·综 述·

本体感觉评估在脑瘫儿童中的应用

刘方[1,2]，贠国俊[2]，黄美欢[2]，郭莹莹[1,2]，赵欣[2]

1. 佳木斯大学康复医学院，黑龙江 佳木斯 154007；2. 深圳市儿童医院康复科，广东 深圳 518034

摘 要： 感觉功能障碍是脑瘫儿童普遍存在的临床问题，其中本体感觉在运动过程中对于姿势的调整，平衡协调的维持方面发挥重要作用，因此，针对脑瘫儿童进行本体感觉的评估对于未来的康复具有重要意义，但是目前关于本体感觉的研究还很缺乏，其主要应用于脑卒中、关节损伤等成年人群体。因此本文旨在整理国内外针对脑瘫儿童特殊群体的本体感觉评估进行综述。

关键词： 脑性瘫痪；本体感觉；评估；儿童

中图分类号：R742.3 **文献标识码：**A **文章编号：**1008-6579(2024)05-0534-04 doi:10.11852/zgetbjzz2023-0786

Application of proprioceptive assessment in children with cerebral palsy

LIU Fang[1,2], YUN Guojun[2], HUANG Meihuan[2], GUO Yingying[1,2], ZHAO Xin[2]

1. Department of Rehabilitation, Jiamusi University, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China;

2. Department of Rehabilitation, Shenzhen Children's Hospital, Shenzhen, Guangdong 518034, China

Corresponding author: YUN Guojun, E-mail: 103872187@qq.com

Abstract: Sensory dysfunction is a common clinical problem for children with cerebral palsy. Proprioception plays a key role in maintaining postural adjustment and balance coordination, so proprioceptive assessment is of great significance for further rehabilitation of children with cerebral palsy. At present, proprioception assessment is mainly used in adults such as stroke and joint injury, but there is still a lack of research in children, especially in children with cerebral palsy. Therefore, this paper aims to review the evaluation of proprioception of children with cerebral palsy at home and abroad.

Keywords: cerebral palsy; proprioception; assessment; children

脑性瘫痪(cerebral palsy，CP)，简称脑瘫，是一组持续存在的中枢性运动和姿势发育障碍、活动受限症候群，这种症候群是由于发育中的胎儿或婴幼儿脑部非进行性损伤所致，脑瘫的运动障碍常伴有感觉、知觉、认知、交流和行为障碍、以及癫痫和继发性肌肉、骨骼等问题[1]。因此，脑瘫儿童的运动功能障碍是最主要的临床症状，同时也受到了医生和患者家属的重视，但是脑瘫儿童常伴随的感觉功能障碍也是影响脑瘫儿童运动姿势异常的重要因素，尤其是本体感觉在脑瘫儿童康复中的作用[2-3]。针对脑瘫儿童的本体感觉进行评估，并进行个性化的指导和训练可能会对患儿的运动功能起到关键性的作用。

1 本体感觉的概述

关于本体感觉的研究，最早起源于 1826 年，Bastian[2]提出将本体感觉作为感觉、知觉和运动的基础。当代学者又重新将本体感觉定义为肌肉、肌腱、关节等运动器官在不同运动状态下(静止或运动)产生的深层次感觉，主要包括位置觉、运动觉和振动觉等[3]。根据最新有关本体感觉的文献研究表明，由于本体感受器在静态和动态运动时会产生不同的感觉，又重新分为了位置、运动、力度、重量、压力、振动、身体姿势、平衡等感觉[3-4]。

本体感觉的解剖生理学机制一般分为三个层次：脊髓、小脑、大脑皮层[3]。首先在脊髓层面，当肌梭和腱器官受到刺激，肌梭中的 Iα 神经纤维将感受到的信息传入脊髓，并于协同肌的 α 运动神经元形成突触连接，产生肌肉收缩[3-6]。产生的本体感觉信息经脊髓小脑束上传至小脑，达到稳固关节，调整姿势，协调动作，完成随意运动的目的，属于非意识的本体感觉[6]。本体感觉信号最后经薄束核和契束核到达丘脑和感觉皮层等大脑中枢[7]。大脑皮层是唯一有意识的对本体感觉信息进行认知的感知部位，

基金项目：广东省医学科研基金(A2021035)

