

# 前庭康复的机制及其在脑卒中康复中的应用和研究进展

尹苗苗 李雅晴 张玥

天津市环湖医院康复医学科,天津 300050

通信作者:张玥,Email:damoon325@hotmail.com

**【摘要】**前庭康复是针对因前庭功能障碍导致的头晕/眩晕、前庭-视觉症状、姿势不稳等前庭症状,采取以运动训练为基础的治疗方法,以促进中枢神经系统代偿,改善平衡和步态功能,预防跌倒的康复治疗手段。目前,以前庭功能障碍为切入点,对脑卒中患者进行评估和功能恢复的康复治疗鲜见报道。本文主要针对前庭康复在脑卒中康复中的神经机制、临床应用、影响因素等进行综述,旨在进一步明确前庭康复在脑卒中的应用价值,以期为脑卒中临床康复提供新的思路。

**【关键词】** 脑卒中; 前庭康复; 神经机制; 临床应用; 影响因素

**基金项目:**天津市卫生健康科技项目(TJWJ2024MS029);国家重点研发计划资助(2022YFF1202503);天津市卫生健康科技项目(TJWJ2023MS026)

**Funding:** Tianjin Health Research Project (TJWJ2024MS029); National Key Research and Development Program of China (2022YFF1202503); Tianjin Health Research Project (TJWJ2023MS026)

DOI:10.3760/cma.j.cn421666-20220331-00314

头晕和(或)眩晕的病因复杂,流行病学资料表明,约3%~5%的急性头晕和(或)眩晕患者的病因为脑卒中,且最常见于由后循环供血的小脑或脑干卒中<sup>[1]</sup>。根据2019年全球疾病负担研究的结果,2019年中国新增缺血性脑卒中287万例,其中后循环缺血性脑卒中约占20%~25%,而在后循环缺血性脑卒中患者中,约47%~75%会出现头晕或眩晕<sup>[2-4]</sup>。目前,我国尚缺乏头晕或眩晕相关的大规模流行病学数据,但随着我国眩晕医学的发展,前庭医学也得到了越来越多的关注。

研究表明,后循环脑卒中伴前庭症状患者发生神经功能恶化的风险较高,且急性期头晕、恶心、呕吐等症状明显,患者往往以卧床为主,但无明显的肢体瘫痪<sup>[3]</sup>。目前,临床缺乏对后循环脑卒中伴前庭症状患者平衡和步态功能的关注,甚至在出院时该类患者仍可能存在头晕、无法自主站立和行走等症状,同时前庭功能障碍还会影响患者的空间记忆、定向导航等高级功能,从而导致其日常生活活动能力受限,延长病程,不仅可能引发焦虑、抑郁等心理疾病,还会增加患者的经济负担<sup>[4]</sup>。

前庭康复训练是针对前庭功能障碍患者采取的以运动训练为主的康复措施,其目的在于提高患者的前庭觉、视觉和本体感觉对平衡的协调和控制能力,改善其平衡功能,并预防跌倒<sup>[5-6]</sup>。目前,对于前庭康复的疗效评估和机制的探讨主要集中在外周性前庭功能损伤<sup>[7-8]</sup>,而对于涉及中枢结构,如脑卒中所致前庭功能障碍的康复研究鲜见报道。近年来的研究发现,前庭康复治疗可改善神经受损患者的认知功能、平衡能力、运动功能和肌张力障碍等,并从功能层面上证实了前庭康复对中枢神经系统的有效性<sup>[9-10]</sup>,但是,脑卒中后前庭康复治疗的有效性及其治疗的规范化和体系化仍需要大量的临床研究加以验证。本文旨在通过对前庭康复治疗在脑卒中康复中的神经机制、临床应用、影响因素等进行综述,以期能够进一步地明确前庭康复在脑卒中的应用价值,为脑卒中的临床康复提供新的思路。

