力障碍儿童呈现多种多样、色彩丰富的画面内容,激发他们对视觉画面的兴趣,培养他们学习语言的主动性;而且可以把语言教学的重点、难点形象化,使听力障碍儿童能把视觉画面与语言信息联系起来,提高理解语言的能力。冯霞、胡永斌提出运用 VRML 语言和 3DMAX 及 Poser 相结合的方式,开发虚拟现实聋童言语训练系统。^③该系统可以设计出动态的虚拟教师、虚拟同学等人物,模拟真实学习场景和日常生活情境,使聋童获得更多的语言信息和情绪体验,促使他们产生与人交流、沟通的愿望。

手语是听力障碍儿童喜爱的特殊语言,也被认为是他们的母语。相关研究表明,手语与有声语言的绝大多数功能区是叠合的,具有独立的语言地位。^④2002 年,中国科学院计算技术研究所的王兆其等人基于异质模式的交互理论,提出了基于多功能感知的人-机-人交互机理与模型,通过 VRML 人体建模技术设计出首例三维虚拟人手语识别和合成系统。^⑤在该系统中,手语识别是通过数据手套采集聋童手部各关节的原始传感数据,由计算机识别后翻译成文本,再运用语音合成技术由虚拟人将手语信息表达出来;而手语合成则是将健听人的话语通过语音识别技术转换成文本,再由计算机将文本翻译为手语由虚拟人表现出来。2006 年,哈尔滨工业大学智能计算研究中心进一步研发出在电视、移动通讯设备(如手机)上运行的手语合成系统,系统包含了虚拟人手势拟合子系统、手语词库管理编辑子系统和汉语手语机器翻译子系统。^⑥该系统可以使聋童畅通无阻地获取更多的信息,使他们与健听人之间的交流更为方便,具有广泛的应用前景和重要的社会意义。

(二) 基于 VR 的课堂教学

虽然传统的听力障碍儿童课堂教学已经使用了多媒体等现代教育技术手段,创造了丰富直观的视听情境,但是难以保证儿童的课堂参与度,教学效果不甚理想。VR 技术可以针对听力障碍儿童的生理、心理特点,为他们创造一个资源丰富的虚拟教学情境。^⑦VR 技术可以以听力障碍儿童为中心进行设计,实现儿童对事物的全方位认识,充分满足他们的身体、情感和认知需要,极大地增强了他们学习的参与度和自主性。

美国的 Nicoletta 研发了一个适于幼儿园聋童数学教学的 VR 游戏原型。^⑧在此原型的基础上,他开发了两个交互式虚拟环境(钟表店和面包店),其中包含了一系列基于小学数学课程标准的思维活动训练,聋童可以自主选择商店里的物品,并与虚拟售货员进行手语交流,以此来提高其数学技能。在学习结束之后,还有诸如任务发展评估、专家组评估和形成性评估等一系列评估方法来测量聋童的成就表现。Passig 和 Eden 认为听力障碍儿童由于听力受损,导致他们在思维流畅性上存在着不同程度的困难,而虚拟现实 3D 空间旋转的视觉效果与传统的 2D 图像相比,可以明显地改善听力障碍儿童的感性思维能力和思维灵活性。^{⑨⑩} Jennifer 等人设计了一个 VR 教室,为聋童提供仿真的生活情境(例如安全过马路、火灾消防演习、避免陌生人伤害等),鼓励他们对不同的情境做出合适的决策,旨在帮助聋童在无风险的学习情境中习得各种生活技能,避免真实生活中可能会遇到的困难和危险。同时,通过可用性、喜爱程度和知识迁移程度等多方面的指标来评估系统的有效性。^⑪

四、其他类型特殊儿童的治疗训练

(一) 基于 VR 的注意缺陷多动障碍儿童的诊断与治疗

注意缺陷多动障碍是一组以注意力缺损、多动、冲动为主要表现特征的行为-情绪综合

症候群,是儿童期最常见的行为障碍之一,对儿童的学习和社会适应均产生极为不利的影响。^②因此,评估儿童的注意力特征并有针对性地对他们进行训练和教育显得尤为重要。在注意缺陷障碍诊断中,VR 技术可以控制虚拟系统中的一系列噪音作为干扰刺激,从而有效区分注意缺陷障碍儿童。^③Kessler 的医学康复研究和教育公司设计了一间虚拟教室,用于注意缺陷障碍儿童的评估与诊断。^④在虚拟教室及其周边的环境中,有一系列引起注意力分散的活动发生,通过观察儿童的表现或者让他们按照系统指令做出相应的操作,以此检查儿童的注意缺陷状况,避免了传统诊断的主观性和不确定性。