作者简介：刘方(1997-)，女，硕士研究生在读，主要从事儿童康复研究。

通信作者：贠国俊，E-mail：103872187@qq.com

通过皮质脊髓下行通路向本体感觉系统发出反馈信息，对肢体提供预言性的协调信息，有助于动作完成的准确性，通过长时间的本体感觉训练，大脑皮层将建立复杂、连续、条件性的反射活动[8-9]。

2　脑瘫儿童本体感觉功能障碍的原因及特点

根据本体感觉的作用机制表明，本体感觉系统是规划和协调运动的重要组成部分，它可在运动前感知肢体所在的位置以及预判运动后肢体所在的位置，以便准确地完成整个运动过程。此外，本体感觉系统在辅助完成运动后，还能够提供一定反馈信息，已验证动作的准确性并对该动作进行及时的校正。然而，由于脑瘫儿童大脑皮质、延髓脊髓束、基底神经节部以及脑室周围白质神经通路的受损，影响了感觉系统、中枢神经系统、肌肉骨骼系统之间的相互作用，导致由肌肉梭，高尔基体腱器官以及皮质中的关节和皮肤感受器形成的本体感受输入受到影响，进而影响运动功能的发育和发展[4-5,10]。

3　脑瘫儿童本体感觉的评估

3.1　*关节位置觉和运动觉评价*　关节位置觉和运动觉是本体感觉的重要组成部分，也是评价脑瘫儿童本体感觉的重要指标[11]。目前临床上针对脑瘫儿童关节位置觉和运动觉评价的工具还很少。通常采用测角仪和阈值测量法测量患儿的关节活动度，从而侧面反应脑瘫位置儿童位置觉和运动觉的异常，以进一步评价脑瘫患儿的本体感觉功能[12]。研究表明关节位置觉和运动觉不能以单独的测量结果来评价脑瘫患儿的本体感觉功能[3]。因此，临床试验中通常将两者的评价结果相结合以进一步评价本体感觉功能。Jason 等[12]利用测角仪和肢体固定装置评估了 38 名脑瘫儿童的关节位置觉和四肢运动觉后发现，除偏瘫患儿健侧肢体外，所有脑瘫儿童在无视觉影响的情况下，均显示出关节位置误差的增加，其误差方向以关节内旋为主。此结果与 Uzun 等[8,13-14]的观点一致。Chrysagis 等[15]使用等速测试仪对 15 名痉挛型偏瘫儿童肘关节位置觉评估后也发现患儿双侧肘关节的位置觉均降低，患侧较健侧更明显，作者还提出，患儿关节位置觉受损的程度与痉挛水平呈正相关。以上研究表明，通过对脑瘫儿童关节位置觉和运动觉的评估，不仅可证实脑瘫儿童存在本体感觉的缺陷，还可以进一步评价脑瘫儿童本体感觉缺陷可能存在的内在机制。

3.2　*振动压力重量觉评价*　针对振动觉、压力觉以及重量觉的评价，目前临床上最常使用的方法是在患者的皮肤上施加振动音叉、压力敏感器或重物等[16]。多项研究表明此种方法对患者诊断的结果具有较高的客观性和精准度[17]。有研究者使用振动工具测量振动觉，在患侧手的 18 个区域放置一个 128Hz 的音叉，参与者通过报告这 18 个区域是否发现了振动，以评判脑瘫儿童的振动觉[17-18]。关于压力重量觉的测试，临床上通过在患儿手上放置砝码，询问其哪一只手更重，以评价患儿的压力重量觉[18]。研究发现，诊断为脑瘫的儿童常伴有振动觉和压力重量觉的减弱。因此，为改善脑瘫儿童这方面的问题，多项研究表示全身振动训练可刺激本体感受器，增加感受器的敏感性，从而改善脑瘫儿童的本体感觉功能[19-22]。Zarkou 等[16]对 10 名痉挛型双瘫儿童进行随机共振训练后表明，患儿的足底压力中心（center of pressure，COP）测量值均有较大幅度的降低，与评估量表具有高度相关性。此外，随机共振训练方式减少了患儿姿势摇摆，改善平衡功能的深层机制可能是由于振动产生的刺激激活了本体感受器，增加了中枢神经系统对传入信息的整合，从而加强了患儿对姿势的控制能力，减少了摇摆幅度[22-25]。