## 前庭系统的生理功能

凡是与前庭系统有关的结构都可能参与了前庭的代偿过程<sup>[6]</sup>。前庭感受器(三对半规管、椭圆囊和球囊)感受躯体空间位置的变化,经前庭神经传入前庭神经核,后与其他感觉信息进行整合、加工等处理后,再经前庭神经通路(前庭眼动通路、前庭脊髓通路、前庭小脑通路、前庭自主神经通路、前庭网状结构通路、视前庭本体相互作用通路、前庭大脑皮质通路)和中枢环路,实现前庭系统的五大功能:视觉稳定、姿势控制、运动协调、人体平衡、保护机制、空间定向<sup>[11]</sup>。脑卒中致前庭联络通路中的任何一个部位损伤,都可能产生头晕、眩晕和姿势平衡障碍等前庭功能障碍。

## 前庭康复的神经代偿机制

前庭康复主要是在不同的刺激方式、内容和环境下使外周前庭器官产生相应的兴奋或抑制,在脑干、小脑和皮质中完成中枢整合,通过不断地学习和适应,建立新模式,形成新方法,以实现最佳的功能恢复<sup>[6]</sup>。无论外周还是中枢的前庭康复,其代偿机制均以神经系统的可塑性为基础,包括前庭的修复、适应和习服<sup>[4,12-14]</sup>。有研究对前庭代偿的不同时域特征进行了更加明确的概括:即静态代偿主要依赖于脑干水平的前庭核团活动的非对称性消失,该过程相对容易,且耗时较短;而动态代偿需要通过皮质的参与,以感觉替代、行为替代、认知策略等方式形成新的躯体控制模式或策略,这是日常生活恢复的关键,该过程相对困难,且不完全(图1和图2)<sup>[14]</sup>。上述两个维度下的前庭康复神经代偿机制,不仅是进行临床前庭康复的重要的理论基础,也是指导临床实践的核心思维框架。

### 一、前庭康复的静态代偿特征

单侧前庭功能损伤的患者会出现静态前庭功能缺陷,包括

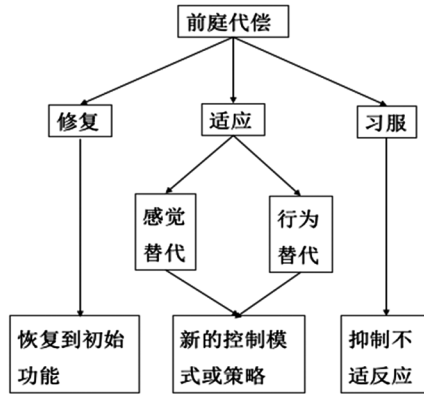


图1 前庭康复的机制

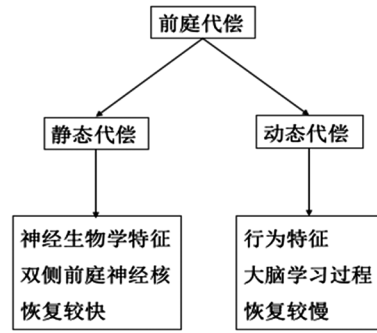


图2 前庭康复的时域特征

眼部症状(自发性眼球震颤、眼偏斜、静态眼旋转)、姿势症状(头偏斜、躯干偏斜)和感知症状(眩晕、主观视觉垂直线倾斜)等<sup>[15]</sup>。静态前庭症状产生的根本原因是双侧前庭核团复合体(vestibular nuclei complex, VNC)的静息放电严重失衡,当一侧发生损伤后,患侧 VNC 中 I 型前庭神经元的自发放电率和敏感性会下降,同时健侧 VNC I 型神经元对患侧 VNC I 型神经元的抑制作用会随之增强,并进一步通过激活患侧 II 型神经元来抑制患侧 I 型神经元的电活动,从而加剧两侧前庭张力的不平衡,导致前庭损伤后静态症状的出现<sup>[16-17]</sup>。有研究提出,VNC 自发活动的恢复主要是通过小脑对健侧 VNC 电活动的“钳制”作用增强,以及双侧 VNC 连合抑制系统和神经递质的变化来实现的<sup>[14,18]</sup>。

