

doi: 10.3969/j.issn.1672-4933.2026.02.015

不同干预手段对听障儿童前庭功能和姿势稳定性影响研究进展

Research Progress on Vestibular Function and Postural Stability in Children and Adolescents with Hearing Impairment

张子华¹ 张学进² 李菲² 马光亮¹

ZHANG Zi-hua, ZHANG Xue-jin, LI Fei, MA Guang-liang

【摘要】 本文从感音神经性听力损失(sensorineural hearing loss, SNHL)儿童前庭功能与身体姿势稳定性、人工耳蜗植入对其的影响、游戏干预和康复训练4方面进行综述,得出前庭诱发肌源性电位(vestibular evoked myogenic potential, VEMP)的不对称性可评估听障儿童前庭功能,同时也可更好地预测平衡障碍;基于虚拟现实的游戏、韵律体操、卡波耶拉、Bosu和Kangoo跳等游戏-运动干预虽各有差异,但均可提高听障儿童的平衡能力。前庭康复训练是改善听障儿童平衡、动作发展的有效手段,在康复训练细节方面的研究略显不足,有待进一步细化。

【关键词】 听力障碍;儿童青少年;前庭功能;姿势稳定性

【中图分类号】 R473

【文献标识码】 A

【文章编号】 1672-4933(2026)02-0189-05

【Abstract】 This article provides a review from four aspects: vestibular function and body posture stability in SNHL children, the impact of cochlear implantation on SNHL children, game intervention, and rehabilitation training. It can be concluded that the asymmetry of VEMP can better predict balance disorders in SNHL children. Although virtual reality games, rhythmic gymnastics, Capoeira, Bosu, and Kangoo jumps and other game motor interventions have differences, they can all improve the balance of SNHL children. Vestibular rehabilitation training is an effective means to improve the balance and motor development of SNHL children, but research on the details of rehabilitation training plans is somewhat insufficient and incomplete information needs further refinement.

【Key words】 Hearing impairment; Children and adolescents; Vestibular function; Posture stability

根据第二次全国残疾人抽样调查结果显示,2010年末我国残疾人总数达8502万人,其中听力障碍2054万人,是除肢体残疾外的第二大残疾群体,占残疾人口总数的24.2%^[1]。听力障碍(hearing impairment)是指听觉系统中传音、感音及对声音综合分析的各级神经中枢发生器质性或功能性异常,导致听力出现不同程度的减退,称为耳聋(deafness)^[2]。根据世界卫生组织(world health organization, WHO)听力损失程度分级标准(hearing loss range, HLR),26~40 dB HL为轻度,41~60 dB HL为中度(儿童为31~60 dB HL),61~80 dB HL为重度,81 dB HL及以上为极重度。听力损失类型取决于听力受损的部位,包括传导性听力损失(conductive hearing loss, CHL)、感音神经性听力损失(SNHL)和混合性听力损失(mixed hearing loss, MHL)3种类型^[3]。SNHL是一种影响内耳结构的听力损伤,对耳蜗和耳蜗神经细胞造成损

伤,耳蜗和前庭在内耳共享连续的膜性迷路,两者在神经支配和血管供应方面相关。因此,SNHL儿童和青少年更易发生由内耳损伤引起的周围性前庭功能障碍^[4~7]。20%~85%的听障儿童表现出外周前庭功能障碍,前庭功能不足会影响儿童的身体姿势稳定性、平衡能力,甚至会影响其动作发展及动作技能形成,严重影响日常生活^[6,7]。目前,国内研究以流行病学调查和人工耳蜗植入为主,对运动干预和康复训练对听障儿童动作发展方面的研究较少^[8,9]。因此,本研究从听障儿童前庭功能与身体姿势稳定性、人工耳蜗植入的影响、游戏干预和康复训练4方面进行综述,以期能对我国听障儿童康复、平衡能力及动作发展、健康促进等方面起借鉴作用。由于年龄对听障儿童及青少年身体平衡能力的影响较大^[10],需在研究时精细分组及说明,本文均标注研究文献的平均年龄或年龄范围。

