

# 中国创伤性颅脑损伤患者流行病学特点及康复治疗研究进展

邢靖松 李贞兰

吉林大学第一医院康复医学科, 长春 130021

通信作者: 李贞兰, Email: zhenlan@jlu.edu.cn

**【摘要】** 创伤性颅脑损伤是一种常见病、多发病, 有较高的发生率、致残率和死亡率, 且在年龄、性别、地区及致伤外因等分布上存在一定的规律性。创伤性颅脑损伤后常遗留有不同程度的功能障碍, 精准评估和适时介入治疗可有效改善和恢复功能。本文简要阐述了国内外创伤性颅脑损伤的流行病学特点、临床特征和康复治疗进展, 以期探索中国创伤性颅脑损伤的发生发展规律、制订预防和康复干预策略提供依据。

**【关键词】** 创伤性颅脑损伤; 流行病学特点; 康复干预; 康复治疗

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.09.021

创伤性颅脑损伤, 即脑外伤, 是指道路交通事故、高处坠落、平地跌倒、钝器击打、工伤事故和火器伤等外界暴力因素直接或间接作用于人体头部, 从而使颅脑受到钝性或利性的开放性或闭合性损伤<sup>[1-2]</sup>。创伤性颅脑损伤具有发生率高、致残率高、死亡率高、恢复进程缓慢及医疗费用高等特点, 是全球重要的公共卫生问题之一<sup>[3]</sup>。目前, 发达国家通过建立完善的创伤性颅脑损伤数据库, 制订了重度创伤性颅脑损伤救治指南, 包括转运及院内外急救等流程, 提高了救治水平, 降低了死亡率和致残率<sup>[4-5]</sup>。中国国内尚缺乏创伤性颅脑损伤的流行病学数据调查研究, 尚未建立规范化康复干预措施。创伤性颅脑损伤患者需要长期的综合康复治疗, 家庭和社会负担巨大<sup>[6]</sup>。因此, 了解创伤性颅脑损伤的流行病学特征、致伤外因、功能障碍特点及治疗方式等, 对其预防、诊疗、康复和预后至关重要。本文就国内外创伤性颅脑损伤的流行病学现状及康复治疗进展进行系统综述, 旨在为创伤性颅脑损伤的预防、临床救治及康复干预提供参考。

## 创伤性颅脑损伤的流行病学特征

随着经济的发展, 创伤性颅脑损伤的发生率和死亡率有所变化。据世界卫生组织报道, 全球每年创伤性颅脑损伤新发病例约 5~6 千万人<sup>[7]</sup>。不同国家及地区之间创伤性颅脑损伤的发生率和死亡率各不相同。美国疾病控制预防中心的一项调查研究显示, 美国平均每年约有 170 万人发生创伤性颅脑损伤, 其中 27.5 万人住院, 5.2 万人死亡<sup>[8]</sup>。Majdan 等<sup>[9]</sup> 研究显示, 25 个发达国家创伤性颅脑损伤平均死亡率为 11.7/10 万人。Jiang 等<sup>[10]</sup> 回顾性分析了中国 2001~2016 年创伤性颅脑损伤患者 125474 例, 其发生率为 554~641/10 万人。Cheng 等<sup>[11]</sup> 基于全国疾病监测系统, 纵向分析了 2006~2013 年中国创伤性颅脑损伤死亡病例, 发现中国创伤性颅脑损伤总死亡率持较高水平, 为 12.99~17.06/10 万人。由此可见, 中国创伤性颅脑损伤的发生率和死亡率较高, 随之带来的致残率也居高不下。因此, 探讨中国创伤性颅脑损伤的发展趋势, 采取适当措施加以控制并进行康复干预, 是改变国内创伤性颅脑损伤现状亟待解决的问题。

