

虚拟现实技术在脊髓损伤康复中的应用进展

鲁银山 朱珊珊 马思亮

武汉大学人民医院康复医学科, 武汉 430060

通信作者: 朱珊珊, Email: 18908648633@189.cn

【摘要】 脊髓损伤(SCI)常继发手功能、步行功能、感觉功能等多种功能障碍,严重影响患者的生活质量。虚拟现实(VR)技术作为一项新兴的人工智能技术,越来越广泛地被应用于神经系统疾病的康复治疗。本文主要综述 VR 技术在 SCI 康复评估和康复治疗中的应用进展,包括在 SCI 后运动功能障碍、神经病理性疼痛、心理障碍等评估和治疗中的应用,以及相关作用机制。

【关键词】 虚拟现实技术; 脊髓损伤; 康复评估; 功能康复

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.10.017

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)可导致损伤平面以下的严重功能障碍,如手功能障碍、步行功能障碍、二便功能障碍、神经病理性疼痛等,给患者带来了身体和心理上的双重伤害。我国 SCI 发病率较高,约 37 人次/100 万,带来的社会和医疗负担较重^[1]。因此,针对 SCI 的康复具有十分重要的意义。虚拟现实(virtual reality, VR)是基于计算机技术的一种模拟现实环境的新兴康复治疗技术,可实现使用者与真实环境的互动^[2]。近年来越来越广泛地被应用于神经系统疾病的评估与治疗。本文就 VR 技术在 SCI 评估和功能康复中的应用进行综述。

VR 技术辅助 SCI 功能评估

康复评定是制订康复治疗方案的依据,评估的精确性有助于康复医师为患者制订较为完善的治疗方案并判断疾病预后。SCI 的常用评估工具为量表,其对微小功能变化的评估效率较低,且容易产生主观偏倚,而另外一些评估工具,如 30 min 步行试验^[3]、10 s 踏板试验^[4]等,虽较为客观,但由于其需要受试者具有一定的步行能力,故在 SCI 患者病程早期的功能评估中应用受限。

VR 技术具有沉浸性(immersive)、交互性(interactive)和多维度性(multidimensional),使用者在计算机创造的三维模拟现实环境中,能够通过视觉、触觉、听觉等反馈系统与虚拟世界进行实时交互作用,从而产生置身真实世界的感觉^[2]。VR 技术的上述特性为其成为 SCI 的客观评估工具奠定了基础。

近年来,越来越多的研究表明 VR 技术可用于 SCI 患者的功能评估,如上肢运动功能、手灵活度、步行功能等^[5-9]。例如, Gil-Agudo 等^[5]研发了一种基于 VR 技术的新型运动追踪系统,追踪受试者在虚拟环境中进行日常生活活动时的运动。该系统中设计了一种惯性感觉监测系统(inertial sensor-based monitoring system),由 5 个感受器组成,分别置于躯干中心点、头后部中点、右上臂、右前臂、右手部,记录受试者在进行各项活动时的肩关节屈曲、外展和内-外旋活动度;肘关节屈曲和旋前-旋后活动度;腕关节屈曲和桡侧-尺侧偏移度;头部前屈和侧屈活动度。研究者将该系统检测结果与摄像系统、Codamotion 三维动作分析系统、以及惯性测量单元(inertial measurement units)的测量分析结果进行比较分析,发现该分析系统的精确性与上述

各系统比较均无统计学差异,提示基于感觉的运动追踪系统通过与 VR 技术结合,可从 3 个维度分析上肢和头部的复杂运动,用于 SCI、脑卒中等所致四肢瘫患者上肢功能的评估。在另外一项研究中,Oh 等^[6]将 VR 技术与非定向活动跑台联合,用于 SCI 患者的步态分析。结果发现与传统直线步态训练相比,VR 系统中训练者在头部转动、骨盆旋转、髋外展/内收、腓绳肌激活水平、步宽等方面均表现得更为良好。该系统中,VR 技术为患者提供了安全可控的步态评估环境,同时使患者的步行表现更接近日常表现;另一方面,非定向活动跑台避免了经典直线活动跑台的缺陷,可实现步行方向的改变和步行速度的自然变化。