## 二、前庭康复的动态代偿特征

在前庭动态代偿中起最主要作用的是感觉替代和行为替代<sup>[19]</sup>。

感觉替代中,视觉替代在前庭康复的过程中尤为重要,因为视觉输入在信息的优先顺序中占主导地位,有研究发现,梅尼埃病患者经单侧前庭神经切断后,会出现视觉依赖与视觉独立策略互换的情况,这种倒转策略提示,单侧前庭病变患者存在感觉替代现象<sup>[20]</sup>。

行为替代主要是通过躯体行为来弥补前庭功能的受损,如该类患者的头部无法单独转动,而是将头和躯干作为整体一起转动,然而有研究指出,这种替代策略并不一定有利于患者的功能恢复,仍需要通过前庭康复的方式加以矫正,使其头与躯干可分离运动,从而恢复正确的行为模式<sup>[19]</sup>。因此,动态代偿取决于患者自身重新编排的行为模式,这可能涉及不同的脑结构和神经网络的重建。

## 前庭系统的影像学研究

对健康受试者的功能神经影像学研究表明,前庭刺激可激活多感觉皮质和皮质下网络,主要包括岛叶、颞顶叶连接部、体感皮质、海马、内侧嗅皮质、丘脑核团和基底节<sup>[21-24]</sup>。临床研究发现,外周前庭功能障碍可引起大脑皮质的广泛变化<sup>[25-26]</sup>。Bense 等<sup>[27-28]</sup>对前庭神经炎的患者分别在急性期和慢性期行正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography, PET)扫描发现,急性期,多感觉前庭皮质和皮质下区域的局部葡萄糖代谢(regional cerebral glucose metabolism, rCGM)会显著增

加,中央后回的视觉和体感皮质区域以及部分听觉皮质的 rCGM 则显著降低;而随着临床症状的改善,这种激活模式的不对称会在慢性期得到反转。Helmchen 等<sup>[29]</sup>对前庭神经炎患者的静息态功能影像研究显示,急性期患者的对侧顶内沟静息态自发活动会显著降低;而至慢性期时,其顶内沟静息态自发活动会显著增加。以上研究提示,在日常生活中,前庭功能受损患者的大脑亦可重新建立神经连接,补偿其受损的前庭功能。

PET 研究显示,中枢前庭代偿主要在小脑和脑干,慢性期前庭功能受损患者的代谢会降低,而其视觉皮质活动会增强,该结果提示,视觉会参与中枢前庭代偿,即前庭受损患者可通过小脑代偿、前庭-视觉整合等机制改善其前庭功能<sup>[30]</sup>。有研究发现,前庭神经炎患者病程 3 个月时,其多感觉前庭皮质区的灰质体积会显著增加,这种改变可能与前庭功能的改善有关,提示外周前庭损伤后脑结构的改变可能与前庭中枢皮质的代偿机制有关<sup>[26]</sup>。还有研究发现,恢复期单侧脑梗死患者的大脑多感觉神经可塑性会增强,进而推动功能重组,提高其平衡与协调能力<sup>[31]</sup>。Conrad 等<sup>[32]</sup>的研究发现,前庭小脑梗死患者在发病 6 个月后,其前庭皮质的灰质体积有所增加,这一发现证实了小脑与大脑皮质之间存在功能连接,并表明前庭小脑梗死后,大脑的前庭皮质发生了重组。由此可以推断,前庭皮质在前庭功能的恢复过程中具有重要作用。尽管关于前庭康复前后的影像学研究相对较少,但现有的影像学研究已为我们提供了科学依据,揭示了前庭康复可通过促进神经可塑性、激活代偿机制、加强前庭-视觉整合以及重组功能网络等多种途径,来改善脑卒中患者的前庭功能。