在不同国家及不同地区中, 创伤性颅脑损伤发生的性别、

年龄、地区和致伤外因不尽相同。Burkadz 等<sup>[12]</sup> 对美国 542 例创伤性颅脑损伤住院患者进行统计分析, 结果显示男性的发生率高于女性, 约占 63%, 平均受伤年龄 17.7 岁, 城市发生率高于郊区, 主要致伤外因为跌倒和击打伤。Schwenkreis 等<sup>[13]</sup> 对 2014~2015 年就诊于医院的创伤性颅脑损伤住院患者进行调查, 发现患者平均好发年龄段为 70 岁以上, 主要致伤外因为跌倒和交通事故。Cheng 等<sup>[11]</sup> 与李季林等<sup>[14]</sup> 调查研究后, 认为中国创伤性颅脑损伤患者的流行病学特征如下: 男性死亡风险为女性的 3 倍; 平均好发年龄为 38.35 岁; 创伤性颅脑损伤死亡率年龄差异较大, 并随年龄增长呈大幅增加趋势; 农村居民死亡率高于城镇; 跌倒和交通事故为创伤性颅脑损伤两大主要致伤外因。由此可见, 创伤性颅脑损伤在一般人口学特征及致伤外因等分布上都存在明显的规律。因此, 应针对创伤性颅脑损伤患者所遗留的功能障碍进行康复干预, 提高其生活质量, 使其早日回归社会, 以减轻家庭和社会负担。

马锦华等<sup>[15]</sup>、李日等<sup>[16]</sup> 研究发现, 创伤性颅脑损伤的类型以脑挫裂伤或颅内血肿最多发, 其次为蛛网膜下腔出血、硬膜下血肿及硬膜外血肿等, 脑积水所占比例最低。在损伤程度方面, 胡锦涛等<sup>[17]</sup> 对 80 家医院收治的创伤性颅脑损伤患者进行多中心、前瞻性调查研究后, 发现重型创伤性颅脑损伤患者所占比例超过中型。而许晓明<sup>[18]</sup> 对 1098 例创伤性颅脑损伤住院患者的病例资料进行统计后发现, 轻度创伤性颅脑损伤患者占 58.4%、中度占 23.4%、重度占 18.20%。提示随着医疗水平的改善及康复治疗的跟进, 中国国内重型创伤性颅脑损伤患者占比有所下降。

创伤性颅脑损伤通常伴有多发性损伤、骨折、脊髓损伤、周围神经损伤等, 常遗留多种功能障碍, 包括认知、运动、感觉及语言功能障碍等。其中, 认知功能障碍是创伤性颅脑损伤常见的功能障碍之一, 表现为记忆力、注意力、执行力、推理及思维等多种功能的异常<sup>[19]</sup>。创伤性颅脑损伤患者认知功能障碍的发生率高, 且因损伤程度、类型不同, 产生的临床表现差异较大。轻型患者伤后 3 个月内记忆和注意障碍的发生率为 40%~60%, 而中、重型患者可高达 90%<sup>[20]</sup>。此外, 受伤早期患者会经历意识障碍阶段, 包括昏迷、微意识状态、去皮质综合征及无动性缄默症等, 表现为患者觉醒程度下降和意识

内容、行为发生改变<sup>[21]</sup>。在日常康复训练中不难发现,意识障碍及认知功能障碍严重阻碍其他功能的恢复与改善。因此,在创伤性颅脑损伤的康复干预中,促进意识恢复和改善认知功能具有重要意义。

### 创伤性颅脑损伤的康复治疗进展

创伤性颅脑损伤病情复杂多样,且导致的功能障碍不一。目前,中国国内尚缺乏创伤性颅脑损伤的规划化康复治疗方法,临床上多采用传统康复治疗,包括物理治疗、作业治疗、言语治疗、中医疗法、药物及高压氧等手段,以改善关节活动度、提高肢体活动能力、改善言语认知和吞咽功能等<sup>[22]</sup>,但疗效欠佳。采用新技术用于改善创伤性颅脑损伤后多种功能障碍的研究逐渐增多,尤其体现在改善认知和运动功能障碍方面。