由于 VR 技术具有沉浸性、交互性和想象性三大特性,注意缺陷障碍儿童在进行长时间的教育和训练时,可以吸引他们的注意力,维持注意力的集中。Lee 和 Cho 将被试分为实验组和对照组,实验组使用配有头盔和跟踪器的 VR 系统,结果证明 VR 系统对注意缺陷障碍儿童的治疗具有良好的效果。^⑤Costa 等人使用 VR 技术提高了注意缺陷障碍儿童的学习能力。^⑥Cho 等人通过对比实验,发现 VR 技术对注意缺陷的训练和康复具有显著的效果。^⑦邓向红等人运用“感知觉学习虚拟现实训练系统”对注意缺陷障碍儿童进行针对性训练,并用数字划销实验测试其注意力。^⑧结果发现,经过 6 个月的训练,大部分儿童的问题行为减少,注意力集中时间延长,注意力缺陷有所改善。此外,这些儿童经过训练后获得的认知功能改善可以轻松地迁移到日常生活情境中,从而彻底改善儿童的注意力缺陷症状。

（二）基于 VR 的自闭症儿童的康复与训练

自闭症作为一种广泛性发展障碍,严重影响着儿童的学习、社会交往和社会适应。1996 年,Strickland 首次倡导将 VR 技术作为自闭症儿童的干预与治疗手段。^⑨随后,一些研究者也展开了 VR 技术对自闭症儿童的康复与训练研究。英国的一项研究对自闭症儿童能否理解虚拟环境中的人类表情进行探讨。^⑩研究表明,虚拟现实环境对自闭症的辅助治疗(如修复心理理论的损害)有着很大的作用。Zhu 等人从跨学科研究的角度提出一种基于 VR 技术的 BCI(brain - computer interface)系统,以改善自闭症儿童的镜像神经元功能。^⑪他们认为,在虚拟环境中让自闭症儿童学习和发展社交技能,是一个非常有前景的技术手段。张倩综述了近年来研究者从社会交往、认知、生活技能及自闭症核心缺陷等方面开展的 VR 技术对自闭症儿童的干预研究,认为将 VR 技术应用于自闭症儿童的治疗和干预已取得了一定的成果,为增进对自闭症儿童的理解与干预提供了一种有效的手段。^⑫

（三）基于 VR 的智力障碍儿童的教学和训练

智力障碍儿童在智力和社会适应性方面均表现出明显的滞后性。虚拟环境能为此类儿童提供安全、真实的情境来提升学习效果和生活技能,它的易用性和适应性也使其成为这个特殊群体接受教学和训练的最佳选择。Yalon - Chamovitz 和 Weiss 对 33 名中度智力障碍者和重度脑瘫者进行为期 12 周(每周 2 - 3 次的 VR 游戏活动)的比较研究。^⑬结果表明,智力障碍儿童能够成功地理解、参与到 VR 游戏中,并表现出持续的学习兴趣。Wuang 等人比较了标准职业疗法和基于 VR 的 Wii 游戏技术对智力障碍儿童的治疗效果。^⑭结果发现,Wii 游戏组在视觉综合能力、感觉统合能力上有较大的提高,Wii 游戏技术在提高智力障碍儿童的感觉功能上具有优势。Attree 等人使用 VR 技术对五组智力障碍儿童进行研究,发现 VR 技术促进了他们日常生活技能的提高,增强了其认知能力和社会技能。^⑮

五、问题与建议

特殊儿童的身心特点与其所处的特殊环境等因素决定了特殊儿童教学和训练的特殊性。

一般来说,教师和家长等应依据缺陷补偿理论,运用各种方法维持特殊儿童仍保有的功能,挽救其失去的功能。^③然而,由于特殊儿童自身的身心缺陷,使教学和训练或多或少存在着不可预知的困难和不便,甚至是危险。同时与正常儿童相比,特殊儿童更加敏感、多疑、自卑、内向,他们有时候不太愿意配合进行治疗训练。^④VR技术的出现在一定程度上解决了上述疑虑。VR技术的仿真环境可以提高特殊儿童教学和训练的安全系数,沉浸性和封闭性使得特殊儿童更加自信地进行学习和训练。VR技术的这种优势既使特殊儿童得到了较好的学习和训练效果,也极大地减轻了教师和家长的身心负担。在VR技术的帮助下,特殊儿童能在一个轻松、和谐的环境中进行康复和训练,提高学习效果和能力,改善身心状态。