综上,VR 技术能使受试者在安全的环境中进行与日常生活密切相关的功能评估,这不仅有望大大改良传统评估方法的精确性,还可以节约时间、人力及物力。因此,VR 技术在 SCI 评估中的应用研究具有重要临床意义。

VR 技术辅助 SCI 康复

一、VR 技术改善 SCI 患者的上肢运动功能

大部分 SCI 患者都存在上肢运动功能障碍,不仅影响其日常上肢功能活动,亦影响其驱动轮椅,实现运动转移^[10-13]。Dimbwadyo-Terrer 等^[10]研究了数据手套(data glove)联合沉浸式(immersive)VR 技术在治疗 SCI 患者手功能障碍中的作用。选取 9 名胸段 SCI 患者(包括 T₁₋₆)纳入实验。治疗组接受联合治疗,对照组仅接受常规康复治疗。研究结果表明联合治疗组在手的灵活性、协调性和抓握功能方面均较对照组改善。基于数据手套的运动捕捉技术,为患者的功能表现提供了客观的数据,使其在积极的环境中进行日常生活能力训练成为可能,也有助于发现何种类型的患者可能会受益于 VR 治疗,对于临床治疗方案的制订具有指导意义。

Prasad 等^[11]比较了 VR 技术联合传统常规治疗和单纯常规治疗在改善 SCI 患者上肢功能中的作用。选取 22 名 SCI 患者纳入该研究,按照随机数字表法将其分为联合治疗组和常规治疗组,于治疗前后对两组患者进行手功能、大运动灵敏度、日常生活独立性和生活质量的评估。结果显示,两组疗效虽无显著区别,但联合应用组患者对治疗方案的满意度较高,奖励、视

觉和语言线索与患者的竞争天性和互动的期望相符,可显著提高其康复治疗的依从性和积极性。

上肢功能训练(驱动轮椅)是 SCI 患者增强需氧适能(aerobic fitness)和上肢肌肉耐力的常规方法。另外,如果腿部肌肉萎缩,单独的功能性电刺激(functional electric stimulation, FES)所诱发的腿部活动不足以提高心肺功能^[12]。Hasnan 等^[13]观察 SCI 患者在虚拟环境中同时进行上肢和下肢的功能训练,即高强度上肢训练和 FES 腿部训练循环进行,结果显示患者上下肢的总能量输出峰值从(52.5±10.4)W 增至(70.0±12.0)W,同时患者需氧适能峰值增加了 20%。

二、VR 技术改善 SCI 患者的下肢运动功能

不完全性 SCI 患者在慢性期表现为损伤平面以下的肌无力、肌痉挛和肌肉协调性受损,影响患者的功能性步行和社会活动^[14]。van Dijksseldonk 等^[15]研究发现,15 名慢性不完全性 SCI 患者在步态实时分析互动实验平台(the gait real-time analysis interactive lab, GRAIL)进行 6 周步态稳定性训练后,平衡信心增加,步行速度、步长、步行稳定性均增加。VR 系统既是训练设备亦为评估设备,允许受试者在步行的过程中改变跑台速度,模拟真实自然的步行(如在森林中行走),跌倒风险较小。同时,可进行重复训练、反馈性练习,且因获得的愉悦感和成就感而不乏坚持训练的动力和激情。另外,可根据实时数据分析结果,得到与步行稳定性相关的生物力学指标。Oh 等^[16]研发了一种可同时实现步速自然改变和步行方向变换的 VR 系统,使患者能够进行更加接近自然步行的运动训练。An 等^[16]研究发现,半沉浸式(semi-immersive)VR 可改善慢性不完全性 SCI 患者的行走功能和站立平衡。对于需进行家庭康复的慢性不完全性 SCI 患者,可选择使用家庭版移动性下肢 VR 训练系统,以提高患者的下肢肌力、平衡功能、功能性转移能力^[17]。