#### 一、非侵入性脑刺激技术

非侵入性脑刺激技术作为安全、无创且可操作性强的新兴技术,主要包括重复经颅磁刺激和经颅直流电刺激,目前已广泛应用于神经康复治疗中。

重复经颅磁刺激通过高频刺激提高神经元的兴奋性,低频刺激抑制神经元兴奋性,从而启动休眠网络或调节创伤性颅脑损伤患者大脑区域的异常或不同步活动,以促进大脑功能的恢复<sup>[23]</sup>。在改善创伤性颅脑损伤患者的认知功能障碍方面,目前国内外大多数学者认为,将重复经颅磁刺激作用于左、右侧前额叶背外侧皮质和左侧初级运动皮质区,可明显调节大脑神经兴奋性,促进患者意识恢复,并改善认知功能<sup>[24]</sup>。在运动及言语功能方面,大量临床试验及基础研究均证实,重复经颅磁刺激可用于改善创伤性颅脑损伤患者的肌力、肌张力,提高语言流畅性<sup>[25]</sup>。

经颅直流电刺激是将恒定、低强度的直流电作用于大脑皮质,进而达到调节皮质神经元活动的目的。其中,阳极刺激可引起临近神经元胞体或树突的神经元放电增加,起到兴奋的作用,阴极刺激则可引起神经细胞兴奋性降低<sup>[26]</sup>。Bai 等<sup>[27]</sup>结合脑电图技术,发现经颅直流电刺激治疗可以有效调节创伤性颅脑损伤后意识障碍患者的皮质兴奋性。Martens 等<sup>[28]</sup>发现,左侧前额叶背外侧皮质可作为改善创伤性颅脑损伤后意识障碍患者行为反应的重要靶点。此外,经颅直流电刺激可对静息态脑功能连接产生显著影响,经治疗后双侧大脑半球的感觉运动网络、左侧额顶网络及意识水平相关的默认网络关键节点的功能连接强度增强<sup>[29]</sup>。经颅直流电刺激早期主要用于改善脑卒中后各种功能障碍,近年来在创伤性颅脑损伤中的应用与研究也逐渐增多。

#### 二、康复机器人辅助技术

机器人辅助技术可通过刺激肢体运动神经,为创伤性颅脑损伤患者提供运动动力和肢体运动的神经反馈刺激,进而提升患者的神经功能重塑水平、步行能力和上肢运动功能<sup>[30]</sup>。Kosak 等<sup>[31]</sup>认为部分减重平板运动辅助训练机器人,对创伤性颅脑损伤所致的严重瘫痪患者帮助较大,可提高患者下肢运动功能和步行、平衡功能。另有研究表明,神经康复机械手辅助训练可有效改善创伤性颅脑损伤患者的上肢及手部运动功能<sup>[32]</sup>。然而,如何提高康复机器人辅助技术的安全性、设立相关标准化指南,并完善不同人群的个性化康复方案,仍是其在临床应用和推广中的重难点。

#### 三、虚拟现实技术

虚拟现实技术是一种借助计算机构建出与现实环境十分逼近的虚拟环境,使用户感受身临其境的人机交互技术。虚拟现实系统是带有多种传感器的多媒体计算机系统,能模拟出带有视觉、听觉的逼真虚拟 3D 环境,进而满足用户的感官体验。国外有研究者对 11 项采用虚拟现实技术促进创伤性颅脑损伤患者恢复的研究进行荟萃分析后,发现虚拟现实技术有益于创伤性颅脑损伤患者的康复,其中 2 项为高证据等级临床试验<sup>[33]</sup>。中国国内也有研究者采用虚拟现实训练系统对创伤性颅脑损伤患者实行康复训练,结果证实虚拟现实技术能改善创伤性颅脑损伤患者的认知功能障碍<sup>[34]</sup>。

#### 四、音乐疗法

音乐疗法以心理治疗的理论和方法为基础,运用音乐特有的生理、心理效应,使患者在音乐治疗师的协同下,通过设计音乐行为增进身心健康。有学者依据创伤性颅脑损伤患者的喜好音乐类型,综合 5~10 首歌制成音乐处方用于患者的治疗,结果显示音乐疗法可逐步恢复创伤性颅脑损伤患者的认知功能<sup>[35]</sup>。目前,对于音乐疗法深层作用机理的研究、标准评估方法的确立和社会普及度的提高,都将进一步促进音乐疗法在创伤性颅脑损伤患者临床康复中的广泛应用。