但从目前VR技术的发展和其在特殊教育领域的应用来看,仍存在一些亟待解决的问题。一是大多VR软件系统缺乏相应的治疗和评估标准。多数研究结果只定性地说明VR技术对特殊儿童身心的促进作用,缺乏客观、精确的标准来评价软件效果和儿童身心改善的程度。^⑤特殊儿童存在着较大的差异性,这不仅表现在不同类型的特殊儿童,也表现在同一类型的特殊儿童。如果没有相应的治疗和评估标准,康复训练就缺乏针对性。二是VR软件系统大多致力于特殊儿童缺陷的补偿和治疗,没有凸显他们知识和技能学习的提升。矫正、补偿或康复是特殊儿童教育的重要方面,但加强知识技能、社会适应性的学习会帮助他们更好地面对真实社会环境。三是现阶段VR技术在特殊教育的应用范围还非常有限。目前,VR技术在特殊教育中的探索多局限于上述特殊儿童,较少涉及情绪与行为障碍儿童、超常儿童等。此外,由于VR技术设备昂贵,未能广泛地应用于特殊教育教学和治疗实践中,仅作为一种研究工具使用。本文认为,VR技术在特殊儿童教学与训练中的应用研究,今后应注意加强以下几方面的工作:

1. 联系特殊儿童评估专家,制订科学的治疗和评估标准

特殊儿童的身心状况会随着治疗和训练的不断深入逐渐发生变化。因此,初始的教育训练计划和内容不能再沿用。目前,各项研究成果虽然遵循“评估—训练—评估”的模式来判断特殊儿童身心是否改善,但这些评估大多基于传统经验,缺乏科学的评估标准。而从特殊儿童治疗和训练的具体过程来看,科学的治疗和评估标准是指引治疗训练的基本参照。评估标准的缺乏不仅难以对治疗效果进行准确判断,还会在一定程度上影响治疗的有效进行,阻碍VR软件系统在特殊儿童治疗和训练中的大规模应用。今后,在开发适合各类特殊儿童的VR软件系统的同时,应与特殊儿童评估专家联合着手制定相应的治疗和评估标准,科学地鉴定儿童的初始水平,判断其在训练过程中的身心发展变化,评估其在训练结束时获得的变化和提高。

2. 尊重特殊儿童发展的基本规律,注重多种方法的综合使用

特殊儿童由于先天或后天的环境因素具有不同类型、不同程度的身心缺陷,因此教育者和家长在运用VR技术软件时应该充分考虑到他们的独特性。首先,要遵循早期教育原则,及早发现儿童的障碍所在,进行相应的干预和训练。其次,要遵循个别化教育原则,根据儿童身心发展的具体情况,选择合适的治疗和训练方法。最后,要遵循VR技术使用尺度原则,认识到VR技术的局限性。和传统的治疗训练相比,VR技术虽然在多个方面拥有很大优势,但不是包治“百病”的灵丹妙药,期望VR技术代替所有其它治疗训练手段的想法是不切合实际的。^⑥在具体使用过程中,应注意将VR技术与其它有效的方法相结合,最大限度地发挥各种技术手段的优势,为特殊儿童创造高质量的康复和训练条件。

3. 强调人文关怀和回归主流,强化各类特殊儿童社会适应能力的训练

当代特殊教育是高科技与人文精神相结合的产物。随着特殊教育的不断发展和 VR 技术的改进,我们应该根据本国的文化背景和教育内容,研发适用于各种类型和不同年龄阶段特殊儿童(如残疾儿童、学习障碍儿童、行为障碍儿童、情绪障碍儿童和超常儿童等)的 VR 康复、训练与教育软件,使 VR 技术和特殊教育、特殊儿童的需要更加有机地契合。利用 VR 技术在环境创设和即时反馈上的优势,不仅可以帮助特殊儿童的身心进行有效康复,还可以以回归主流社会为目标,帮助他们学习知识、获得技能,以更好地发挥自身的潜能、融入主流社会。

4. 结合我国特殊教育的发展实际,争取多方人员的积极配合

与发达国家相比,我国学者对 VR 技术在特殊教育中的使用大多均停留在研究层面,实际应用并不广泛。VR 技术要真正造福特殊儿童,就需要特殊教育工作者主动加强与政府部门、科学技术人员之间的联系,进行跨学科的合作。政府部门要提供充足的资金支持,科学技术人员要致力于根据特殊儿童的身心特点研发适合他们的教育训练软件。此外,特殊儿童的教育和治疗是多环节、多因素、多人员参与的复杂过程。这就要求教师、家长、康复医生在运用 VR 技术软件时要相互交流和配合,把握教育训练的方法和时机,实时监督和评估儿童的学习训练效果,及时掌握儿童的身心变化,以便调整教育训练的强度和计划。

注 释:

