

治疗 PTSD 的 VR 设备交互设计研究

陈园园, 陆金生, 栗晓霞
(东华大学, 上海 201600)

摘要: **目的** 以 VR 技术在 PTSD 症状的应用为出发点, 研究相应的 VR 设备在治疗过程中的交互设计方法和流程, 旨在促进 VR 设备治疗 PTSD 的交互创新, 以及在满足患者需求的前提下提高 PTSD 患者的治愈机率。**方法** 首先在剖析 PTSD 症状及患者特性的基础上, 归纳 VRET 治疗 PTSD 的优势; 其次在选取合适的 VR 设备后, 定义与治疗 PTSD 相关的实际环境、患者及医护人员、设备情境四要素, 建立交互设计模型, 并以此为原型引导后续设计, 从多通道感官入手, 提炼治疗过程中的人机交互方式; 再以简洁易操作为原则, 设计手势交互过程和内容; 并考虑治疗空间氛围和患者情感表现, 确定界面色彩; 最后落脚于 PTSD 的治疗过程, 制定出治疗交互流程。**结论** 通过研究治疗 PTSD 的 VR 设备的交互设计, 提高患者治疗体验, 相对于传统的 PTSD 治疗方法, 有效的 VR 应用治疗和人机交互能大大提高治疗效果, 对医学界研究治疗 PTSD 的方法具有一定参考价值。

关键词: PTSD; VR 技术; VRET; VR 设备; 交互设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)02-0135-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.02.021

Interaction Design of VR Equipment for Treating PTSD

CHEN Yuan-yuan, LU Jin-sheng, LI Xiao-xia
(Donghua University, Shanghai 201600, China)

ABSTRACT: Taking the application of virtual reality technology in treatment of post-traumatic stress disorder (PTSD) symptoms as the starting point, the work aims to study the corresponding interaction design method and process of VR equipment in the treatment process, promote the interaction innovation of VR equipment in treatment of PTSD and improve the cure rate of patients with PTSD on the premise of meeting the needs of patients. Firstly, based on the analysis of PTSD symptoms and patient characteristics, the advantages of virtual reality exposure therapy (VRET) in treating PTSD were summarized. Secondly, after selecting appropriate VR equipment, the four elements of actual environment, patients, medical staff and equipment related to treatment of PTSD were defined, and the interactive design model was established as a prototype to guide the subsequent design. Starting from the multi-channel sensory, the human-computer interaction mode in the treatment process was refined; the gesture interaction process and content were designed based on the principle of simplicity and ease of operation; the interface color was determined with the consideration of treatment space atmosphere and patient emotional performance; finally, the treatment process of PTSD was focused and a treatment interaction process was developed. Through interactive design research on VR equipment for treating PTSD, the treatment experience of patients is improved. Compared with traditional PTSD treatment methods, effective virtual reality application therapy and human-computer interaction can greatly improve the treatment effect. It has certain reference value for the medical research and treatment of PTSD.

KEY WORDS: PTSD; VR technology; VRET; VR device; interaction design

收稿日期: 2020-08-25

作者简介: 陈园园 (1995—), 女, 安徽人, 东华大学硕士生, 主攻视觉传达、平面及交互设计。

通信作者: 陆金生 (1963—), 男, 上海人, 硕士, 东华大学副教授, 主要研究方向为平面设计。

在社会这一矛盾体中,人们不可避免地由于某些原因产生心理问题。随着我国发展进程的不断推进,一系列的社会压力、历史因素、生活问题加剧了人们的心理负担,心理健康问题日益严重。传统的治疗方法虽然是惯用的手段,但是存在局限性和不确定性,导致治疗结果成效不明显。心理研究和临床医疗技术正不断进步和发展,在治疗心理疾病时可充分应用虚拟现实(Virtual Reality,简称VR)技术,为患者创建虚拟体验世界,在特定思维应激场景下,结合虚拟现实暴露疗法(Virtual Reality Exposure Therapy,简称VRET),改善和消除患者的心理症状。采用VR技术治疗心理疾病属于现代科技和医疗技术相融合的表现,疾病治疗效果显著^[1]。因此,市场上涌入了大量的治疗心理疾病的可穿戴VR设备,但各类设备的交互设计不够完善,不能很好地针对不同的心理疾病问题将VR技术融入到具体的治疗过程中,导致治疗周期长、治疗费用高昂。以创伤后应激障碍(Post-Traumatic Stress Disorder,简称PTSD)这一心理疾病为例,改善其线上治疗方式及VR设备交互方式,以提升PTSD心理疾病的治疗效果,缩短治疗周期,从交互设计方面对治疗心理疾病的VR可穿戴设备研究提供参考依据。