#### 五、脑-机接口技术

脑机接口技术是指通过大脑与计算机之间的直接联系,替代、增强或修复中枢神经系统的正常输出,并利用执行器将接收到的大脑信号转换为相应动作,即从“思想”直接转化为“行动”的一种新型人机信息交互方式。最新研究发现,脑机接口技术可改善患者的本体感觉障碍及认知、运动功能障碍<sup>[36]</sup>。动物试验表明,海马脑机接口技术的应用能够唤醒记忆缺陷大鼠的记忆<sup>[37]</sup>。目前,脑机接口技术多应用于脑卒中患者,通过神经反馈提升其运动及认知功能。随着人工智能的兴起,脑机接口技术有望成为研究神经网络重塑和脑功能激活的重要工具,并可能被大规模用于创伤性颅脑损伤患者认知及运动障碍的康复治疗中。

### 创伤性颅脑损伤的介入时机和治疗费用

#### 一、介入时机

目前,创伤性颅脑损伤的康复治疗分为急性期康复、恢复期康复和后遗症期康复。急性期康复对创伤性颅脑损伤患者的功能改善作用已被肯定。对于康复治疗的介入时机,国内外在脑卒中方面的研究较多,有关创伤性颅脑损伤康复治疗的最佳时间窗的研究较少。动物试验表明,对急性期创伤性颅脑损伤大鼠进行运动训练,可上调脑源性神经营养因子,改善运动功能,但若创伤性颅脑损伤后过早进行训练,运动的分子反应会遭到破坏,进而影响整个恢复进程<sup>[38]</sup>。Cope 等<sup>[39]</sup>比较了 34 例急性期和恢复期创伤性颅脑损伤患者进行综合康复治疗后的效果,结果发现急性期患者的住院时间明显缩短。贾敬俊等<sup>[40]</sup>将 563 例重症创伤性颅脑损伤患者随机分为早期康复组和延期康复组,早期康复组待生命体征平稳 24~72 h 后即开始康复训练,延期康复组待病情稳定后 2 周进行康复训练,结果显示早期康复组患者意识及运动功能恢复情况显著优于延期康复组。

创伤性颅脑损伤患者,在生命体征平稳、颅内压持续 24 h

稳定在 2.70 kPa 以内即可介入康复治疗,可有效激发患者潜能,充分发挥神经残存功能,减少和预防并发症,为恢复期功能康复奠定良好基础,更有益于提高日常生活能力<sup>[41]</sup>。

## 二、治疗费用

创伤性颅脑损伤给患者家庭和社会带来了巨大的经济负担,住院时间越长,患者的住院费用越高。在临床中,可通过尽早介入综合康复治疗,提高治疗效果、缩短住院时间,进而减少治疗费用。研究显示,80%以上的创伤性颅脑损伤发生在中低收入国家,每年花费全球经济约 4000 亿美元<sup>[42]</sup>。美国每年创伤性颅脑损伤所造成的直接经济损失高达 45 亿美元,其中患者住院费用占 35 亿美元<sup>[43]</sup>。美国国立卫生研究院曾调查报告,对 1 例重度创伤性颅脑损伤幸存患者进行 5~10 年的精心医治和护理,消费将高达约 400 万美元<sup>[44]</sup>。中国有研究者调查发现,患者平均住院总费用为 18680.7 元,中、重度患者住院平均费用远高于轻度患者<sup>[6]</sup>。以上仅为创伤性颅脑损伤患者住院期间的费用,还未包括患者后期进行康复治疗所产生的支出及丧失生产力所导致收入来源的损失。国内多数患者因难以承担巨额费用而中途停止治疗,给其持续康复也带来了较大的难度。

## 创伤性颅脑损伤的预后

创伤性颅脑损伤的预后与很多因素密切相关,如年龄、病情、损伤部位、性质、范围、是否伴发其他器官组织损伤和救治时机等。据统计,美国每年约有 23.5 万例创伤性颅脑损伤幸存者住院接受治疗,其中在接受康复治疗 1 年后仍遗留有不同程度残疾的患者占 43.3%<sup>[45-46]</sup>。医务工作者可通过随访对患者进行功能评定及病情询问,并结合出院时格拉斯哥评分来判断患者的预后及功能恢复情况,进一步指导患者进行相关康复治疗。