完全性 SCI 患者下肢的感觉和运动功能均受损,失去了对下肢的拥有感(ownership)和行走能力。Shokur 等^[18]发现通过患者前臂进行感觉刺激,展示给患者的画面为刺激其腿/足部,即将丢失的腿/足部触觉映射至前臂,可重现截瘫患者的下肢本体感觉。8 名患者接受了下肢沉浸式 VR 训练,模拟在 3 种不同环境中(海滩、石路或草地)行走的感觉,感受虚拟腿在摆动相的活动,以及走路过程中足部在地板上踩的感觉。其中有 6 名患者成功获得了在 3 种不同地板上行走的真实感觉。虚拟腿和触觉反馈之间的交互关系分析显示患者可同化虚拟下肢,即患者感觉到自己拥有一双腿,这一体验使截瘫患者对义肢的接受率或使用率增加,且可提高其活动义肢的熟练度。

VR 与脑机接口(brain-machine interfaces, BMI)联合应用是一种帮助严重瘫痪患者恢复下肢运动功能的新策略^[19-20]。Chadwick 等^[21]研究发现,8 名 SCI 截瘫患者接受 12 个月的高强度沉浸式 VR 训练、丰富性视觉-触觉反馈和脑电活动控制的行走训练后,步行功能明显提高。50% 完全性 SCI 患者功能改善后,归入了不完全性瘫痪的疾病类型。该研究提示神经功能恢复与下肢运动想象在皮质水平的再现相同步,这种神经功能恢复可能源于长时程 BMI 训练后的皮质和脊髓重塑。同时,基于 BMI,患者可在 VR 环境中根据自身直观感觉和步调来控制义肢的活动^[20]。

VR 亦可与神经义肢(neuroprostheses)、机器人(如 3D 肌肉骨骼系统)联用,用于恢复高位 SCI 患者肢体的运动功能^[21-23]。

利用 VR 环境的特性,以及 VR 技术、神经义肢及机器人的实时智能反馈功能,可帮助患者进行肢体替代物的智能化运动训练。

三、VR 技术改善 SCI 患者的平衡功能

部分 SCI 患者遗留平衡功能问题,平衡功能对于患者能否实现独立步行十分重要。常用的步行训练一般采用减重步行训练,但该训练方法不足以解决姿势平衡问题^[24],而 VR 系统对于改善 SCI 患者的平衡功能具有促进作用^[25]。Oddsson 等^[26]提出 SCI 患者可在减重步行训练的基础上,增加 VR 系统辅助平衡功能训练,即佩戴 3D 眼镜——实现多重视野的视觉输入,呈现虚拟的不同周围环境。Khurana 等^[27]研究发现,VR 游戏性训练对截瘫患者平衡功能的改善作用较现实世界中的任务特异性平衡训练更佳,可能与 VR 联合游戏性训练调动了患者参与康复训练的积极性有关。

四、VR 技术改善 SCI 患者的神经病理性疼痛

神经病理性疼痛(neuropathic pain)是 SCI 的常见后遗症之一,对患者的功能状态、睡眠、心理均有显著影响,而现有的治疗方案均疗效欠佳^[28-29]。大量研究表明 VR 技术可明显缓解 SCI 后的神经病理性疼痛,其作为一种无创性、非药物性、低副作用的干预措施,在神经病理性疼痛的治疗中具有良好的应用前景^[1, 30-37]。

身体拥有感(body ownership)指感觉身体属于本体,与外界事物给予本体的感觉不同。这一拥有感需要大脑与各种感觉输入相联系(如触觉、痛觉、视觉信息)。身体拥有感出错,可导致疼痛的产生,常见于脑部损伤或 SCI 后^[32]。Pozeg 等^[33]首先将不同步/同步的触觉刺激作用于 SCI 患者背部(损伤平面上方或肩部),同时刺激虚拟腿,患者在屏幕上看到的画面是其腿部在接受刺激,随后仅刺激背部,患者看到的是其背部在接受刺激。结果显示 VR 技术对 SCI 患者的腿部拥有感和身体拥有感有着不同程度的影响,故而可能具有缓解 SCI 后神经病理性疼痛的作用。