3.3　*平衡功能评价*　平衡和姿势控制是视觉、前庭和本体感觉系统共同作用的结果。在有或无视觉的站立平衡中，前庭系统是占主要作用的系统，而在维持动态平衡时，本体感觉系统扮演更重要的角色[26-27]。例如，在不平坦的表面上保持平衡，这需要脚踝来进行微妙的校正。因此，由于脑瘫儿童本体感觉系统的受损，往往影响了患儿的动态平衡，导致患儿出现异常的走路姿势[28]。临床上，在检查患儿本体感觉的动态平衡方面，通常采用平衡量表或者感觉统合测试，观察患儿的摇摆程度以进行评价[29-31]。例如，通过 Berg 平衡量表，评估脑瘫儿童在睁眼和闭眼时的表现同时观察摇摆幅度等指标，能够推测脑瘫儿童是中枢还是外周性病变，以此评价脑瘫儿童的本体感觉功能状况[32]。相较于平衡量表，仪器评估更能客观定量的反应患儿的本体感觉功能。Damiano 等[17]首次通过摇摆面积或压力中心等定量评估了脑瘫儿童的平衡功能和步行速度后发现，脑瘫儿童在睁眼和闭眼状态下的摇摆幅度与步行速度具有相关性，摇摆幅度越大，步行速度越慢。Dadashi 等[27]使用经颅磁刺激对脑瘫儿童干预后发现，脑瘫儿童平衡功能的改善可能与本体感觉功能的提高有关。以上研究通过评价脑瘫儿童的动态平衡和摇摆幅度，可在一定程度上反应脑瘫儿童的本体感觉功能，其中脑瘫儿童的本体感觉功能与

患儿的运动功能呈正相关。因此，针对脑瘫儿童本体感觉功能缺陷所带来的平衡能力下降、步态异常等问题，在进行有效的干预后脑瘫儿童的感觉和运动功能可能会有大幅度的提升。

3.4 *神经生理学评价* 在脑瘫儿童本体感觉的评价方面，除了通过评价脑瘫儿童的关节位置觉、运动觉、振动压力觉以及平衡功能等方式，侧面反应脑瘫儿童的本体感觉功能状况之外，对脑瘫儿童进行神经生理学的检查将会更加直观可靠的反应脑瘫儿童本体感觉功能的缺陷，还可以对功能障碍的程度作出进一步评价。常用的神经学检查方法主要有功能性磁共振（functional magnetic resonance imaging，fMRI）、脑磁图（magnetoencephalogram，MEG）、体感诱发电位（somatosensory evokedpotentials，SEPs）等[33-35]。

Nurmi 等[36]使用 fMRI 观察脑瘫儿童在被动运动状态下感觉皮层的血氧水平依赖信号（blood oxygenlevel dependent，BOLD）的反应并得出结论，与正常儿童相比，脑瘫儿童的感觉皮层表现出更强的 BOLD 信号，并且手功能表现越差，BOLD 反映越强。Ann 等[37]也通过观察脑瘫儿童的 fMRI 发现，偏瘫儿童的右手食指在被动体感辨别任务中，得分越低，左侧中央后回的激活程度也更高。Christos 等[38]通过 MEG 评估偏瘫儿童在手指受到触觉刺激时发现，偏瘫患儿上行感觉束的轴向和径向扩散率均高于正常儿童，上行感觉束的扩散率与受损大脑半球的感觉功能测试呈正相关性。为了进一步精确评估本体感觉功能，Démas 等[23]还开发了一种基于皮质运动一致性的本体感觉脊-皮质束完整性的电生理标志物，此标志物的提出，对于进一步诊断本体感觉功能障碍提供了可靠的电生理学证据。根据以上研究并通过总结发现，脑瘫儿童感觉皮层出现异常的神经元机制可能与以下因素有关：1）由于神经元抑制-兴奋之间的平衡发生改变，导致皮质中枢对本体感觉信息整合出现异常；2）为了充分完成对本体感觉信息的处理并进行信息反馈，造成额外神经元进行代偿性加工处理[39-41]。

4 脑瘫儿童的本体感觉康复

目前，本体感觉缺陷已经是脑瘫儿童普遍存在的问题，也是导致此类儿童出现姿势异常的重要原因。因此，针对这一问题，临床上也开展了能够改善脑瘫儿童本体感觉功能的干预措施，并取得了显著效果。例如，陈娟娟等[42]对 65 名脑瘫儿童进行了感觉统合训练的研究，其中包括感觉调节、感觉辨别、感觉运动等，经过 3 个月的干预后发现，脑瘫儿童的感觉功能有了明显改善，平衡功能提高。Akram 等[35]对 30 名痉挛型偏瘫儿童进行 8 周的感觉和运动训练后也发现，脑瘫儿童手指的关节位置觉得到显著改善。此外，除了有效的感觉统合干预方式以外，也有研究表明动态套装矫形器、肌内效贴以及全身振动训练等方法也对脑瘫儿童的本体感觉功能具有良好的改善作用[16,43-47]。综上研究，针对脑瘫儿童本体感觉缺陷问题，进行综合性有效的感觉运动干预，除了对脑瘫儿童的本体感觉功能有显著改善之外，脑瘫儿童的粗大精细运动功能也伴随着明显提高。