1 PTSD 简介

1.1 PTSD 定义及症状表现

PTSD是指个体遭受或目击过造成或可能造成自身或是他人严重伤残甚至是死亡的突发事件而引起的精神层面上的创伤^[2]。近年来,受自然环境灾难事件和社会环境意外事件的影响,患PTSD的人数急剧上升,PTSD也成为国内外的重点研究对象。此病不仅严重降低了患者的心理素质和生存能力,而且间接地阻碍了社会的发展^[3]。

调查结果显示,世界上超过70%人会经历创伤性事件(Traumatic Event, TE),其中经历四次或以上的约占31%;在我国,52.5%的人会经历创伤性事件^[4]。可见,TE对PTSD的产生具有直接影响。PTSD的特点和症状表现见图1。

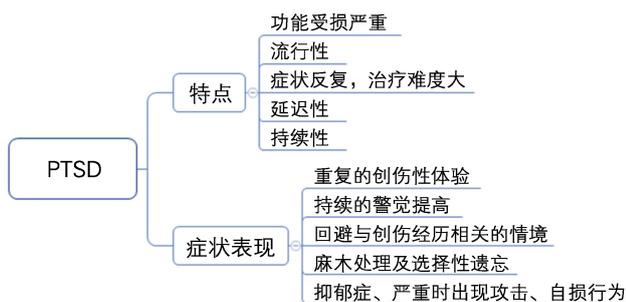


图1 PTSD的特点和症状表现

Fig.1 Characteristics and symptoms of PTSD

1.2 传统治疗手段

对PTSD患者的传统治疗方法主要包括心理治疗、药物辅助治疗及心理和药物结合治疗。其中,心理治疗是最主要,也最有效的方法。心理治疗中主要的治疗手段有放松训练、行为塑造法、厌恶疗法、暴露疗法(Exposure Therapy,简称ET)等。其中ET是让患者重新想起与创伤事件相关的人物、场景等,暴露的方式可以采取患者回忆,也可以是患者置身于某种真实情境^[5]。经大量实验表明,重复多次地使患者暴露在设定的治疗情境中,可以缓解甚至消除患者内心对害怕或抵触的场景的消极情绪,达到一定的治疗和治愈效果,但也要防范后期的病情复发。

1.3 PTSD 患者分析

PTSD患者同广大的心理疾病困扰者一样,具有担心隐私泄露、病耻感、质疑治疗措施有效性的心理,这在一定程度上阻碍了治疗。大部分患者的精神症状具有一段潜伏期,病程时间长,在治疗后容易复发。并且患者在治疗期间容易引发异常情绪,人为被迫中止治疗。

不同年龄段和不同性别的PTSD患者表现出的症状特点不同。一般情况下,女性比男性更容易患PTSD,在遭遇到TE后,男女可能会出现基于相同人格特征的不同PTSD亚型^[6];成人与幼童的临床表现有明显区别,其中像自闭症等症状只出现在幼童时期。因此,在采取治疗措施和交互模式时需要充分考虑性别、年龄、人格特征等因素。

2 VR技术的临床运用

2.1 VR技术简介

VR是指集成了仿真、传感、人工智能、大数据等技术所形成的计算机仿真系统,给使用者真实的感官重现和环境沉浸感,从而实现可视化操作与交互^[7]。VR技术能为患者搭建直观形象的治疗场景,通过有效的人机交互达到心理治疗的目的。目前,基于VR的高度创伤场景还原技术已经被应用在PTSD患者治疗中的多层面认知、运动障碍等方面,疗效突出。例如佛罗里达大学的RESTORES诊所为退伍的伤残军人制作了逼真的战场场景和视频,并搭配枪声和烟雾的声音和气味,实验表明,66%的战斗退伍军人在完成治疗后不再符合PTSD的临床定义,并且部分人的持枪手部发软状况得到改善。

2.2 VR技术应用于ET治疗PTSD的优势

情景暴露法是治疗PTSD时的有效疗法,但因受限于以往的治疗水平和条件,所以想要将患者个体置身于曾经遭受创伤和灾难情景中的难度极大,而针对

这个问题 VR 技术可迎刃而解^[8]。VRET 采用了虚拟场景模拟方法,能在患者治疗过程中的沉浸感、交互性、多感知性及安全可控性等方面达到融合贯通,提升治疗效果。

2.2.1 PTSD 患者需求分析

结合上述对 PTSD 患者的分析和文献查阅,提炼出患者在采用 VRET 时的需求点,为后期的人机交互设计提供设计依据:(1)准确的病症分析和诊断,治疗进程的效果评估,个人信息反馈,治疗过程无外因干扰;(2)相对安全和保护个人隐私的暴露情景,暴露的程度能够根据用户信息检测合理过渡转换;(3)相比于传统的治疗手段,VRET 应该摆脱繁琐低效的疗前热身,实现方便、快捷、高效,有针对性;(4)更好的交互体验,即重视治疗沉浸感。