## 总结与展望

近年来,中国部分地区已建立了相对完善的单中心创伤性颅脑损伤数据库,但尚未形成统一的、规范化、标准化、大样本的数据库。在创伤性颅脑损伤流行病学特征方面,年龄、性别、地区、致伤外因等分布上存在一定的规律性。在康复治疗应用进展方面,重复经颅磁刺激、经颅直流电刺激、康复机器人和音乐疗法等治疗新技术为创伤性颅脑损伤患者的康复带来了曙光,但治疗措施、介入时机等具体参数仍缺乏统一标准。因此,未来应建立大规模创伤性颅脑损伤数据库,并深入研究康复治疗技术,降低中国创伤性颅脑损伤的发生率、致残率和死亡率,为创伤性颅脑损伤的预防、临床救治及康复提供参考。

## 参 考 文 献

- [1] Lefevre-Dognin C, Cogné M, Perdreau V, et al. Definition and epidemiology of mild traumatic brain injury [J]. *Neurochirurgie*, 2021, 67 (3): 218-221. DOI: 10.1016/j.neuchi.2020.02.002.
- [2] Peeters W, Majdan M, Brazinova A, et al. Changing epidemiological patterns in traumatic brain injury: a longitudinal hospital-based study in Belgium [J]. *Neuroepidemiology*, 2017, 48 (1-2): 63-70. DOI: 10.1159/000471877.
- [3] Haarbauer-Krupa J, Pugh MJ, Prager EM, et al. Epidemiology of chronic effects of traumatic brain injury [J]. *J Neurotrauma*, 2021, 38 (23): 3235-3247. DOI: 10.1089/neu.2021.0062.
- [4] 于洋,张琳瑛,梁恩和.中文版创伤性颅脑损伤患者生活质量量表的信度及效度研究[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2013, 35 (5): 356-359. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.05.005.
- [5] Voormolen DC, Zeldovich M, Haagsma JA, et al. Outcomes after complicated and uncomplicated mild traumatic brain injury at three- and six-months post-injury: results from the center-TBI study [J]. *J Clin Med*, 2020, 9 (5): 1525. DOI: 10.3390/jcm9051525.
- [6] 成佩霞,胡国清.创伤性脑损伤流行病学特点的研究现状[J]. *中华创伤杂志*, 2018, 34 (1): 78-83. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2018.01.017.
- [7] Bossers SM, Loer SA, Bloemers FW, et al. Association between prehospital tranexamic acid administration and outcomes of severe traumatic brain injury [J]. *JAMA Neurol*, 2021, 78 (3): 338-345. DOI: 10.1001/jamaneurol.2020.4596.
- [8] Taylor CA, Bell JM, Breiding MJ, et al. Traumatic brain injury-related emergency department visits, hospitalizations, and deaths—United States, 2007 and 2013 [J]. *MMWR Surveill Summ*, 2017, 17, 66 (9): 1-16. DOI: 10.15585/mmwr.ss6609a1.
- [9] Majdan M, Plancikova D, Brazinova A, et al. Epidemiology of traumatic brain injuries in Europe: a cross-sectional analysis [J]. *Lancet Public Health*, 2016, 1 (2): 76-83. DOI: 10.1016/S2468-2667 (16) 30017-2.
- [10] Jiang JY, Gao GY, Feng JF, et al. Traumatic brain injury in China [J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18 (3): 286-295. DOI: 10.1016/S1474-4422 (18) 30469-1.
- [11] Cheng P, Yin P, Ning P, et al. Trends in traumatic brain injury mortality in China, 2006-2013: a population-based longitudinal study [J]. *PLoS Med*, 2017, 14 (7): e1002332. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002332.
- [12] Burkadze E, Axobadze K, Chkhaberidze N, et al. Epidemiology of traumatic brain injury in Georgia: a prospective hospital-based study [J]. *Risk Manag Healthc Policy*, 2021, 12 (14): 1041-1051. DOI: 10.2147/RMHP.S290175.
- [13] Schwenkreis P, Gonschorek A, Berg F, et al. Prospective observational cohort study on epidemiology, treatment and outcome of patients with traumatic brain injury (TBI) in German BG hospitals [J]. *BMJ Open*, 2021, 11 (6): e045771. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-045771.
- [14] 李季林,盛罗平,陈仁辉,等.597 例住院颅脑损伤患者流行病学调查 [J]. *中华全科医学*, 2014, 12 (12): 1986-1989. DOI: 10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.2014.12.006.
- [15] 马锦华,高静,王珊珊,等.西安市 2025 例颅脑损伤住院患者临床及流行病学特点 [J]. *创伤外科杂志*, 2017, 19 (6): 411-416. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4237.2017.06.003.
- [16] 李日,赵景伟,栾永昕,等.吉林省颅脑创伤住院患者的流行病学研究 [J]. *中华神经创伤外科电子杂志*, 2015, 1 (2): 9-13. DOI: CNKI: SUN: SJCW.0.2015-02-005.
- [17] 胡锦,姚海军,刘永,等.华东地区颅脑创伤流行病学调查 [J]. *中华神经外科杂志*, 2008, 24 (2): 88-91. DOI: 10.3321/j.issn: 1001-2346.2008.02.006.
- [18] 许晓明.1098 例住院颅脑损伤患者流行病学调查 [D]. 汕头大学, 2018.
- [19] Fehily B, Fitzgerald M. Repeated mild traumatic brain injury: potential mechanisms of damage [J]. *Cell Transplant*, 2017, 26 (7): 1131-1155. DOI: 10.1177/0963689717714092.