基金项目:贵州省教育科学规划课题一般项目(2023B046);铜仁市科技局基础研究计划项目(铜市科研[2023]50号);铜仁学院博士科研启动基金项目(trxyDH2114);贵州省第八批千层次创新人才培养计划[2024-(2023)-071]

作者单位:1 铜仁学院 铜仁 554300

2 铜仁市特殊教育学校 铜仁 554300

作者简介:张子华 博士 教授;研究方向:运动生物力学

通讯作者:马光亮, E-mail: 420967747@qq.com

1 听障儿童及青少年前庭功能与身体稳定性关系研究

1.1 平衡障碍听障儿童测试结果

前庭诱发肌源性电位(vestibular evoked myogenic potential, VEMP)是由听觉或振动刺激引起的短潜伏期电位,受肌活动调节。一般在儿童存在功能性平衡问题时,或能够准确表达头晕或眩晕症状时,才会对周围前庭系统进行临床评估^[11]。VEMP通常会生成双相波形,其中包含2个延迟测量值和1个峰值幅度,以推断耳石函数^[12]。VEMP在儿童前庭障碍评估性能良好,且相对快速和无创。对于平衡障碍听障儿童,VEMP存在相似的潜伏期及较小的振幅间隔,表明所评估的相关结构功能障碍^[13]。Chisari等^[14]通过对不同程度5~12岁前庭障碍听障儿童与健听儿童各11名进行对比,表明前庭损伤程度越严重,在复杂站立条件下的功能性平衡和姿势控制表现越差;前庭功能障碍程度不同,整体平衡表现也存在差异,前庭损伤预示功能平衡表现和姿势控制能力差,姿势摇摆模式存在差异,前庭障碍听障儿童显著高于健听儿童($P<0.01$)。

1.2 无平衡障碍听障儿童测试结果

Kegel等^[15]采用儿童第二版运动评估组合、临床平衡测试、姿势描记术、VEMP对51名3~12岁无平衡障碍的中度以上听障儿童(HLR>40 dB HL)进行测试,结果表明听障儿童有平衡障碍的风险,旋转椅测试和VEMP测试结合可预测平衡能力。Maes等^[16]对36名3.8~12.1岁前庭反应、前庭功能正常但听力受损及前庭功能异常、听力受损的3组儿童进行前庭测试(旋转椅和VEMP测试),并结合3种临床平衡测试(平衡木行走、单腿跳跃、单腿站立),结果表明听障儿童的前庭功能与运动表现之间存在关联,如果前庭损伤叠加在听觉功能障碍上,则运动恶化更明显。Kotait等^[17]对52名儿童(研究组32名重度听障儿童;对照组20名健听儿童且无前庭障碍)进行基础听力评估、VEMP、旋转椅正弦谐波加速度试验,结果表明重度以上感音神经性听力损失儿童存在明显的前庭异常。可见,前庭能力评估非常重要,可影响其康复计划。Sokolov等^[18]对20例单侧聋患儿进行前庭平衡综合评价,结果表明,单侧聋儿童的平衡功能明显不如健听同龄人,且前庭功能障碍患病率高,前庭和平衡评估应常规开展,并考虑前庭-耳蜗联合感觉缺陷的功能影响。Melo^[19]等对130名7~11岁儿童(健听和听障儿童各65人)进行静态平衡评估,结果表明听力损失程度越大,平衡不稳定性越大,患有听障和相关前庭功能障碍的儿童表现出较高的平衡不稳定性,且需要更久时间恢复平衡。

上述研究表明,无临床平衡障碍的听障儿童及青少

年听力障碍会影响前庭功能,表现为测试指标异常。虽未有症状,但可导致其身体姿势控制能力弱,平衡控制能力差,应采取进一步干预措施。

2 人工耳蜗植入(CI)对听障儿童及青少年的影响

听障儿童通常会采用CI提高听力水平,但耳蜗植入会对儿童造成前庭功能改变,甚至影响其身体姿势及动作发展。目前已有研究从CI手术前后时段、耳蜗激活或关闭状态等方面进行讨论,以期对听障儿童听力监测、康复训练和运动干预提供参考。