2.2.2 VRET 优势分析

基于 PTSD 症状的特点、PTSD 患者分析及需求分析,可以得知 VRET 具有显著的优势。VRET 和 ET 优缺点的剖析见图 2。

3 治疗 PTSD 的 VR 设备交互设计

3.1 VR 设备的选择

3.1.1 VR 头盔式系统组成

VRET 提供与创伤性事件有关的视觉、听觉、触觉、嗅觉等综合感官系统,PTSD 患者需要穿戴相应

的 VR 设备进入虚拟环境^[9]。VR 设备不仅能为患者呈现真实度高的虚拟场景,而且以患者为载体,实时监测和采集体征数据,使治疗效果和进展清晰可见,有效控制暴露程度,实现治疗循序渐进。VR 头盔式系统组成见图 3。

采用 VR 头盔式系统为患者呈现虚拟场景,通过先进的人机接口技术将虚拟场景与 PTSD 患者个体所处的实际环境区分开来,在患者与虚拟场景的交互过程中实施症状治疗。

3.1.2 VR 头盔原型设计

将佩戴人士进行掩盖处理,着重突出 VR 设备,设备通过不同部件组装调试,以达到正常使用效果。VR 头盔原型设计见图 4。

3.2 交互设计方法

有研究将人、工具、动作、目的、场景界定作为设计交互行为的五要素^[10]。本文根据扮演的角色、不同的职能和交互实施的治疗背景,将“人”这一要素进行界定,区分为 PTSD 患者和医护人员。因此,可以将交互过程中所有相关的内容归纳为四点,即 PTSD 患者、实际环境、VR 设备、医护人员。在进行交互设计时,要充分考虑这四要素之间的关联。

1) 实际环境。包括患者治疗的场所、医患商定的时间。患者与医护人员可以是近距离咨询,也可以是远程治疗。治疗场所的不确定性需要初始状态的调整规划。



图 2 VRET 和 ET 优缺点的剖析
Fig.2 Anatomy of advantages and disadvantages of VRET and ET



图 3 VR 头盔式系统组成
Fig.3 Composition of VR helmet system

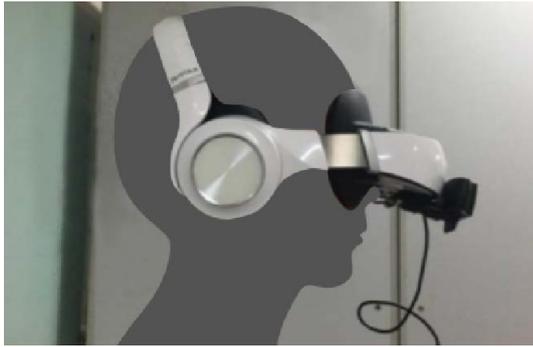


图4 VR头盔原型设计
Fig.4 VR helmet prototyping

2) PTSD患者。PTSD患者有咨询和了解治疗效果的需求,这需要在交互方式中得以清晰体现。

3) VR设备。VR设备的硬件条件直接关系患者治疗期间的沉浸感。由传感及追踪技术、患者佩戴位置及方式、反馈模块组成硬件条件。患者佩戴位置及方式影响交互的肢体与行为的约束性,反馈模块以多通道式将数据实时输送给患者。

4) 医护人员。医护人员秉承对患者治疗期间的职责,制定治疗方案、控制治疗进度、调控暴露治疗等级,根据接收到的患者体征等数据了解治疗进展,应对紧急突发状况。

在后台操控的情况下,VR设备感知患者表达的信息并反馈,两者之间的交互在多数情况下更像是与输入输出设备的互动^[11]。在整个交互过程中,存在信息的输入和输出,两个环节流动的数据不停转换,提升患者的沉浸感,数据信息也会实时反馈给医护人员,避免意外事件的发生,以及帮助分析治疗效果。结合交互设计的四要素、内容、交互方式及过程,定

义治疗 PTSD 的 VR 设备交互设计模型,见图 5。

3.2.1 交互方式

VR 设备应用于 PTSD 患者的治疗不仅要实现最基本的功能要求,还要基于用户体验考虑治疗过程中人与设备的交互特性。交互方式应该充分发挥设备分析人体的功能优势,通过界面的传感,增大可视维度,简化操作^[12],保证虚拟环境下治疗的顺利进行。