- [20] 张赛. 颅脑创伤后神经行为障碍的认识和药物治疗[J]. 中华神经外科杂志, 2007, 23(7): 481-482. DOI: 10.3760/j.issn:1001-2346.2007.07.001.
- [21] Shenton ME, Hamoda HM, Schneiderman JS, et al. A review of magnetic resonance imaging and diffusion tensor imaging findings in mild traumatic brain injury[J]. Brain Imaging Behav, 2012, 6(2): 137-192. DOI: 10.1007/s11682-012-9156-5.
- [22] 任丽华, 项红宇, 贺晓生, 等. 创伤性脑损伤后认知障碍研究现状[J]. 中华神经外科疾病研究杂志, 2012, 11(1): 94-96. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2897.2012.01.031.
- [23] Piccione F, Cavinato M, Manganotti P, et al. Behavioral and neurophysiological effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on the minimally conscious state: a case study[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2011, 25(1): 98-102. DOI: 10.1177/1545968310369802.
- [24] Manganotti P, Formaggio E, Storti SF, et al. Effect of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on brain excitability in severely brain-injured patients in minimally conscious or vegetative state[J]. Brain Stimul, 2013, 6(6): 913-921. DOI: 10.1016/j.brs.2013.06.006.
- [25] 张英, 廖维靖, 邹凡, 等. 功能性电刺激循环运动联合低频重复经颅磁刺激对脑卒中恢复后期患者上肢功能恢复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(2): 127-130. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.02.005.
- [26] Zaninotto AL, Elhagrassy MM, Green JR, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) effects on traumatic brain injury (TBI) recovery: a systematic review [J]. Dement Neuropsychol, 2019, 13(2): 172-179. DOI: 10.1590/1980-57642018dn13-020005.
- [27] Bai Y, Xia X, Kang J, et al. TDCS modulates cortical excitability in patients with disorders of consciousness[J]. Neuroimage Clin, 2017, 15: 702-709. DOI: 10.1016/j.nicl.2017.01.025.
- [28] Marten S G, Barra A, Laureys S, et al. Recent advance in the treatment of patients with disorders of consciousness: a review of transcranial direct current stimulation efficacy[J]. Brain Stimul, 2019, 12(2): 428. DOI: 10.1016/j.brs.2018.12.385.
- [29] 赵敬璞, 倪莹莹, 林瀚波, 等. 经颅直流电刺激对最小意识状态患者脑功能网络的即刻效应研究[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(3): 259-263. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2018.03.002.
- [30] Fangkun Lin. Effects of upper limb rehabilitation robot assisted training on upper limb motor function in patients with stroke hemiplegia[J]. Chin Med Device Inform, 2020, 26(5): 119-120. DOI: 10.1177/1545968307305457.
- [31] Kosak MC, Reding MJ. Comparison of partial body weight-supported treadmill gait training versus aggressive bracing assisted walking post stroke[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2000, 14(1): 13-19. DOI: 10.1177/154596830001400102.
- [32] 许济, 田苗, 陈斌, 等. 神经康复机械手联合常规训练对脑卒中伴偏瘫患者肢体功能恢复的影响[J]. 中国临床医生杂志, 2021, 49(3): 296-299. DOI: 10.3969/j.issn.2095-8552.2021.03.014.
- [33] Aida J, Chau B, Dunn J. Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: a literature review [J]. NeuroRehabilitation, 2018, 42(4): 441-448. DOI: 10.3233/NRE-172361.