综上所述，本体感觉功能在脑瘫儿童的粗大和精细运动功能中发挥着重要作用。对脑瘫儿童本体感觉进行客观准确的评估，不仅能够为诊断脑瘫儿童感觉功能障碍提供重要的参考依据，还可以为脑瘫儿童制定个性化的本体感觉康复方案，对于运动功能的康复具有至关重要的作用。但是目前临床上本体感觉的评估还需进一步规范和系统化，并将其作为评估脑瘫儿童感觉功能的一部分。其次，脑瘫儿童的认知水平和功能状况可能会对本体感觉的评估产生不同程度的影响，例如脑瘫儿童的粗大运动功能水平或认知水平越低，本体感觉功能评估的准确性也越低，本体感觉训练干预的效果也越差。最后，国内关于本体感觉在脑瘫儿童中的临床研究还很缺乏，未来对于本体感觉的深入研究可能对脑瘫儿童运动功能障碍的康复将具有重大进展。

参考文献

[1] 中国康复医学会儿童康复专业委员会，中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会，中国医师协会康复医师分会儿童康复专业委员会，等. 中国脑性瘫痪康复指南（2022）：简介[J]. 中华实用儿科临床杂志，2022，37(12)：885-886.
Child Rehabilitation Professional Committee of Chinese Rehabilitation Medical Association, Pediatric Cerebral palsy Rehabilitation Professional Committee of Chinese Rehabilitation Association for Disabled Persons, Children Rehabilitation Professional Committee of Rehabilitation Physician Branch of Chinese Medical DoctorAssociation, et al. Chinese Guidelines for rehabilitation of cerebral palsy (2022): Introduction[J]. Chin J Appl Clin Pediatr, 2022, 37 (12): 885-886. (in Chinese)

[2] Bastian HC. The "muscular sense": Its nature and cortical localization[J]. Brain, 1887, 10(2): 1-88.

[3] Yardmc LBN, Bingol H, Mutlu A. The forgotten sixth sense in cerebral palsy: Do we have enough evidence for proprioceptive treatment? [J]. Disabil Rehabil, 2020, 42 (25): 3581-3590.

[4] 杨念恩，李世昌，黄文英，等. 本体感觉差异性特点及其神经

机制研究[J]. 体育科学学, 2014, 34(4): 41-48.
Yang NE, Li SC, Huang WY, et al. Characteristics of proprioceptive differences and its neural mechanisms [J]. Chin Sports Sci, 2014, 34 (4): 41-48. (in Chinese)

[5] Chu VW. Assessing proprioception in children: A review[J]. J Mot Behav, 2017, 49(4): 458-466.

[6] Winter L, Huang QY, Sertic JVL, et al. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor performance and motor dysfunction: A systematic review[J]. Front Rehabil Sci, 2022, 3: 830166-830166.

[7] McLean B. Somatosensory discrimination impairment in children with hemiplegic cerebral palsy as measured by the sense _assess kids[J]. Aust Occup Ther J, 2021, 68(4): 317-326.

[8] Uzun AK, Elbasan B. An investigation of the effect of the lower extremity sensation on gait in children with cerebral palsy[J]. Gait Posture, 2020.

[9] 李岩, 何雯雯, 董燕飞, 等. 全身振动训练对脑卒中偏瘫患者本体感觉及平衡功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(6): 709-712.
LiY, He WW, Dong YF, et al. Effects of whole-body vibration training on proprioception and balance function in hemiplegia patients with stroke[J]. Chin J Rehabil Med, 2021, 36 (6): 709-712. (in Chinese)

[10] 李俊, 周满相, 杨孝霞. 本体感觉训练在不随意运动型脑瘫中的疗效分析[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(85): 95-99.
Li J, Zhou MX, Yang XX. Analysis of the efficacy of proprioceptive training in involunmotor cerebral palsy[J]. World Latest Med Information Abstract, 2019, 19 (85): 95-99. (in Chinese)

[11] Aman EJ, Elangovan N, Yeh IL, et al. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: A systematic review[J]. Front Hum Neurosci, 2015, 8.