医用治疗的 VR 设备应该采取多种交互方式的集成,因此将六种交互方式集成,保证患者与 VR 设备之间的自然交互状态。交互方式的内容及功用见表 1。

3.2.2 手势交互设计

在肢体运动感应的交互方式中,手势识别追踪最为常用^[13]。患者进行虚拟环境治疗时,出于本能反应,会进行手指、手臂的意图比划,手势操作可以迎合患者的下意识反应,简单方便,提高患者的注意力,适合不同年龄段的患者操作。手势操作中有触屏手势操作和凌空手势 (Mid-air Gestures) 操作,相比于前者,后者的表达更自然,灵活度更高,交互体验更好^[14]。目前,凌空手势广泛应用于医疗诊断及患者康复领域,能够很好地提高患者的治疗体验。手势交互设计主要包含手势交互过程和内容两个部分。

手势交互过程。依据治疗 PTSD 的 VR 设备交互模型,考察患者与 VR 设备之间的交互过程。为了提高患者在虚拟治疗环境中的沉浸体验,需要从人因工程、硬件设备条件、患者认知行为和医生把控调节方面保证人与境的融合。整个过程中,患者与 VR 设备进行手势信息的输入和数据识别结果的输出,处于实时动态过程。手势交互过程见图 6。

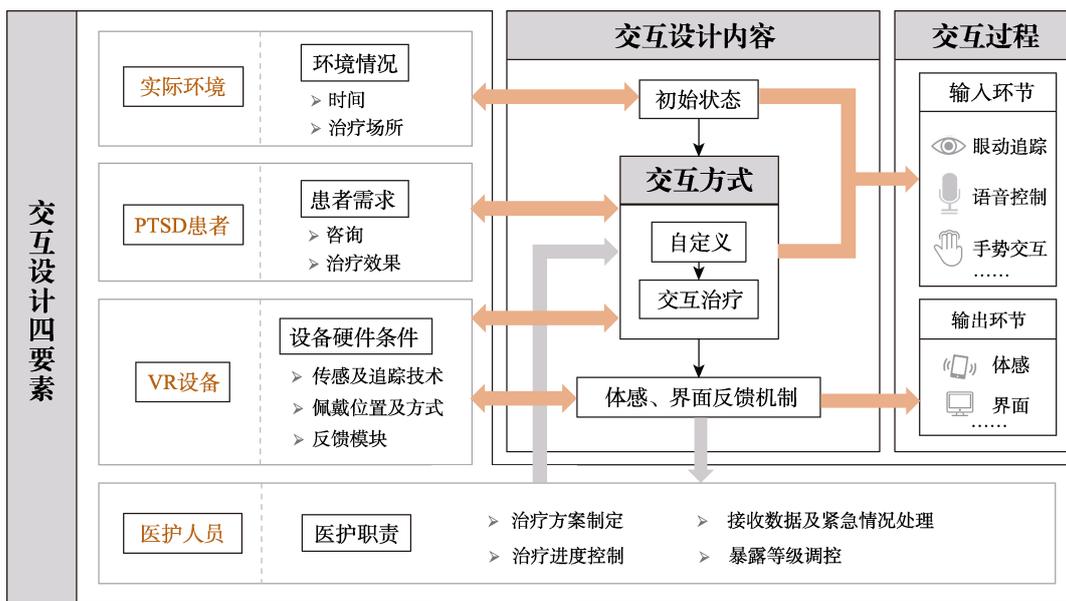


图5 治疗 PTSD 的 VR 设备交互模型
Fig.5 VR device interaction model for treating PTSD

表 1 交互方式的内容及功用
Tab.1 Content and function of interaction

交互方式	内容及功用
面部信息识别	识别患者的面部表情变化（如皱眉、眼动、脸颊肌肉抽动等），间接获取患者情感表达
语音控制	提取患者的语音（如嘀咕、惊叫、呼喊等），实时调整创伤性场景，转换语音信息
触觉体感反馈	使患者感知场景中环境的冷暖、物体的质感，提高交互的沉浸感
气味传达	满足患者置于场景的嗅觉补充，提高真实度（如还原着火 TE 场景，让患者闻到真实场景中弥漫的烧焦味）
肢体运动感应	通过肢体语言表现情感，采取手势交互的方式更容易识别患者的表达意图
身体生理信号识别	实时监测患者治疗过程的体温、血压、心率等数据，将信息反馈给医生，存档及查看治疗情况