- [34] Biffi E, Beretta E, Cesario A, et al. An immersive virtual reality platform to enhance walking ability of children with acquired brain injuries [J]. Methods Inf Med, 2017, 56(2): 119-126. DOI: 10.3414/ME16-02-0020.
- [35] Siponkoski ST, Martínez-Molina N, Kuusela L, et al. Music therapy enhances executive functions and prefrontal structural neuroplasticity after traumatic brain injury: evidence from a randomized controlled trial[J]. J Neurotrauma, 2020, 37(4): 618-634. DOI: 10.1089/neu.2019.6413.
- [36] 呼思乐. 闭环脑-机接口中大鼠海马及皮层集群锋电位实时解码算法的研究[D]. 浙江大学, 2019.
- [37] Itoh T, Imano M, Nishida S, et al. Exercise increases neural stem cell proliferation surrounding the area of damage following rat traumatic brain injury[J]. J Neural Transm (Vienna), 2011, 118(2): 193-202. DOI: 10.1007/s00702-010-0495-3.
- [38] Sivak S, Nosal V, Bittsanky M, et al. Type and occurrence of serious complications in patients after mild traumatic brain injury[J]. Bratisl Lek Listy, 2016, 117(1): 22-25. DOI: 10.4149/bll-2016-005.
- [39] Cope DN, Hall K. Head injury rehabilitation: benefit of early intervention[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1982, 63(9): 433-437. DOI: 10.1177/036354658201000613.
- [40] 贾敬俊, 孙建, 韩建兰. 不同时期康复训练对重型颅脑损伤患者预后的影响[J]. 中国实用护理杂志, 2006, 22(5): 22-24. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1672-7088.2006.13.013.
- [41] Tepas JJ, Leapart CL, Pieper P, et al. The effect of delay in rehabilitation on outcome of severe traumatic brain injury[J]. J Pediatr Surg, 2009, 44(2): 368-372. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2009.02.005.
- [42] Morris S, Ridley S, Lecky FE, et al. Determinants of hospital costs associated with traumatic brain injury in England and Wales[J]. Anaesthesia, 2008, 63(5): 499-508. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2007.05432.x.
- [43] Tuominen R, Joelsson P, Tenovuo O. Treatment costs and productivity losses caused by traumatic brain injuries[J]. Brain Inj, 2012, 26(14): 1697-1701. DOI: 10.3109/02699052.2012.722256.
- [44] Anonymous. NIH consensus development panel on rehabilitation of persons with traumatic brain injury[J]. JAMA, 1999, 282(10): 974-983. DOI: 10.1097/00001199-200002000-00014.
- [45] Novack TA, Bush BA, Meythaler JM, et al. Outcome after traumatic brain injury: pathway analysis of contributions from premorbid, injury severity, and recovery variables[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82(3): 300-305. DOI: 10.1053/apmr.2001.18222.
- [46] Cifu DX, Kreutzer JS, Kolakowsky-Hayner SA, et al. The relationship between therapy intensity and rehabilitative outcomes after traumatic brain injury: a multicenter analysis [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2003, 84(10): 1441-1448. DOI: 10.1016/s0003-9993(03)00272-7.

(修回日期: 2022-07-03)

(本文编辑: 凌琛)