同时,有研究表明,运动想象在改善 SCI 后运动功能的同时也可减轻疼痛,而 VR 技术通过加强患者的运动想象可达到缓解疼痛的目的^[34]。Villiger 等^[35]研究发现,VR 增强技术(VR-augmented)在改善不完全 SCI 患者运动功能的同时,可减轻神经病理性疼痛。该系统中患者能够看到一双虚拟腿,并可通过踝部的运动感受器控制虚拟腿的运动,反复的踝部活动增强运动想象,进而重复刺激大脑运动皮质,具有诱发皮质及皮质下结构可塑性变化的潜能。

此外,研究表明 VR 与 BMI 联用^[19]、VR 与经皮电刺激神经疗法联用^[36]、VR 与经颅直流电刺激联用^[37]均能缓解 SCI 后神经病理性疼痛。研究者们提出短疗程 VR 干预产生的镇痛作用可能源于其分散患者注意力(distraction)的作用,而长时程 VR 干预可能是通过促进神经重塑(neuroplasticity)发挥镇痛作用^[30]。

五、VR 技术促进 SCI 患者的心理康复

SCI 患者常因各种功能障碍而出现心理问题,如自杀倾向、抑郁、焦虑等^[38]。有研究结果显示基于 VR 技术的康复训练可缓解患者的紧张情绪^[39]。Flores 等^[40]观察了沉浸式 VR 增强辩证行为治疗(dialectical behavioral therapy)在改善两名 SCI 患者心理障碍中的作用。其中一位患者为四肢瘫,轻度抑郁、焦

虑,接受了 4 次治疗后负面情绪减少。另一位患者为轻度瘫痪,尝试过 1 次自杀,接受了 2 次治疗后创伤性应激障碍大大缓解,VR 技术在改善 SCI 患者心理障碍方面的疗效及作用机制均有待进一步研究。

六、VR 技术提高 SCI 患者的生活质量

SCI 患者可通过运动技能重塑,即充分利用残余的功能重建新的运动模式,以提高生活质量^[41]。Casadio 等^[41]联合 VR 技术和运动捕捉技术研究运动技能的重建,受试者可使用各种肢体活动来完成不同的任务,如通过控制键盘在 VR 环境中玩视频游戏、驱动模拟轮椅、移动屏幕上的鼠标至目标区域等。

另外,灵活熟练地使用轮椅/拥有驾驶能力也是提高 SCI 患者生活质量的优良方案。对于首次独立使用轮椅的患者,在沉浸式 VR 环境中进行基础轮椅驱动训练,可确保其拥有真实而安全的训练环境,并达到重复练习、成绩反馈和维持训练积极性的目的^[42]。此外,VR 技术可帮助 SCI 患者重获/习得驾驶能力,如受试者可在虚拟环境中体验在各种街道上行驶,同时患者的驾驶能力也可通过该训练系统得到实时评估^[43-44]。

七、其他

VR 康复是认知、运动刺激、娱乐和高智能相结合的产物,可增加患者康复训练的积极性、提高其愉悦感。功能的实现与运动、认知功能有关,比如注意力、记忆力和执行能力,提示 VR 技术对于认知障碍的改善可能具有促进作用。Maresca 等^[45]将 VR 技术应用于一名不完全性 SCI 患者认知功能障碍的治疗,结果显示经过 3 周治疗后,患者的认知功能各方面指标均得到明显改善。

总结与展望

VR 技术是一种无创性、安全性高的新型康复评估和康复治疗手段,主要应用于神经康复(包括运动、认知和言语康复)、心肺康复和矫形治疗等^[46-48]。其中,VR 技术不仅可辅助评估 SCI 程度及功能水平,还可通过提高 SCI 患者的参与性、自主性、自尊心,促进皮质和脊髓重塑,改善各种功能障碍^[49-51]。对于 SCI 的康复具有重要临床意义。