[12] Wingert JR, Burton H, Sinclair RJ, et al. Joint-position sense and kinesthesia in cerebral palsy[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2008, 90(3): 447-453.

[13] ZarKou A, Lee SCK, Prosser L, et al. Foot and ankle somatosensory deficits in children with cerebral palsy: A pilot study[J]. J Pediatr Rehabil Med, 2021, 14(2): 247-255.

[14] ElShemy SA. Effect of treadmill training with eyes open and closed on knee proprioception, functional balance and mobility in children with spastic diplegia[J]. Ann Rehabil Med, 2018, 42(6): 854-862.

[15] Chrysagis N, Koumantakis G, Grammatopoulou E, et al. Active joint position sense in children with unilateral cerebral palsy[J]. Cureus, 2021, 13(9): e18075-e18075.

[16] ZarKou A, LeeSamuel C, Prosser L, et al. Stochastic resonance stimulation improves balance in children with cerebral palsy: A case control study[J]. J Neuroeng Rehabil, 2018, 15(1): 115.

[17] Daminano DL, Wingert JR, Stanley CJ, et al. Contribution of hip joint proprioception to static and dynamic balance in cerebral palsy: A case control study[J]. J Neuroeng Rehabil, 2013, 10(1): 57.

[18] Ece A, Devrim T, Miray B. Omparison of the effects of Kinesio tape and neuromuscular electrical stimulation on hand extensors in children with cerebral palsy[J]. J Inter Ther Rehabil, 2020: 1-12.

[19] Khoshbakht M. Impact of somatosensory interventions on upper limb function in children with hemiplegic cerebral palsy: A single-subject design study[J]. J Inter Ther Rehabil, 2021, 28(1): 1-13.

[20] Piitulainen H, Nurmi T, Vallinoja J, et al. Cortical proprioceptive processing is altered in children with diplegic cerebral palsy[J]. Gait Posture, 2023, 10(157): 25-36.

[21] Agatiello M, Toffoli E, Scarabel F, et al. Somatosensory evoked potentials recorded during hypothermia in neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy [J]. Neuroimage Clin, 2015, 126(1): e5-e5.

[22] Nevalainen P, Pihko E, Lauronen L, et al. Somatosensory evoked magnetic fields in adolescents with congenital spastic hemiplegic cerebral palsy[J]. Neuroimage, 2009, 47 (Suppl 1): 131.

[23] Démas J, Mathieu B, Xavier TD, et al. Assessing spino-cortical proprioceptive processing in childhood unilateral cerebral palsy with corticokinematic coherence[J]. Neurophysiol Clin, 2022, 52(1).

[24] Santana CA, DosSantos M, DeCampos AC. Interrelationships of touch and proprioception with motor impairments in individuals with cerebral palsy: A systematic review[J]. Percept Mot Skills, 2022, 129(3): 570-590.

[25] Park C, Park ES, Choi JY, et al. Immediate effect of a single session of whole body vibration on spasticity in children with cerebral palsy[J]. Ann Rehabil Med, 2017, 41(2): 273-278.

[26] Min Y, Yun SL. Effect of ankle proprioceptive exercise on static and dynamic balance innormal adults[J]. J Phys Ther Sci, 2017, 29(2): 242-244.

[27] Dadashi F, Shahroli A, Nourian R, et al. The effects of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) on balance control in children with cerebral palsy[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2019, 2019: 5241-5244.

[28] Bartonek A, Lidbeck C, Hellgren K, et al. Head and trunk movements during turning gait in children with cerebral palsy[J]. J Mot Behav, 2019, 51(4): 362-370.

[29] Elshafey MA, Abdrabo MS, Elnaggar RK. Effects of a core stability exercise program on balance and coordination in children with cerebellar ataxic cerebral palsy[J]. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2022, 22(2): 172-178.

[30] Hussein ZA, Salem IA, Ali Mostafa S. Effect of simultaneous proprioceptive-visual feedback on gait of children with spastic diplegic cerebral palsy[J]. J Musculoskelet Neuro Interact, 2019, 19(4): 500-506.

[31] Belinda M, Misty B, Leeanne C, et al. Discovering the sense of touch: Protocol for a randomised controlled trial examining the efficacy of a somatosensory discrimination intervention for children with hemiplegic cerebral palsy[J]. BMC Pediatr, 2018, 18(1): 1-16.