## 脑卒中后常用的前庭康复训练方法

目前,常用的前庭康复方法包括:①凝视稳定训练——以前庭眼动反射训练(vestibulo-ocular reflex, VOR)为主<sup>[4]</sup>;②视眼动训练——视眼动训练被证实为有效的补充治疗手段,含跟踪、扫视等,特别是在复杂视觉背景下进行训练时,可促进前庭康复的进程<sup>[33]</sup>;③平衡和步态训练——是通过改变视觉条件、本体感觉输入和支撑面等方式进行,可提高患者的重心转移能力和步态稳定性;④虚拟现实技术——通过提供沉浸式的环境,与 VOR 结合,可改善患者的姿势控制和平衡功能<sup>[34]</sup>;⑤视动刺激训练——是将 VOR 与重复移动模式相结合,可改善患者的姿势控制能力<sup>[35]</sup>;⑥感觉增强技术——如前庭电刺激,通

过调节前庭脊髓反应的兴奋性,可进一步地改善患者的姿势和步态稳定性<sup>[36]</sup>。

### 前庭康复在脑卒中的应用研究

脑卒中后前庭功能障碍最常见的临床表现为:眩晕或头晕、恶心呕吐、前庭-视觉异常(眼震、眼位异常、复视、视物模糊)、走路不稳、漂浮感、易跌倒等。2009年,Barany协会提出的依据前庭症状对前庭功能障碍的临床表现将其分为眩晕或头晕、前庭-视觉症状和姿势症状<sup>[9-10]</sup>。关于前庭康复在脑卒中患者中的临床应用,目前高水平的随机对照研究仍十分有限,其临床上的关注度也远远不够。研究发现,前庭康复训练可通过增强前庭眼反射改善脑卒中患者的凝视稳定性、步速和步幅以及平衡步态能力<sup>[37-38]</sup>。然而,也有研究发现,前庭康复干预与常规康复训练对脑卒中患者的疗效相近,其差异可能源于未区分脑卒中的损伤部位<sup>[39]</sup>。Balci等<sup>[40]</sup>将25例后循环脑卒中患者出院后分为前庭康复组、视觉反馈训练组和家庭锻炼组,干预6周后,3组患者的平衡和步态评分较组内治疗前均显著改善,但3组间差异却无统计学意义( $P>0.05$ )。上述研究表明,前庭康复训练可缓解患者的眩晕或头晕症状,并改善其平衡功能和步行能力。

与常规康复训练相比,前庭康复训练的优势尚存在不确定性,分析原因可能涉及以下几个方面:①上述各项研究中,前庭康复的介入时间和内容均有不同,且不同时期的患者治疗侧重点也不同,如急性期患者因病情和体位限制,治疗主要以床旁凝视稳定训练为主,而亚急性期和恢复期患者,则侧重于姿势稳定和平衡功能训练等;②患者的纳入标准难以统一,如仅以前庭症状作为入选标准,易忽略患者的脑损伤部位、肢体运动功能分期、感觉功能评价或眩晕程度等指标,可能导致基线数据的标准差过大,从而影响最终结果的准确性;③客观的疗效评估指标选取困难,目前的前庭康复研究多以平衡和步态量表作为量化指标,而忽略了VOR功能检测的客观指标,研究表明,VOR是前庭功能恢复最客观的评价指标之一<sup>[4]</sup>。因此,在未来脑卒中前庭康复的相关研究中,应从研究方法、实验设计、评价体系等多方面进一步地完善和规范化。

### 前庭康复的影响因素

对于中枢前庭功能障碍的患者,在制定前庭康复计划时,还需考虑对前庭康复效果产生负面影响的因素,包括前庭抑制药物的长期使用、肌肉骨骼疾病、慢性头痛、颈椎病、脑小血管病、认知障碍、睡眠障碍和焦虑抑郁等<sup>[4,41-42]</sup>。研究表明,有焦虑和或抑郁症状的前庭障碍患者在接受前庭康复治疗,虽然情感量表测试结果有所改善,但仍难以达到无焦虑和或抑郁症状患者的康复水平<sup>[43]</sup>。因此,早期识别并努力减轻上述负面影响因素将促进中枢前庭功能障碍患者的功能恢复,改善其预后。