目前 VR 技术尚未广泛应用于 SCI 的临床评估和治疗,仍需要大样本量的临床研究和相关基础研究为其提供坚实的理论依据。例如,VR 分为完全沉浸型、半沉浸型和非沉浸型,不同类型的 VR 技术对于 SCI 后各种功能障碍的影响有何不同还有待探讨。同时,VR 技术对于 SCI 后其他功能障碍的影响,如二便障碍、性功能障碍等,目前尚无报道。另外,VR 技术对于其他疾病所致功能障碍是否具有治疗作用亦有待更多学者为之付出努力,如复杂区域性疼痛综合征、坐骨神经痛、糖尿病周围神经病变等。

近年来,随着 VR 技术的发展,将其与其他人工智能或经典康复治疗方法联合应用,或用于优化与之联用的治疗方案,对提高患者的康复疗效均有着重要研究价值。相信随着科学技术的进步,经济水平的提高,VR 技术将越来越完善,其临床应用将越来越广泛。基于 VR 的家庭康复也有望成为现实,造福广大功能障碍患者。

参 考 文 献

[1] 陈星月,陈栋,陈春慧,等.中国创伤性脊髓损伤流行病学和疾病

经济负担的系统评价[J].中国循证医学杂志,2018,18(2):143-150.DOI:10.7507/16722531.2017.12034.

- [2] Kizony R, Raz L, Katz N, et al. Video captured virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury[J]. J Rehabil Res Dev, 2005,42(5):595-608.DOI: 10.1682/JRRD.2005.01.0023.
- [3] Singh A, Crookard HA. Quantitative assessment of cervical spondylotic myelo-pathy by a simple walking test[J]. Lancet, 1999,354(9176):370-373.
- [4] Nakashima H, Yukawa Y, Ito K, et al. Validity of the 10-s step test: prospective study comparing it with the 10-s grip and release test and the 30-m walking test[J]. Eur Spine J, 2011, 20(8):1318-1322. DOI:10.1007/s00586-011-1733-6.
- [5] Gil-Agudo A, de Los Reyes-Guzmán A, Dimbwadyo-Terrer I, et al. A novel motion tracking system for evaluation of functional rehabilitation of the upper limbs[J]. Neural Regen Res, 2013, 8(19):1773-1782. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5374.2013.19.005.
- [6] Oh K, Stanley CJ, Damiano DL, et al. Biomechanical evaluation of virtual reality-based turning on a self-paced linear treadmill[J]. Gait Posture, 2018, 65(1):157-162. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.07.175.
- [7] Trincado-Alonso F, Dimbwadyo-Terrer I, de Los Reyes-Guzmán A, et al. Kinematic metrics based on the virtual reality system Toyra as an assessment of the upper limb rehabilitation in people with spinal cord injury[J]. Biomed Res Int, 2014, 4(1):904985. DOI: 10.1155/2014/904985.
- [8] Alagha MA, Alagha MA, Dunstan E, et al. Development of a new assessment tool for cervical myelopathy using hand-tracking sensor: Part 1: validity and reliability[J]. Eur Spine J, 2017, 26(4):1291-1297. DOI: 10.1007/s00586-017-4948-3.
- [9] Alagha MA, Alagha MA, Dunstan E, et al. Development of a new assessment tool for cervical myelopathy using hand-tracking sensor: Part 2: normative values[J]. Eur Spine J, 2017, 26(4):1298-1304. DOI: 10.1007/s00586-017-4949-2.
- [10] Dimbwadyo-Terrer I, Trincado-Alonso F, de Los Reyes-Guzmán A, et al. Upper limb rehabilitation after spinal cord injury: a treatment based on a data glove and an immersive virtual reality environment[J]. Disabil Rehabil Assist Technol, 2016, 11(6):462-467. DOI:10.3109/17483107.2015.1027293.
- [11] Prasad S, Aikat R, Labani S, et al. Efficacy of virtual reality in upper limb rehabilitation in patients with spinal cord injury: a pilot randomized controlled trial[J]. Asian Spine J, 2018, 12(5):927-934. DOI: 10.31616/asj.2018.12.5.927.
- [12] Verellen J, Vanlandewijck Y, Andrews B, et al. Cardiorespiratory responses during arm ergometry, functional electrical stimulation cycling, and two hybrid exercise conditions in spinal cord injured[J]. Disabil Rehabil Assist Technol, 2007, 2(2):127-132.
- [13] Hasnan N, Engkasan JP, Husain R, et al. High-intensity virtual-reality arm plus FES-leg interval training in individuals with spinal cord injury[J]. Biomed Tech (Berl), 2013, 58(1):58. DOI: 10.1515/bmt-2013-4028.
- [14] Barbeau H, Nadeau S, Garneau C. Physical determinants, emerging concepts, and training approaches in gait of individuals with spinal cord injury[J]. J Neurotrauma, 2006, 23(3-4):571-585. DOI: 10.1089/neu.2006.23.571.
- [15] van Dijksseldonk RB, de Jong LAF, Groen BE, et al. Gait stability