2.1 CI对听障儿童前庭功能和平衡能力影响研究

Psillas等^[20]通过对6名小于5岁的听障儿童CI手术前后前庭功能对比,结果显示术后6个月内VEMP消失,表明儿童在CI后可能会受到广泛的球囊损伤,但儿童无临床症状则可能由于前庭缺陷能够有效代偿。Thierry等^[21]对43名单侧CI平均时长2.9年的听障儿童进行前庭功能评估,结果显示19%的儿童CI侧前庭功能不对称较差,20%的儿童术后出现前庭功能恶化,可通过3步评估和分级前庭测试方法,使前庭功能障碍在听障儿童中更易鉴别。Nair等^[22]通过对25名人工耳蜗植入儿童的姿势稳定性进行评估,结果显示在手术期间,前庭系统损伤导致儿童前庭功能障碍的风险较高,表明静态姿势描记术是一种简单、快速、有效的工具,可筛查儿童CI后的前庭功能障碍,早期识别功能障碍有助于开展康复措施。Wang等^[23]对34名4~17岁重度听障儿童、青少年单侧CI的前庭功能进行比较,结果显示CI术后9个月VEMP各指标的总体异常率显著增加($P<0.05$),表明CI后,耳石器官是儿童受影响最大的外周前庭传感器,建议对CI儿童使用前庭功能测试组合,提高评估准确性。Huang等^[24]通过5名CI大于5年的青少年与24名健听青少年(年龄10~13岁)进行不同条件下静态平衡对比,结果表明长期CI的青少年静态平衡能力比正常同龄人差($P<0.05$),当视觉和体感输入中断时,静态平衡差异最大,耳蜗植入物是否激活对姿势稳定性影响无差异($P>0.05$)。Kegel等^[25]对23名CI听障儿童后每6个月共4次的运动测试,并与25名未植入儿童对比,结果表明CI后,听障儿童的粗大运动发育轨迹发生变化,植入后6~18个月内表现出总运动能力下降($P<0.05$)。Kelly等^[26]通过单侧双侧CI及未植入耳蜗的听障儿童3组,每组10人进行前庭和平衡能力评估,结果显示CI儿童和非植入儿童的前庭功能存在显著差异($P<0.05$),30%的双侧CI和10%的单侧CI儿童无法完成测试,表明姿势描记是一种便捷且准确性高的评估儿童前庭功能的工具,如想准确评估CI对前

庭功能的影响,需严格制订术后间隔测试。

2.2 CI前后平衡功能改善现状研究

尽管CI对前庭系统有负面影响,但CI后会在某些方面表现出积极影响,提高儿童的听觉言语沟通能力^[27,28]。因此,CI对听障儿童及青少年改善听力方面的优势是无法替代的。近年来,有学者关注CI后激活与关闭状态对平衡能力的影响。Cushing等^[29]对41名CI儿童与14名健听儿童及青少年(年龄4~17岁)标准化静态和动态平衡功能对比,结果显示CI组平衡表现更差($P<0.05$),植入后激活状态时的平衡表现优于关闭状态($P<0.05$),CI组听障儿童及青少年组内平衡能力存在较大差异,植入激活后在完成平衡相关任务时具有轻微优势。Mazaheryazdi等^[30]对25名8~10岁单侧和双侧CI前庭功能减退听障儿童进行平衡能力评估,结果显示人工耳蜗植入激活时压力中心参数的平均值总体降低($P<0.05$),单腿站立状态CI激活时,前后位移有显著差异($P<0.05$),表明听觉信息输入(auditory input)使CI儿童及青少年听力改善,在提高姿势稳定性的同时可减少身体摆动,是非正常平衡系统儿童加强姿势控制的潜在因素。Suarez等^[31]对14名CI和10名健听儿童及青少年(年龄10~16岁)步态参数进行对比,结果显示健听儿童步态双任务的步行速度快于CI儿童($P<0.05$),耳蜗激活时快于关闭状态($P<0.05$),表明听觉信息输入在运动技能中起关键作用,两者之间的复杂作用在儿童听力发展早期阶段产生。Suarez等^[32]对17名平均年龄14.06岁CI青少年在4种感觉条件下姿势描记图进行分析,结果显示在CI激活后,身体摇晃速率显著降低($P<0.05$),前庭动眼反射(vestibulo-ocular reflex)和步行速度存在显著相关($R^2=0.802$, $P<0.01$),表明前庭功能在动态运动受影响时,听觉信息输入是相关因素,在神经发育控制中起重要作用。听障儿童在人工耳蜗植入后改善了姿势稳定性和平衡能力,其原因可能是可以再次听到声音,因此,听觉信息输入对运动技能发展至关重要。