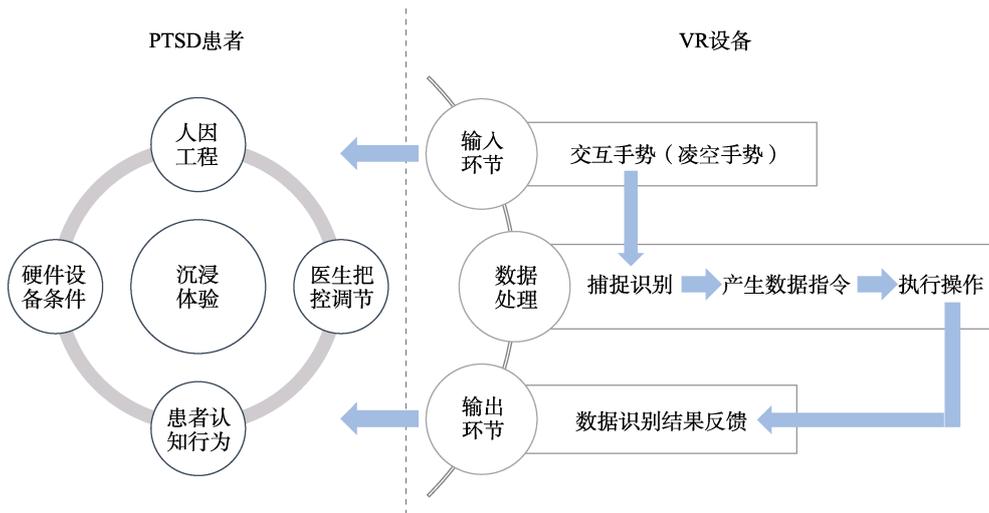


图 6 手势交互过程

Fig.6 Gesture interaction process

手势交互内容。凌空手势摆脱了传统输入设备的限制，以徒手方式进行空中操作，这不仅可以使患者在虚拟场景治疗期间以最自然的方式对突发性事件作出反应，还原真实状态下的本能反应，而且能让幕后实时监测的医护人员更加清晰地了解患者的情绪和应激状态，采取及时的干预调整。

虽然患者在虚拟场景中可以自发地展现各式各样的反应手势动作，但是也需要了解与掌握一些基本的规范手势，以配合完成治疗进程，提高患者与医护人员、设备之间的互通性。在制定交互手势时，要

充分考虑患者的认知习惯，避免给患者带来病症基础上的治疗负担；及时显示操作提示，引导患者进行下一步操作；采取高频运用在其他产品（如手机）上的“通用符号”，简单易执行，便于幼龄和老龄患者快速理解。针对这些设计要求，给出治疗过程中常用的交互手势。凌空交互手势见图 7。

3.2.3 界面设计

色彩分析。在患者眼中呈现的虚拟界面中，色彩元素直接关系患者的心理状态，起主导作用。不同的

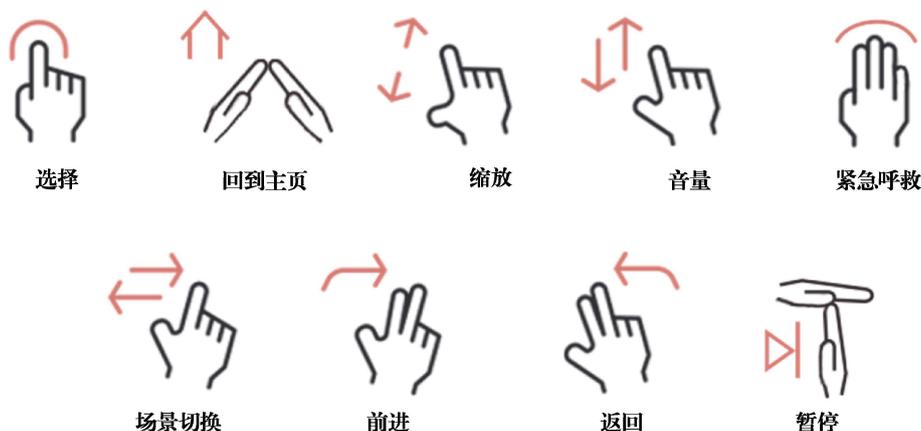


图 7 凌空交互手势

Fig.7 Volley interaction gesture

颜色传递给用户的情感不同,营造出的空间氛围不同^[15],与患者的视觉互动程度不同,这在一定程度上影响着治疗效果。针对患者情绪上的恐惧、紧张和局促不安,考量不同性别患者对色彩的情感表现,选择具有生命力与清新感的绿色和沉静、柔和的蓝色,辅助患者调整情绪。在初始阶段设置蓝和绿的多种模式,患者可以自行选择适宜的界面颜色。蓝色和绿色色彩分析见表2。

界面效果。选取蓝色界面作为效果展示,该界面以交互设计原则为指导,融合人因工程学、认知心理学,编排文字、图标等元素,使之成为一个连贯的整体,呈现在患者的视野中。当患者初次使用时,可选择交互手势练习模式,训练基础的操作能力。界面效果展示见图8。