- training in a virtual environment improves gait and dynamic balance capacity in incomplete spinal cord injury patients[J]. *Front Neurol*, 2018, 9(11):963. DOI: 10.3389/fneur.2018.00963.
- [16] An CM, Park YH. The effects of semi-immersive virtual reality therapy on standing balance and upright mobility function in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: a preliminary study[J]. *J Spinal Cord Med*, 2018, 41(2):223-229. DOI: 10.1080/10790268.2017.1369217.
 - [17] Villiger M, Liviero J, Awai L, et al. Home-based virtual reality-augmented training improves lower limb muscle strength, balance, and functional mobility following chronic incomplete spinal cord injury[J]. *Front Neurol*, 2017, 28(8):635. DOI: 10.3389/fneur.2017.00635.
 - [18] Shokur S, Gallo S, Moiola RC, et al. Assimilation of virtual legs and perception of floor texture by complete paraplegic patients receiving artificial tactile feedback[J]. *Sci Rep*, 2016, 6(1):32293. DOI: 10.1038/srep32293.
 - [19] Donati AR, Shokur S, Morya E, et al. Long-term training with a brain-machine interface-based gait protocol induces partial neurological recovery in paraplegic patients[J]. *Sci Rep*, 2016, 6(1):30383. DOI: 10.1038/srep30383.
 - [20] Wang PT, King CE, Chui LA, et al. Self-paced brain-computer interface control of ambulation in a virtual reality environment[J]. *J Neural Eng*, 2012, 9(5):056016. DOI: 10.1088/1741-2560/9/5/056016.
 - [21] Chadwick EK, Blana D, van den Bogert AJ, et al. A real-time, 3-D musculoskeletal model for dynamic simulation of arm movements[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2009, 56(4):941-948. DOI: 10.1109/TBME.2008.2005946.
 - [22] Davoodi R and Loeb GE. Real-time animation software for customized training to use motor prosthetic systems[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2012, 20(2):134-142. DOI: 10.1109/TNSRE.2011.2178864.
 - [23] Calabrò RS, Cacciola A, Bertè F, et al. Robotic gait rehabilitation and substitution devices in neurological disorders: where are we now[J]. *Neurol Sci*, 2016, 37(4):503-514. DOI: 10.1007/s10072-016-2474-4.
 - [24] Sullivan KJ, Knowlton BJ, Dobkin BH. Step training with body weight support: effect of treadmill speed and practice paradigms on poststroke locomotor recovery[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83(5):683-691. DOI: 10.1053/apmr.2002.32488.
 - [25] Kizony R, Raz L, Katz N, et al. Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury[J]. *J Rehabil Res Dev*, 2005, 42(5):595-608.
 - [26] Oddsson LI, Karlsson R, Konrad J, et al. A rehabilitation tool for functional balance using altered gravity and virtual reality[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2007, 4(1):25. DOI: 10.1186/1743-0003-4-25.
 - [27] Khurana M, Walia S, Noohu MM. Study on the effectiveness of virtual reality game-based training on balance and functional performance in individuals with paraplegia[J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2017, 23(3):263-270. DOI: 10.1310/sci16-00003.
 - [28] Avluk OC, Gurcay E, Gurcay AG, et al. Effects of chronic pain on function, depression, and sleep among patients with traumatic spinal cord injury[J]. *Ann Saudi Med*, 2014, 34(3):211-216. DOI: 10.5144/0256-4947.2014.211.
 - [29] Hadjipavlou G, Cortese AM, Ramaswamy B. Spinal cord injury and chronic pain[J]. *BJA Educ*, 2016, 16(8):264-268. DOI: 10.1159/000086283.
 - [30] Austin PD, Siddall PJ. Virtual reality for the treatment of neuropathic pain in people with spinal cord injuries: a scoping review[J]. *J Spinal Cord Med*, 2019, 1(1):1-11. DOI: 10.1080/10790268.2019.1575554.
 - [31] Chi B, Chau B, Yeo E, et al. Virtual reality for spinal cord injury-associated neuropathic pain: Systematic review[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2019, 62(1):49-57. DOI: 10.1016/j.rehab.2018.09.006.
 - [32] Saadon-Grosman N, Arzy S. Virtual reality may relieve pain in patients with spinal cord injury[J]. *Neurology*, 2017, 89(18):227-230. DOI: 10.1212/WNL.0000000000004592.
 - [33] Pozeg P, Palluel E, Ronchi R, et al. Virtual reality improves embodiment and neuropathic pain caused by spinal cord injury[J]. *Neurology*, 2017, 89(18):1894-1903.
 - [34] Roosink M, Mercier C. Virtual feedback for motor and pain rehabilitation after spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2014, 52(12):860-866. DOI: 10.1038/sc.2014.160.
 - [35] Villiger M, Bohli D, Kiper D, et al. Virtual reality-augmented neuro-rehabilitation improves motor function and reduces neuropathic pain in patients with incomplete spinal cord injury[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2013, 27(8):675-683. DOI: 10.1177/1545968313490999.
 - [36] Özkul Ç, Kılınc M, Yıldırım SA, et al. Effects of visual illusion and transcutaneous electrical nerve stimulation on neuropathic pain in patients with spinal cord injury: a randomised controlled cross-over trial[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2015, 28(4):709-719. DOI: 10.3233/BMR-140573.
 - [37] Kumru H, Soler D, Vidal J, et al. The effects of transcranial direct current stimulation with visual illusion in neuropathic pain due to spinal cord injury: an evoked potentials and quantitative thermal testing study[J]. *Eur J Pain*, 2013, 17(1):55-66. DOI: 10.1002/j.1532-2149.2012.00167.x.
 - [38] Kennedy P, Garmon-Jones L. Self-harm and suicide before and after spinal cord injury: a systematic review[J]. *Spinal Cord*, 2017, 55(1):2-7. DOI: 10.1038/sc.2016.135.
 - [39] Chen CH, Jeng MC, Fung CP, et al. Psychological benefits of virtual reality for patients in rehabilitation therapy[J]. *J Sport Rehabil*, 2009, 8(2):258-268. DOI: 10.1123/jsr.18.2.258.
 - [40] Flores A, Linehan MM, Todd SR, et al. The use of virtual reality to facilitate mindfulness skills training in dialectical behavioral therapy for spinal cord injury: a case study[J]. *Front Psychol*, 2018, 9(4):531. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00531.
 - [41] Casadio M, Pressman A, Acosta S, et al. Body machine interface: re-mapping motor skills after spinal cord injury[J]. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*, 2011, 11(1):5975384. DOI: 10.1109/ICORR.2011.5975384.
 - [42] Nunnerley J, Gupta S, Snell D, et al. Training wheelchair navigation in immersive virtual environments for patients with spinal cord injury - end-user input to design an effective system[J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2017, 12(4):417-423. DOI: 10.1080/17483107.2016.1176259.
 - [43] Sung WH, Chiu T, Tsai WW, et al. The effect of virtual reality-enhanced driving protocol in patients following spinal cord injury[J]. *J Chin Med Assoc*, 2012, 75(11):600-605. DOI: 10.1016/j.jcma.2012.08.004.
 - [44] Carlozzi NE, Gade V, Rizzo AS, et al. Using virtual reality driving