人工耳蜗植入儿童平衡能力改善可能是由于声音信号作为固定的环境参考点,为受试者提供了环境空间图、准确的时空定向和平衡稳定性^[33,34]。在老年人平衡能力研究文献中也得到类似结论,如听力下降老年人在使用声音放大装置或共耳植入物后,其平衡和姿势稳定性增强^[35,36]。

3 游戏对听障儿童前庭功能和平衡能力的影响

3.1 不同游戏项目对听障儿童的干预效果

Fotiadou等^[37]将29名听障儿童分为两组,实验组干预16周,每周3节韵律体操课程,持续40分钟,对照组为

常规课程,结果显示,实验组30 s、45 s、60 s的Lafayette测试均优于对照组($P<0.05$),表明韵律体操项目有助于显著提高听障儿童动态平衡能力。Fotiadou等^[38]进一步证实了韵律体操可改善听障儿童平衡能力,与韵律体操练习可改善人体平衡能力有关。Lima^[39]对25名10~16岁听障青少年为期6个月的卡波耶拉(Capoeira)干预(介于武术与艺术之间的舞蹈),结果显示Berg平衡量表得分10~13岁组显著提高($P<0.05$),14~16岁组无显著改善($P>0.05$)。表明卡波耶拉练习可改善听障儿童和青少年群体的平衡能力,从而降低跌倒风险。通过其它游戏手段干预的研究较少,因此,在运动项目选择上有一定局限性。

3.2 基于虚拟现实的平衡游戏对听障儿童的干预效果

Tzanetakos等^[40]对10名17~19岁重度听力障碍青少年进行交互式游戏(nintendo wii fit plus)干预,结果显示平衡改善并未达到显著性($P>0.05$),但交互式游戏干预训练能激励被试,易于遵循且有益,家长和医生均积极正向看待,表明交互式平衡练习游戏是一种针对青少年听力障碍治疗模式的可行、可广泛和激励性平衡训练,其有效性有待进一步研究。Vernadakis等^[41]将20名17~19岁重度听障青年随机分为实验组(交互式游戏组)和对照组(传统体育干预),8周后flamingo balance test测试,结果显示,实验组和对照组均提高,实验组显著提高($P<0.05$),表明交互式干预措施对于提高听障学生平衡能力有效。Kaya等^[42]通过将18~22岁听障青年分为平衡训练组、基于虚拟技术的平衡游戏组和无训练组进行8周干预,结果显示干预后3组平衡测试结果差异显著($P<0.01$),表明虚拟平衡游戏和平衡训练对听障青年改善能力有效,可增加日常生活活动。Korkmaz等^[43]将51名14~22岁SNHL女学生分为基于虚拟现实游戏组(nintendo-wii)、bosu球组、kangoo跳组和对照组进行8周每周2次,每次60分钟的干预,结果显示3组干预前后六角形障碍测试(hexagonal obstacle test)得分显著升高($P<0.05$),对照组无差异($P>0.05$),表明nintendo-wii、bosu、kangoo可有效提高听障人群的灵敏性,综合干预效果更佳。

4 前庭康复训练对听障儿童及青少年身体姿势的影响研究

前庭康复训练(vestibular rehabilitation)是基于神经可塑性的中枢机制(即适应、习惯化和替代)的一种应用于前庭平衡障碍患者的康复治疗,其最终目标是前庭代偿^[44~45]。前庭康复训练旨在改善头部运动中的前庭神经

相互作用,在产生相互冲突的感觉信息条件下优化静态和动态姿势稳定性^[42]。前庭康复是治疗周围性前庭障碍儿童的一种安全有效的治疗方法,目前已在听障儿童及青少年中广泛应用。