- ①罗虹、王士勇:《基于 virtools 技术的虚拟教学系统的设计与实现》,《现代教育技术》2007 年第 10 期。
- ②方俊明主编:《特殊教育学》,北京:人民教育出版社,2005 年,第 268 页。
- ③黄靖远、刘宏增、李海燕等:《“虚拟现实”康复工程前景初探》,《生物医学工程学杂志》1999 年第 2 期。
- ④周柳、王英华、刘强等:《虚拟现实技术在运动康复中的应用》,《中国组织工程研究与临床康复》2007 年第 5 期。
- ⑤J. P. Wann, and J. D. Turnbull, “Motor Skill Learning in Cerebral Palsy: Movement Action and Computer Enhanced Therapy”, *Bailliere's Clinical Neurology*, vol. 2, no. 1, 1993, pp. 15 – 28.
- ⑥R. J. Sanchez, J. Liu, S. Rao, et al, “Automating Arm Movement Training Following Severe Stroke: Functional Exercises with Quantitative Feedback in a Gravity – reduced Environment”, *Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 14, no. 3, 2006, pp. 378 – 389.
- ⑦T. Wada, N. Yoshii, K. Tsukamoto, et al, “Development of Virtual Reality Snowboard System for Therapeutic Exercise”, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 3, no. 3, 2004, pp. 2277 – 2282.
- ⑧黄靖远、刘宏增、凌迪等:《康复用虚拟现实健身车的技术基础》,《生物医学工程学杂志》1999 年第 4 期。
- ⑨张立勋、张今瑜、王志超:《基于 matlab 的下肢康复机器人虚拟现实仿真研究》,《机电工程》2008 年第 3 期。
- ⑩马宏霞:《基于虚拟现实技术的运动康复应用研究》,《中国老年学杂志》2010 年第 12 期。
- ⑪J. Fung, F. Malouin, B. J. McFadyen, et al, “Locomotor Rehabilitation in a Complex Virtual Environment”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 7, 2004, pp. 4859 – 4861.
- ⑫R. Kayyal, S. Shirmohammadi, A. El Saddik, “Measurement of Progress for Haptic Motor Rehabilitation Patients”, *IEEE International Workshop on Medical Measurements and Applications*, 2008, pp. 108 – 113.
- ⑬R. M. Eastgate, G. D. Griffiths, P. E. Waddingham, et al, “Modified Virtual Reality Technology for Treatment of Amblyopia”, *Eye*, vol. 20, no. 3, 2006, pp. 370 – 374.
- ⑭杨素红、甘晓玲、庞琳等:《利用视觉虚拟现实训练软件治疗弱视的疗效分析》,《中国斜视与小儿眼科杂志》2004 年第 1 期。
- ⑮郭晓松、李冰:《多媒体视觉训练与传统方法治疗儿童屈光不正性弱视的比较》,《中国实用眼科杂志》2006 年第 1 期。
- ⑯任小军、潘美华、叶梅等:《视觉虚拟现实训练软件治疗 172 例 5 – 8 岁弱视儿童的疗效分析》,《国际眼科杂志》2009 年第 6 期。
- ⑰潘美华、任小军、庄建福等:《增视能训练软件治疗儿童弱视的疗效分析》,《临床眼科杂志》2008 年第 2 期。

⑮ 阎丽、李彦锋、胡丹丹等:《视觉缺损类型研究的新突破——基于感知觉的儿童视觉及智能虚拟现实数据库系统对视觉功能缺损类型的研究》,《医疗保健器具》2006 年第 2 期。

⑯ 阎丽、胡丹丹、阎春元等:《基于感知觉学习的儿童视觉及智能虚拟现实数据库系统对弱视治疗效果的研究》,《医疗保健器具》2006 年第 2 期。

⑰ 冯霞、胡永斌:《虚拟现实技术在聋童言语训练中的应用初探》,《现代教育技术》2009 年第 3 期。

⑱ 方俊明、何大芳:《中国聋人手语脑功能成像的研究》,《中国特殊教育》2003 年第 2 期。

⑲ 王兆其、高文:《基于虚拟人合成技术的中国手语合成方法》,《软件学报》2002 年第 10 期。

⑳ 教育部科技发展中心:《哈工大开发出基于虚拟人技术的中国手语合成系统》,2006 年 4 月 25 日, <http://www.cutech.edu.cn/cn/kjj/gxkj/webinfo/2006/04/1180236642106731.htm>。

㉑ 张倩苇:《虚拟现实技术与教育》,《电化教育研究》1998 年第 2 期。

㉒ N. Adamo - Villani, “A Virtual Learning Environment for Deaf Children: Design and Evaluation”, *International Journal of Human and Social Sciences*, vol. 2, no. 2, 2007, pp. 123 - 128.