### 小结

综上所述,前庭康复对脑卒中致前庭功能障碍有效,但将前庭康复的理念更好地融入到脑卒中的康复治疗中,仍需深入、精细化的研究。随着科学技术的不断进步,虚拟现实技术、

感觉增强技术等新兴技术有望进一步提高前庭康复治疗的效果;而借助影像学检查分析前庭康复前、后前庭皮质和皮质下的结构变化,对其机制进行研究,将为开展规范化、系统化的康复治疗 and 建立完善的前庭康复体系提供有力的理论基础。

### 参 考 文 献

- [1] 中国医药教育协会眩晕专业委员会.血管源性头晕/眩晕诊疗中国专家共识[J].中国神经免疫学和神经病学杂志,2020,27(4):253-260. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2963.2020.04.002
- [2] 《中国卒中报告》编写委员会.中国卒中报告2020(中文版)[J].中国卒中杂志,2022,17(5):433-447. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2022.05.001.
- [3] 杨红飞,李亚,王传宝,等.幕上卒中相关前庭症状研究现状及进展[J].中国脑血管病杂志,2023,20(12):857-861. DOI: 10.3969/J. ISSN.1672-5921.2023.12.008
- [4] 国家卫生健康委员会能力建设和继续教育中心耳鼻喉科专业委员会,中国中西医结合学会耳鼻咽喉科专业委员会,中国医疗保健国际交流促进会眩晕医学分会,中国中药协会脑病专业委员会眩晕学组,中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会耳科眩晕协作组.前庭康复专家共识[J].中华医学杂志,2021,101(26):2037-2043. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210318-00685.
- [5] Han BI, Song HS, Kim JS. Vestibular rehabilitation therapy: review of indications, mechanisms, and key exercises[J]. J Clin Neurol, 2011, 7(4):184-196. DOI: 10.3988/jcn.2011.7.4.184
- [6] 宋宁,祁晓媛,张赛,等.前庭康复的临床研究进展[J].中华医学杂志,2021,101(26):2091-2094. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210223-00474.
- [7] Hall CD, Herdman SJ, Whitney SL, et al. Vestibular rehabilitation for peripheral vestibular hypofunction: an evidence-based clinical practice guideline: from the american physical therapy association neurology section[J]. J Neurol Phys Ther, 2016, 40(2):124-155. DOI: 10.1097/NPT.000000000000120.
- [8] Hall CD, Herdman SJ, Whitney SL, et al. Vestibular rehabilitation for peripheral vestibular hypofunction: an updated clinical practice guideline from the academy of neurologic physical therapy of the american physical therapy association[J]. J Neurol Phys Ther, 2022, 46(2):118-177. DOI: 10.1097/NPT.0000000000000382.
- [9] Tramontano M, Russo V, Spitoni GF, et al. Efficacy of vestibular rehabilitation in patients with neurologic disorders: a systematic review[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2021, 102(7):1379-1389. DOI: 10.1016/j.apmr.2020.11.017.
- [10] Guidetti G, Guidetti R, Manfredi M, et al. Vestibular pathology and spatial working memory[J]. Acta Otorhinolaryngol Ital, 2020, 40(1):72-78. DOI: 10.14639/0392-100X-2189.
- [11] Cullen KE. The vestibular system: multimodal integration and encoding of self-motion for motor control[J]. Trends Neurosci, 2012, 35(3):185-196. DOI: 10.1016/j.tins.2011.12.001.
- [12] 盛逸澜,纪任欣,余波.前庭康复在脑卒中康复治疗中的应用[J].中华物理医学与康复杂志,2019,41(10):784-787. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.10.016.
- [13] Deveze A, Bernard-Demanze L, Xavier F, et al. Vestibular compensation and vestibular rehabilitation. Current concepts and new trends[J]. Neurophysiol Clin, 2014, 44(1):49-57. DOI: 10.1016/j.neucli.2013.10.138.