Rine等^[46]通过对21名听障和前庭损伤的6~9岁儿童进行为期12周的代偿性、视觉和体感功能强调及平衡项目康复训练,干预后被试姿势稳定评价图显著改善,表明以增强感觉统合姿势控制能力为重点的前庭训练对于听障和前庭损伤儿童的身体姿势稳定性有效。Rajendran等^[47]通过对23名年龄7.5~8.1岁的听障儿童进行前庭特异性神经肌肉训练,结果显示实验组运动技能测量、姿势控制和与健康相关的生活质量显著改善,表明训练计划可改善听障儿童的运动技能、平衡和生活质量。Ebrahimi等^[48]通过对24名7~12岁重度听障儿童进行为期8周的代偿性、视觉和体感功能强调及平衡项目康复训练,结果显示干预组极限稳定面积、前庭比率和姿势稳定总体评分均显著优于对照组,表明前庭稳定训练及姿势控制训练应纳入重度听障儿童的康复训练计划中。Soori等^[49]对20名平均年龄9.35岁的听障女童进行为期8周的前庭感知觉康复训练,结果显示,实验组动静平衡及手眼协调能力显著优于对照组,表明该康复训练在提高被试运动技能方面有效。前庭康复训练对听障儿童姿势控制、平衡能力有积极影响,可提高其运动技能,但康复训练计划不详尽,康复内容大多包含代偿性、视觉和体感功能强调及平衡项目康复训练,其完整性及可行性有待进一步论证。

5 展望

听力障碍、前庭功能和平衡及动作发展之间的内在关联对听障儿童及青少年至关重要,前庭诱发肌源性电位(VEMP)的不对称性可评估听障儿童的前庭功能,同时也可预测平衡障碍;基于虚拟现实游戏、韵律体操、卡波耶拉、bosu和kangoo跳等游戏-运动干预虽各有差异,但均可提高听障儿童的平衡能力;虚拟现实游戏中Nintendo-wii的应用广泛,建议与其它游戏共同干预效果更佳;前庭康复训练是改善听障儿童平衡能力、动作发展的有效手段,与游戏和运动干预有本质差异且易被忽视及混用,目前在前庭康复训练计划细节方面的研究略显不足,信息不完整,有待进一步精细;在制订方案时应充分考虑年龄、单双侧听力损失和人工耳蜗植入对听障儿童的有效性,有助于指导听障儿童的前庭康复。已有研究中均未提及听障儿童及青少年是否使用,如抗眩晕药等类似药品,药物可通过影响前庭功能进而干扰前庭康复训练方案。