3.3 VR设备治疗PTSD的交互流程

经过前文的分析研究,在理论铺垫的基础上制定合理的治疗交互流程。该流程涵盖了医患从初次交流的始端到多次循环治疗的结果终端,对规范指导现实生活中的治疗过程具有一定的参考意义。治疗流程见图9。

表2 蓝色和绿色色彩分析
Tab.2 Color analysis of blue and green

颜色	波长	性格倾向	空间氛围
绿	青绿色: 565 mm	平和、缓慢、倾听、理解、包容	清新感、温和的空间氛围、永恒性的节奏
	鲜绿色: 550 mm		
	绿色: 525 mm		
	范围(480~550 mm)		
蓝	天蓝色: 475 mm	灵动、细腻、敏感、原则性、固执、城府	冷淡感、柔缓的空间氛围、伤感性的节奏
	蓝色: 450 mm		
	范围(450~480 mm)		



图8 界面效果展示
Fig.8 Interface effect display

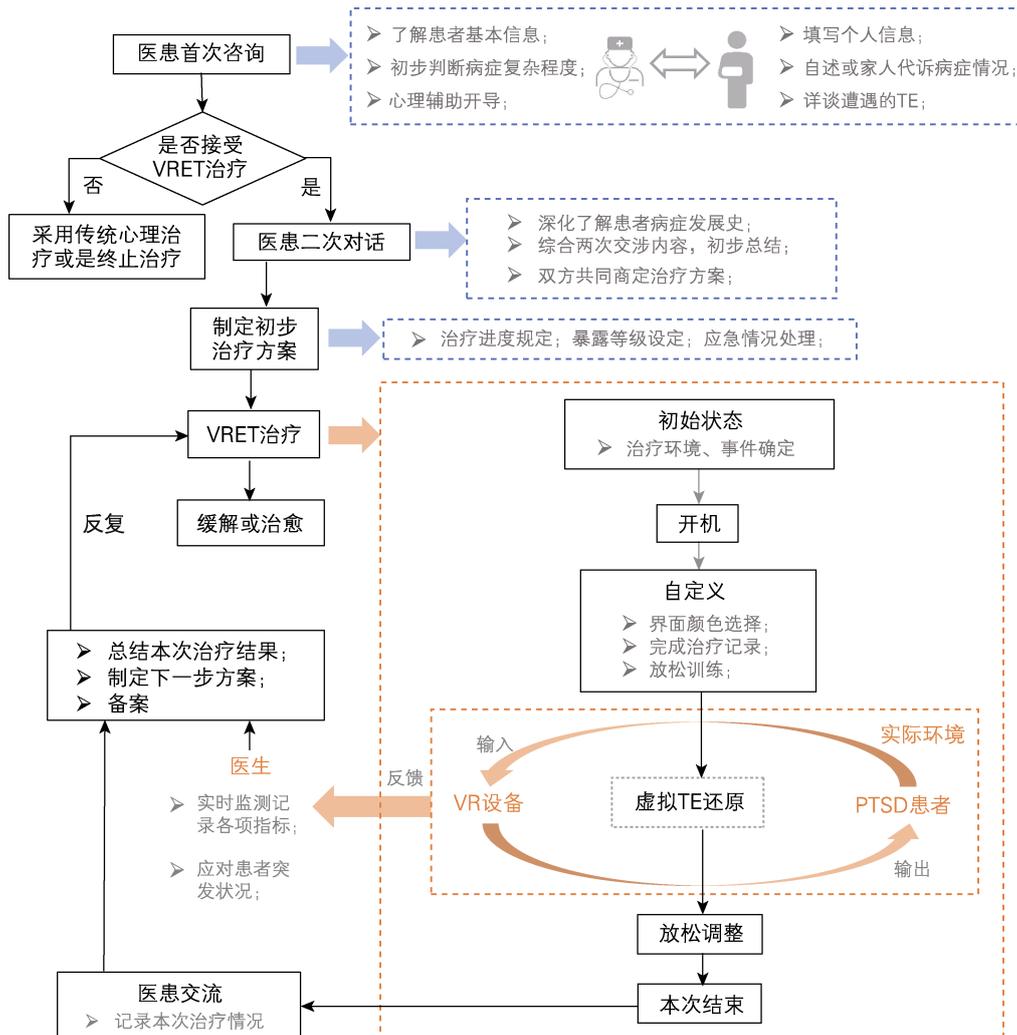


图9 治疗流程
Fig.9 Treatment flow

4 用户测试

根据治疗流程, 从学校的心理诊所获取某一 PTSD 患者的信息(征得患者本人及校医院同意), 与心理医生一同为患者制定治疗方案。患者资料见表 3。

根据患者情况, 进行治疗进度规定和暴露等级设定(暂定两级), 根据设定搭建虚拟场景, 并导入 VR 设备进行运作, 过程中配合人工释放的无害烟雾。治疗过程展示(部分)见表 4。