- [14] Lacour M, Helmchen C, Vidal PP. Vestibular compensation: the neuro-otologist's best friend[J]. *J Neurol*, 2016, 263:54-64. DOI: 10.1007/s00415-015-7903-4.
- [15] Pereira CMM, Pinheiro do Vale JS, Pinto DDS, et al. Aquatic physiotherapy: a vestibular rehabilitation option[J]. *Braz J Otorhinolaryngol*, 2021, 87(6):649-654. DOI: 10.1016/j.bjorl.2019.12.003.
- [16] 李康之, 司丽红, 凌霞, 等. 单侧外周前庭病变的中枢代偿[J]. *神经损伤与功能重建*, 2019, 14(2):91-99. DOI: 10.16780/j.cnki.sjss-gncj.2019.02.010.
- [17] Olabi B, Bergquist F, Dutia MB. Rebalancing the commissural system: mechanisms of vestibular compensation[J]. *J Vestib Res*, 2009, 19(5-6):201-207. DOI: 10.3233/VES-2009-0367.
- [18] Chen ZP, Zhang XY, Peng SY, et al. Histamine H1 receptor contributes to vestibular compensation[J]. *J Neurosci*, 2019, 39(3):420-433. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1350-18.2018.
- [19] Newlands SD, Dara S, Kaufman GD. Relationship of static and dynamic mechanisms in vestibuloocular reflex compensation[J]. *Laryngoscope*, 2005, 115(2):191-204. DOI: 10.1097/01.mlg.0000154718.80594.2e.
- [20] Lacour M, Barthelemy J, Borel L, et al. Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurectomy[J]. *Exp Brain Res*, 1997, 115(2):300-310. DOI: 10.1007/pl00005698.
- [21] Jacob A, Tward DJ, Resnick S, et al. Vestibular function and cortical and sub-cortical alterations in an aging population[J]. *Heliyon*, 2020, 6(8):e04728. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04728.
- [22] Leong ATL, Gu Y, Chan YS, et al. Optogenetic fMRI interrogation of brain-wide central vestibular pathways[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2019, 116(20):10122-10129. DOI: 10.1073/pnas.1812453116.
- [23] Stiles L, Smith PF. The vestibular-basal ganglia connection: balancing motor control[J]. *Brain Res*, 2015, 1597:180-188. DOI: 10.1016/j.brainres.2014.11.063.
- [24] Rancz EA, Moya J, Drawitsch F, et al. Widespread vestibular activation of the rodent cortex[J]. *J Neurosci*, 2015, 35(15):5926-5934. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1869-14.2015.
- [25] Helmchen C, Klinckenstein J, Machner B, et al. Structural changes in the human brain following vestibular neuritis indicate central vestibular compensation[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2009, 1164:104-115. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2008.03745.x.
- [26] Hong SK, Kim JH, Kim HJ, et al. Changes in the gray matter volume during compensation after vestibular neuritis: a longitudinal VBM study[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2014, 32(5):663-673. DOI: 10.3233/RNN-140405.
- [27] Bense S, Bartenstein P, Lochmann M, et al. Metabolic changes in vestibular and visual cortices in acute vestibular neuritis[J]. *Ann Neurol*, 2004, 56(5):624-630. DOI: 10.1002/ana.20244.
- [28] Becker-Bense S, Dieterich M, Buchholz HG, et al. The differential effects of acute right- vs. left-sided vestibular failure on brain metabolism[J]. *Brain Struct Funct*, 2014, 219(4):1355-1367. DOI: 10.1007/s00429-013-0573-z.
- [29] Helmchen C, Ye Z, Sprenger A, et al. Changes in resting-state fMRI in vestibular neuritis[J]. *Brain Struct Funct*, 2014, 219(6):1889-1900. DOI: 10.1007/s00429-013-0608-5.