参考文献

- [1] 中国残疾人联合会. 2010年末全国残疾人总数及各类、不同残疾等级人数[EB/OL]. <https://www.cdpf.org.cn/zwgk/zccx/cjrgk/>. 2021-02-20.
- [2] Xu W, Li C, Wang L. Physical activity of children and adolescents with hearing impairments: A systematic review[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020,17(12): 4575.
- [3] Childhood Hearing Loss Strategies for prevention and care[EB/OL]. https://www.who.int/docs/default-source/imported2/childhood-hearing-loss--strategies-for-prevention-and-care.pdf?sfvrsn=cbbbbb3cc_0.2016-05-10.
- [4] O'Reilly RC, Morlet T, Nicholas BD, et al. Prevalence of vestibular and balance disorders in children[J]. *Otol Neurotol*, 2010,31(9): 1441-1444.
- [5] Verbecque E, Marijnissen T, Belder ND, et al. Vestibular (dys)function in children with sensorineural hearing loss: a systematic review[J]. *Int J Audiol*, 2017,56(6): 361-381.
- [6] Wiener-Vacher SR, Campi M, Caldani S, et al. Vestibular Impairment and Postural Development in Children With Bilateral Profound Hearing Loss[J]. *JAMA Netw Open*, 2024,7(5): e2412846.
- [7] Gerdson M, Hunscheid TM, Boudewyns A, et al. Vestibular assessment in children with sensorineural hearing loss: diagnostic accuracy and proposal for a diagnostic algorithm[J]. *Front Neurol*, 2024,15: 1349554.
- [8] Deng JH, Zhu QC, Zhang KJ, et al. Vestibular function in children with cochlear implant: Impact and evaluation[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 938751.
- [9] Wang RJ, Xu KF, Luo JF, et al. Vestibular function and hearing preservation in children following a minimally invasive cochlear implantation[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2024,281(8): 4029-4038.
- [10] Lee JD, Kim CH, Hong SM, et al. Prevalence of vestibular and balance disorders in children and adolescents according to age: A multi-center study[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2017,94(3): 36-39.
- [11] Cushing SL, Blake CP. Cochlear Implants and Children with Vestibular Impairments[J]. *Semin Hear*, 2018,39(3): 305-320.
- [12] Rosengren SM, Colebatch J, Young AS, et al. Vestibular evoked myogenic potentials in practice: Methods, pitfalls and clinical applications[J]. *Clin Neurophysiol Pract*, 2019,4: 47-68.
- [13] Martens Sarie, Dhooge Ingeborg, Dhondt Cleo, et al. Three Years of Vestibular Infant Screening in Infants With Sensorineural Hearing Loss[J]. *Pediatrics*, 2022,150(1): e2021055340.
- [14] Chisari D, Vitkovic Jessica, Clark Ross, et al. Vestibular function and balance performance in children with sensorineural hearing loss[J]. *Int J Audiol*, 2024,63(11): 875-883.
- [15] Kegel ADL, Baetens MT, Dhooge I, et al. The influence of a vestibular dysfunction on the motor development of hearing-impaired children[J]. *Laryngoscope*, 2012,122(12): 2837-2843.
- [16] Maes L, Kegel ADH, Waelvelde V, et al. Association between vestibular function and motor performance in hearing-impaired children[J]. *Otol Neurotol*, 2014,35(10): 343-347.
- [17] Kotait MA, Moaty AS, Gabr TA. Vestibular testing in children with severe-to-profound hearing loss[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2019, 125(10): 201-205.
- [18] Sokolov M, Gordon KA, Polonenko M, et al. Vestibular and balance