表 3 患者资料
Tab.3 Data of patient

患者信息	TE 及治疗经历
姓名: 小霍(化名) 年龄: 24 岁 职业: 在读硕士研究生	TE 经历: 初中时家中经历过火灾, 自体肘部有局部烧伤, 事后一段时间未发生明显异常。然而约三年后偶然听到新闻报道某地发生突发性火灾, 心中焦虑, 看见火灾现场图片或遇见火苗会导致强烈的应激反应、失眠和精神失落。单次症状持续时间约两周, 近些年症状反复、无定期 治疗经历: 父母曾陪同其到当地市级医院进行心理辅导调节, 治疗初期(药物+心理开导)效果明显, 后期症状稍有反弹。在校医院的心理诊疗室进行过简单治疗, 效果不佳

表 4 治疗过程展示(部分)
Tab.4 Display of treatment process (partial)

虚拟场景(暴露等级 1)	治疗过程
	

经过后续定期的等级加深治疗, 该患者手心出汗、肘部烧伤疤痕处神经性痛痒症状有所缓解(患者自述), 但由于治疗时间较短, 进一步效果有待观察。

5 结语

社会高度关注对 PTSD 患者的 VRET, 笔者希望通过治疗该心理疾病的 VR 设备交互设计的研究提高治疗的有效性。值得注意的是, 远程 VR 治疗还处于初级阶段, 各项技术还没有成熟, 以后的研究应该着重考虑远程治疗, 摆脱地域限制, 满足 PTSD 患者的隐私需求。尽管 VR 设备输出信息中的嗅觉信号稳定性低、普适性低, 但是为了真实还原 TE 场景, 在治疗患者时释放符合场景的气味信息是非常必要的。

参考文献:

[1] 鞠培青, 陈成功. 虚拟现实技术对于心理疾病治疗作

用的探讨[J]. 中国卫生产业, 2019, 16(6): 51-52.

JU Pei-qing, CHEN Cheng-gong. Therapeutic Effect of Virtual Reality Technology on Mental Illness[J]. China Health Industry, 2019, 16(6): 51-52.

[2] 李薇, 符林梅, 郭敏, 等. 创伤后应激障碍的国内外干预方法概述[J]. 中国健康心理学杂志, 2015, 23(12): 1902-1907.

LI Wei, FU Lin-mei, GUO Min, et al. Overview of Domestic and International Intervention Methods for Post-traumatic Stress Disorder[J]. Chinese Journal of Health Psychology, 2015, 23(12): 1902-1907.

[3] 陈帅, 曾洋洋, 张虹. 中西医治疗创伤后应激障碍的研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(A5): 111-112.

CHEN Shuai, ZENG Yang-yang, ZHANG Hong. Research Progress in the Treatment of Post-traumatic Stress Disorder by Traditional Chinese Medicine and Western Medicine[J]. World Health Information Digest, 2018, 18(A5): 111-112.

[4] BENJET C, BROMET E, KARAM E G, et al. The Epidemiology of Traumatic Event Exposure Worldwide: Results from the World Mental Health Survey Consortium[J]. Psychol Med, 2016, 46(2): 327-343.

[5] 邓明显. 创伤后应激障碍的临床研究新进展(DSM-5 新标准)[J]. 中国健康心理学杂志, 2016, 24(5): 641-650.

DENG Ming-yu. New Progress in Clinical Research of Post-traumatic Stress Disorder (Dsm-5 New Standard) [J]. Chinses Journal of Health Psychology, 2016, 24(5): 641-650.

[6] 何聰, 姚又丹, 陈孜. PTSD 症状与人格特征的关联及性别差异[J]. 现代生物医学进展, 2012, 12(34): 6764-6767.

HE Cong, YAO You-dan, CHEN Zi. The Association between PTSD Symptoms and Personality Characteristics and Gender Differences[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2012, 12(34): 6764-6767.

[7] 程凯, 陈敏. 虚拟现实技术在健康医疗领域的应用[J]. 中国医院管理, 2017, 37(8): 45-47.

CHENG Kai, CHEN Min. Application of Virtual Reality Technology in Health Care[J]. Chinese Hospital Management, 2017, 37(8): 45-47.

[8] GONALVES R, PEDROZOA L, COUTINHOE S F, et al. Efficacy of Virtual Reality Exposure Therapy in the Treatment of PTSD: A Systematic Review[J]. Plos One, 2012, 7(12): 5806-5819.

[9] 李斯琦, 宁维卫, 何亚男, 等. 虚拟现实暴露疗法治疗创伤后应激障碍: 科技新未来[J]. 中华灾害救援医学, 2019, 7(2): 103-109.