- [30] Becker-Bense S, Buchholz HG, Best C, et al. Vestibular compensation in acute unilateral medullary infarction: FDG-PET study[J]. *Neurology*, 2013, 80(12):1103-1109. DOI: 10.1212/WNL.0b013e31828868a6.
- [31] Conrad J, Habs M, Boegle R, et al. Global multisensory reorganization after vestibular brain stem stroke[J]. *Ann Clin Transl Neurol*, 2020, 7(10):1788-1801. DOI: 10.1002/acn3.51161.
- [32] Conrad J, Habs M, Ruehl M, et al. Structural reorganization of the cerebral cortex after vestibulo-cerebellar stroke[J]. *Neuroimage Clin*, 2021, 30:102603. DOI: 10.1016/j.nicl.2021.102603.
- [33] Pimenta C, Correia A, Alves M, et al. Effects of oculomotor and gaze stability exercises on balance after stroke: clinical trial protocol[J]. *Porto Biomed J*, 2017, 2(3):76-80. DOI: 10.1016/j.pbj.2017.01.003.
- [34] Xie M, Zhou K, Patro N, et al. Virtual reality for vestibular rehabilitation: A systematic review. *Otol Neurotol*. 2021, 42(7):967-977. DOI: 10.1097/MAO.0000000000003155.
- [35] Micarelli A, Viziano A, Augimeri I, et al. Three-dimensional head-mounted gaming task procedure maximizes effects of vestibular rehabilitation in unilateral vestibular hypofunction: a randomized controlled pilot trial[J]. *Int J Rehabil Res*, 2017, 40(4):325-332. DOI: 10.1097/MRR.0000000000000244.
- [36] Ceylan DS, Atas A, Kaya M. The Effect of galvanic vestibular stimulation in the rehabilitation of patients with vestibular disorders[J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2021, 83(1):25-34. DOI: 10.1159/000509971.
- [37] Mitsutake T, Sakamoto M, Ueta K, et al. Effects of vestibular rehabilitation on gait performance in poststroke patients: a pilot randomized controlled trial[J]. *Int J Rehabil Res*, 2017, 40(3):240-245. DOI: 10.1097/MRR.0000000000000234.
- [38] Tramontano M, Bergamini E, Iosa M, et al. Vestibular rehabilitation training in patients with subacute stroke: a preliminary randomized controlled trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2018, 43(2):247-254. DOI: 10.3233/NRE-182427.
- [39] Ekvall Hansson E, Pessah-Rasmussen H, Bring A, et al. Vestibular rehabilitation for persons with stroke and concomitant dizziness-a pilot study[J]. 2020, 30, 6:146. DOI: 10.1186/s40814-020-00690-2.
- [40] Balci BD, Akdal G, Yaka E, et al. Vestibular rehabilitation in acute central vestibulopathy: a randomized controlled trial[J]. *J Vestib Res*, 2013, 23(4-5):259-267. DOI: 10.3233/VES-130491.
- [41] Whitney SL, Sparto PJ, Furman JM. Vestibular rehabilitation and factors that can affect outcome[J]. *Semin Neurol*, 2020, 40(1):165-172. DOI: 10.1055/s-0039-3402062.
- [42] Michel L, Laurent T, Alain T. Rehabilitation of dynamic visual acuity in patients with unilateral vestibular hypofunction: earlier is better[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2020, 277(1):103-113. DOI: 10.1007/s00405-019-05690-4.
- [43] MacDowell SG, Wellons R, Bissell A, et al. The impact of symptoms of anxiety and depression on subjective and objective outcome measures in individuals with vestibular disorders[J]. *J Vestib Res*, 2018, 27(5-6):295-303. DOI: 10.3233/VES-170627.

(修回日期:2024-11-21)

(本文编辑:阮仕衡)