- function is often impaired in children with profound unilateral sensorineural hearing loss[J]. *Hear Res*, 2019,372(2): 52-61.
- [19] Melo RS, Lemos A, Raposo MC, et al. Repercussions of the hearing loss degrees and vestibular dysfunction on the static balance of children with sensorineural hearing loss[J]. *Phys Ther*, 2021,101(10): pzab177.
- [20] Psillas G, Pavlidou A, Lefkidis N, et al. Vestibular evoked myogenic potentials in children after cochlear implantation[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2014,41(5): 432-435.
- [21] Thierry B, Blanchard M, Le Boulanger N, et al. Cochlear implantation and vestibular function in children[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2015,79(2): 101-104.
- [22] Nair S, Gupta A, Nilakantan A, et al. Impaired vestibular function after cochlear implantation in children: role of static posturography[J]. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*, 2017,69(2): 252-258.
- [23] Wang RJ, Chao XH, Luo JF, et al. Objective vestibular function changes in children following cochlear implantation[J]. *J Vestib Res*, 2022,32(1): 29-37.
- [24] Huang MW, Hsu CJ, Kuan CC, et al. Static balance function in children with cochlear implants[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2011,75(5): 700-703.
- [25] Kegel AD, Maes L, Waelvelde HV, et al. Examining the impact of cochlear implantation on the early gross motor development of children with a hearing loss[J]. *Ear Hear*, 2015,36(3): e113-121.
- [26] Kelly A, Liu ZB, Leonard S, et al. Balance in children following cochlear implantation[J]. *Cochlear Implants Int*, 2018,19(1): 22-25.
- [27] Forli F, Giuntini G, Ciabotti A, et al. How does a bilingual environment affect the results in children with cochlear implants compared to monolingual-matched children? An Italian follow-up study[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2018,105(2): 56-62.
- [28] Zeitler DM, Douglas Sladen P, DeJong MD, et al. Cochlear implantation for single-sided deafness in children and adolescents[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2019,118(3): 128-133.
- [29] Cushing SL, Chia R, James AL, et al. A test of static and dynamic balance function in children with cochlear implants: the vestibular Olympics[J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2008,134(1): 34-38.
- [30] Mazaheryazdi M, Moossavi A, Sarrafzadah J, et al. Study of the effects of hearing on static and dynamic postural function in children using cochlear implants[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2017, 100(9): 18-22.
- [31] Suarez H, Alonso R, Arocena S, et al. Sensorimotor interaction in deaf children. Relationship between gait performance and hearing input during childhood assessed in pre-lingual cochlear implant users[J]. *Acta Otolaryngol*, 2017,137(4): 346-351.
- [32] Suarez H, Ferreira E, Arocena S, et al. Motor and cognitive performances in pre-lingual cochlear implant adolescents, related with vestibular function and auditory input[J]. *Acta Otolaryngol*, 2019, 139(4): 367-372.
- [33] Gandemer L, Parseihian G, Kronland-Martinet R, et al. Spatial Cues Provided by Sound Improve Postural Stabilization: Evidence of a Spatial Auditory Map?[J]. *Front Neurosci*, 2017,11:357-358.
- [34] Karim AM, Rumalla K, King LA, et al. The effect of spatial auditory landmarks on ambulation[J]. *Gait Posture*, 2018,60(2): 171-174.
- [35] Negahban H, Ali MB, Nassadj G. Effect of hearing aids on static balance function in elderly with hearing loss[J]. *Gait Posture*, 2017, 58(8): 126-129.
- [36] Seiwert I, Jonen J, Rahne T, et al. Influence of hearing on vestibulospinal control in healthy subjects[J]. *HNO*, 2018,66(Suppl2): 49-55.
- [37] Fotiadou EG, Giagazoglou PF, Kokaridas D, et al. Effect of rhythmic gymnastics on the dynamic balance of children with deafness[J]. *Eur J Spec Needs Educ*, 2002,17(3): 301-309.
- [38] Fotiadou EG, Tsimaras VK, Giagazoglou PF, et al. Effect of rhythmic gymnastics on the rhythm perception of children with deafness[J]. *J Strength Cond Res*, 2006,20(2): 298-303.
- [39] Lima R. Balance assessment in deaf children and teenagers prior to and post capoeira practice through the Berg Balance Scale[J]. *Int Tinnitus J*, 2017,21(2): 77-82.
- [40] Tzanetakos N, Papastergiou M, Vernadakis N, et al. Utilizing physically interactive videogames for the balance training of adolescents with deafness within physical education course[J]. *J Phys Educ Sport*, 2017,17(2):614-623.
- [41] Vernadakis N, Papastergiou M, Giannousi M, et al. The effect of an exergame-based intervention on balance ability on deaf adolescents[J]. *Sport Sci*,2018,11(suppl 1): 36-41.
- [42] Kaya M, Saritas N. A Comparison of the Effects of Balance Training and Technological Games on Balance in Hearing-Impaired Individuals[J]. *J Educ Train Stud*, 2019,7(2): 48-53.
- [43] Korkmaz C, Akin M. The effect of bosu, kangoo jump, Nintendo-wii balance board trainings on agility in hearing impaired sedentary[J]. *J Sport Perform Res*, 2021,23(12): 91-104.
- [44] Medeiros IR, Bittar RS, Pedalini ME, et al. Vestibular rehabilitation therapy in children[J]. *Otol. Neurotol*, 2005,26(4): 699-703.
- [45] Hansson EE. Vestibular rehabilitation-for whom and how? A systematic review[J]. *Adv Physiother*, 2007,9(3): 106-116.
- [46] Rine RM, Braswell J, Fisher D, et al. Improvement of motor development and postural control following intervention in children with sensorineural hearing loss and vestibular impairment[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2004,68(9): 1141-1148.
- [47] Rajendran V, Roy FG, Jeevanantham D. A preliminary randomized controlled study on the effectiveness of vestibular-specific neuromuscular training in children with hearing impairment[J]. *Clin Rehabil*, 2013,27(5): 459-467.
- [48] Ebrahimi AA, Jamshidi AA, Movallali G, et al. The effect of vestibular rehabilitation therapy program on sensory organization of deaf children with bilateral vestibular dysfunction[J]. *Acta Med Iran*, 2017,55(11): 683-689.
- [49] Soori Z, Heyrani A, Rafie F. Exercise effects on motor skills in hearing-impaired children[J]. *Sport Sci Health*, 2019,15(3): 635-639.

收稿日期 2024-11-23
责任编辑 薛 静