LI Si-qi, NING Wei-wei, HE Ya-nan, et al. Virtual Reality Exposure Therapy for Post-traumatic Stress Disorder: a New Future of Science and Technology[J]. Chinese Journal of Disaster Relief Medicine, 2019, 7(2): 103-109.

- [10] 张军, 刘粤, 陈坤杰. 基于情境模型的可穿戴设备手势交互设计[J]. 包装工程, 2019, 40(12): 140-146.
ZHANG Jun, LIU Yue, CHEN Kun-jie. A Gesture Model Based Interaction Design for Wearable Devices[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(12): 140-146.
- [11] 孙效华, 冯泽西. 可穿戴设备交互设计研究[J]. 装饰, 2014(2): 28-33.
SUN Xiao-hua, FENG Ze-xi. Interaction Design of Wearable Devices[J]. Zhuangshi, 2014(2): 28-33.
- [12] 朱旭, 穆存远. 智能穿戴设备交互与展示设计[J]. 设计, 2017(17): 44-45.
ZHU Xu, MU Cun-yuan. Interaction and Display Design of Smart Wearable Devices[J]. Design, 2017(17): 44-45.
- [13] 周美玉, 赵灿. 可穿戴设备中的交互设计原则探讨[J]. 设计, 2016(18): 138-139.
ZHOU Mei-yu, ZHAO Can. Discussion on Interaction Design Principles in Wearable Devices[J]. Design, 2016(18): 138-139.
- [14] 于汉超, 杨晓东, 张迎伟, 等. 凌空手势识别综述[J]. 科技导报, 2017, 35(16): 64-73.
YU Han-chao, YANG Xiao-dong, ZHANG Ying-wei, et al. Overview of Volley Gesture Recognition[J]. Science and Technology Review, 2017, 35(16): 64-73.
- [15] 王旋. 基于隐喻学理论的可穿戴医疗设备交互设计研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016.
WANG Xuan. Interaction Design of Wearable Medical Equipment Based on Metaphor Theory[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.

(上接第 122 页)

- [11] 龚艳, 张晓, 刘燕, 等. 基于层次分析法的植保机械适用性综合评价方法[J]. 农业机械学报, 2016(7): 73-78.
GONG Yan, ZHANG Xiao, LIU Yan, et al. Comprehensive Evaluation Method for Applicability of Plant Protection Machinery based on Analytic Hierarchy Process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016(7): 73-78.
- [12] 黄河, 杨明刚. 基于感性工学的老年人智能产品可用性研究[J]. 机械设计, 2016, 33(4): 109-112.
HUANG He, YANG Ming-gang. Research on Usability of Intelligent Products for the Elderly based on Kansei Engineering[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(4): 109-112.
- [13] SAATY T L, VARGAS L G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process[M]. New York: Springer US, 2012.
- [14] 吕跃进. 基于模糊一致矩阵的模糊层次分析法的排序[J]. 模糊系统与数学, 2002, 16(2): 79-85.
LYU Yue-jin. Weight Calculation Method of Fuzzy Analytical Hierarchy Process[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2002, 16(2): 79-85.

(上接第 134 页)

- [9] 李江泳, 姚湘, 张顶峰. 农业机械的用户体验关键要素及其设计应用[J]. 包装工程, 2017, 38(18): 93-97.
LI Jiang-yong, YAO Xiang, ZHANG Shun-feng. Key Elements to User Experience and User Experience Design of Farm Machinery[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(18): 93-97.
- [10] 曾庆抒, 赵江洪, 谭浩. 汽车人机界面交互设计的情景板工具与方法[J]. 包装工程, 2014, 35(22): 22-26.
ZENG Qing-shu, ZHAO Jiang-hong, TAN Hao. Mood Board Tool and Methods in Vehicle HMI Interaction Design[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(22): 22-26.
- [11] 苏珂, 廖越. 基于 JACK 的电动拖拉机驾驶室人机工程改进设计[J]. 机械设计, 2018, 35(8): 106-110.
SU Ke, LIAO Yue. Ergonomic Improvement Design of Electric Tractor Cab Based on JACK[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(8): 106-110.
- [12] 朱盛镭. 体验经济背景下的汽车业变革[J]. 上海汽车, 2019(3): 1-2.
ZHU Sheng-lei. The Automotive Industry under the Background of Experience Economy[J]. Shanghai Auto, 2019(3): 1-2.
- [13] 胡飞, 姜明宇. 体验设计研究: 问题情境、学科逻辑与理论动向[J]. 包装工程, 2018, 39(20): 60-75.
HU Fei, JIANG Ming-yu. Experience Design Research: Problem Situation, Discipline Logic and Theoretical Trends[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(20): 60-75.