- simulators in persons with spinal cord injury: three screen display versus head mounted display[J]. Disabil Rehabil Assist Technol, 2012, 8(2):176-180. DOI: 10.3109/17483107.2012. 699990.
- [45] Maresca G, Maggio MG, Buda A, et al. A novel use of virtual reality in the treatment of cognitive and motor deficit in spinal cord injury[J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97(50): 13559. DOI: 10.1097/MD.00000000000013559.
- [46] Laver K, George S, Thomas S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation: an abridged version of a Cochrane review[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2015, 51(4):497-506.
- [47] Shin H, Kim K. Virtual reality for cognitive rehabilitation after brain injury: a systematic review[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(9):2999-3002. DOI:10.1589/jpts.27.2999.
- [48] Turolla A, Dam M, Ventura L, et al. Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2013, 10(1):85. DOI: 10.1186/1743-0003-10-85.
- [49] Zimmerli L, Jacky M, Lünenburger L, et al. Increasing patient engagement during virtual reality-based motor rehabilitation [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2013, 94(9):1737-1746. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.01.029.
- [50] Steffin M. Computer assisted therapy for multiple sclerosis and spinal cord injury patients application of virtual reality[J]. Stud Health Technol Inform, 1997, 39(1):64-72.
- [51] Villiger M, Grabher P, Hepp-Reymond MC, et al. Relationship between structural brainstem and brain plasticity and lower-limb training in spinal cord injury: a longitudinal pilot study[J]. Front Hum Neurosci, 2015, 9(1):254. DOI: 10.3389/fnhum. 2015.00254.