㉓ D. Passig, and S. Eden, “Improving Flexible Thinking in Deaf and Hard of Hearing Children with Virtual Reality Technology”, *American Annals of the Deaf*, vol. 145, no. 3, 2000, pp. 286 - 291.

㉔ D. Passig, and S. Eden, “Cognitive intervention through virtual environments among deaf and hard - of - hearing children”, *European Journal of Special Needs Education*, vol. 18, no. 2, 2003, pp. 173 - 182.

㉕ J. Vogel, C. Bowers, C. Meehan, et al, “Virtual reality for life skills education: program evaluation”, *Deafness & Education International*, vol. 6, no. 1, 2004, pp. 39 - 50.

㉖ 何梅、张徽、宋红艳:《ADHD 的抑制缺陷和厌恶延迟——来自双通道模型的解释》,《心理科学》2012 年第 4 期。

㉗ 柳菁:《虚拟现实技术应用于心理治疗领域的最新进展》,《心理科学》2008 年第 3 期。

㉘ A. A. Rizzo, J. G. Buckwalter, L. Humphrey, et al, “The Virtual Classroom: A Virtual Environment for the Assessment and Rehabilitation of Attention Deficits”, *Cyberpsychology & Behavior*, vol. 3, no. 3, 2000, pp. 483 - 499.

㉙ J. M. Lee, and B. H. Cho, “A Study on the System for Treatment of ADHD Using Virtual Reality”, *Annual Reports of the Research Reactor Institute Kyoto: Kyoto University*, vol. 44, no. 1, 2001, pp. 3754 - 3763.

㉚ R. M. Costa, LA. de Carvalho, R. Drummoud, et al, “The UFRJURJ Group: Interdisciplinary Virtual Reality Experiments in Neuropsychiatry”, *Cyberpsychology & Behavior*, vol. 5, no. 5, 2002, pp. 423 - 431.

㉛ B. H. Cho, D. S. Kim, D. S. Shin, et al, “Neurofeedback Training with Virtual Reality for Inattention and Impulsiveness”, *Cyberpsychology & Behavior*, vol. 7, no. 5, 2002, pp. 519 - 526.

㉜ 邓向红、刘迪辉、林茹珠等:《注意力缺陷研究的新突破——感知觉学习虚拟现实训练系统治疗儿童注意力缺陷》,《中国优生优育》2009 第 1 期。

㉝ D. A. Strickland, “A Virtual Reality Application with Autistic Children”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 5, no. 2, 1996, pp. 319 - 329.

㉞ D. Moore, Y. Cheng, P. McGrath, et al, “Collaborative Virtual Environment Technology for People With Autism”, *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, vol. 20, no. 4, 2005, pp. 231 - 243.

㉟ H. Zhu, Y. Sun, J. Zeng, et al, “Mirror Neural Training Induced by Virtual Reality in Brain - computer Interfaces may Provide a Promising Approach for the Autism Therapy”, *Medical Hypotheses*, vol. 76, 2011, pp. 646 - 647.

㊱ 张倩:《虚拟现实技术在自闭症患者干预中的应用》,《中国特殊教育》2010 年第 5 期。

㊲ S. Yalon - Chamovitz, P. L. Weiss, “Virtual Reality as a Leisure Activity for Young Adults with Physical and Intellectual Disabilities”, *Research in Developmental Disabilities*, vol. 29, no. 3, 2008, pp. 273 - 287.

㊳ Y. P. Wuang, C. S. Chiang, C. Y. Su, et al, “Effectiveness of Virtual Reality Using Wii Gaming Technology in Children with Down Syndrome”, *Research in Developmental Disabilities*, vol. 32, no. 1, 2011, pp. 312 - 321.

㊴ E. A. Attree, C. Psychol, B. M. Brooks, et al, “Guest Editorial Use of Virtual Environment in Training and Rehabilitation: International Perspectives”, *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 8, no. 3, 2005, pp. 185 - 186.

㊵ A. M. Cook, and S. M. Hussey 著(杨炽康等译):《辅助科技:原则与实行》,台北:心理出版社,2007 年,第 101 页。

㊶ 宋玲、王雁:《动物辅助治疗与特殊儿童的身心发展》,《心理发展与教育》2006 年第 2 期。

㊷ 张安仁、王文春、罗绯等:《脑损伤后认知功能障碍的虚拟现实康复技术研究进展》,《西南国防医药》2006 年第 2 期。

㊸ 张卓星:《信息技术手段在特殊教育中的运用》,《现代教育技术》2009 年第 11 期。