(修回日期:2019-07-12)

(本文编辑:凌 琛)

· 外刊撷英 ·

Pelvic floor rehabilitation in the treatment of women with dyspareunia: a randomized controlled clinical trial

INTRODUCTION AND HYPOTHESIS Dyspareunia, the symptom of painful sexual intercourse, is a common sexual dysfunction in reproductive-aged women. Because of its multifactorial etiology, a multidisciplinary approach may be required to treat it. Musculoskeletal factors play an important role; thus, rehabilitating the pelvic floor and modifying the tone of the pelvic floor muscles (PFMs) may be an effective way to treat this dysfunction. The aim of this randomized controlled clinical study was to evaluate the effects of pelvic floor rehabilitation techniques on dyspareunia.

METHODS Of 84 women, assessed for eligibility, 64 women with dyspareunia were randomized into two groups: the experimental group ($n=32$) received electrotherapy, manual therapy, and PFM exercises and the control group ($n=32$) had no treatment while on the waiting list. Evaluations of PFM strength and endurance, sexual function, and pain were made directly before and after 3 months of treatment and at the 3-month follow-up.

RESULTS Between-group changes showed significant improvement in the experimental group in comparison with control group. Mean difference in the PFM strength (according to the 0–5 Oxford scale) between groups was 2.01 and the mean difference of endurance was 6.26 s. Also, the mean difference in the Female Sexual Function Index score (the score ranges from 2 to 95) was 51.05, and the mean difference in the VAS score was 7.32. All of the changes were statistically significant ($P<0.05$).

CONCLUSIONS According to the results, pelvic floor rehabilitation is an important part of a multidisciplinary treatment approach to dyspareunia.

【摘自:Ghaderi F, Bastani P, Hajebrahimi S, et al. Pelvic floor rehabilitation in the treatment of women with dyspareunia: a randomized controlled clinical trial. Int Urogynecol J, 2019, 7, 8, DOI: 10.1007/s00192-019-04019-3.】