（下转第 565 页）

[41] 丁丽丽，何守森，周倩，等. 家庭养育环境对儿童早期发育及情绪社会性发展的前瞻性研究[J]. 中国儿童保健杂志，2016，24(9)：910-912，916.
Ding LL，He SS，Zhou Q，et al. Prospective study of home nurture environment on early childhood developmental quotients and social emotional development[J]. Chin J Child Health Care，2016，24(9)：910-912，916. (in Chinese)

[42] Li J，Zhai M，Liu D，et al. Pilot study of relationship between prenatal stress during the COVID-19 pandemic and social-emotional development of 12-month-old children：The mediation effects of home environment[J]. Eur Child Adolesc Psychiatry，2023.

[43] Saskia D，Deirdre F，Jessica H，et al. The psychological impact of childhood homelessness-a literature review[J]. Ir J Med Sci，2021，190(1)：411-417.

[44] Tamis-LeMonda CS，Shannon JD，Cabrera NJ，et al. Fathers and mothers at play with their 2-and 3-year-olds：Contributions to language and cognitive development[J]. Child Dev，2004，75(6)：1806-1820.

[45] Eisenberg N，Cumberland A，Spinrad TL. Parental Socialization of emotion[J]. Psychol Inq，1998，9(4)：241-273.

[46] Mokwena KE. Neglecting maternal depression compromises child health and development outcomes，and violates children's rights in South Africa[J]. Children-Basel，Basel：MDPI，2021，8(7)：609.

收稿日期：2023-08-31　**修回日期**：2023-11-09　**本文编辑**：杨媛媛

（上接第 537 页）

[32] 杨霞，周文智，田萍，等. 感觉统合训练结合常规康复训练对痉挛型脑瘫患儿平衡控制及运动功能的影响[J]. 现代生物医学进展，2019，19(13)：2543-2546.
Yang X，Zhou WZ，Tian P，et al. Effect of sensory integration training combined with conventional rehabilitation training on balance control and motor function in children with spastic cerebral palsy[J]. Modern Biological，2019，19(13)：2543-2546. (in Chinese)

[33] Kuak W，Sobaniec W，Solowiej E，et al. Somatosensory and visual evoked potentials in children with cerebral palsy：Correlations and discrepancies with MRI findings and clinical picture[J]. Pediatr Rehabil，2006，9(3)：201-209.

[34] McClelland VM，Fischer P，Foddai E，et al. EEG measures of sensorimotor processing and their development are abnormal in children with isolated dystonia and dystonic cerebral palsy[J]. Neuroimage Clin，2021，30：102569.

[35] Akram AB，Reza R，Shahnaz S，et al. Investigation of the effect of sensorimotor exercises on proprioceptive perceptions among children with spastic hemiplegic cerebral palsy[J]. J Hand Ther，2020，33(3)：411-417.

[36] Nurmi T，Jaatela J，Vallinoja J，et al. Stronger proprioceptive BOLD-responses in the somatosensory cortices reflect worse sensorimotor function in adolescents with and without cerebral palsy[J]. Neuroimage Clin，2021，32：102795.

[37] Ann DW，Geert V，Nici W，et al. Does somatosensory discrimination activate different brain areas in children with unilateral cerebral palsy compared to typically developing children? An fMRI study[J]. Res Dev Disabil，2013，34(5)：1710-1720.

[38] Christos P，Erin EB，Madelyn R，et al. Reorganization of the somatosensory cortex in hemiplegic cerebral palsy associated with impaired sensory tracts[J]. Neuroimage Clin，2018，17：198-212.

[39] Ryu HJ，Song GB. Differences in proprioceptive senses between children with diplegic and children with hemiplegic cerebral palsy[J]. J Phys Ther Sci，2016，28(2)：658-660.

[40] Kurz MJ，Elizabeth HG，Becker KM，et al. The magnitude of the somatosensory cortical activity is related to the mobility and strength impairments seen in children with cerebral palsy[J]. J Neurophysiol，2015，113(9)：3143-3150.

[41] 周满相，黄任秀，张靖，等. 本体感觉康复的最新研究进展[J]. 中国实用神经疾病杂志，2020，23(4)：363-368.
Zhou MX，Huang RX，Zhang J，et al. Recent research progress in proprioceptive rehabilitation[J]. Chin J Pract Neuro Dis，2020，23(4)：363-368. (in Chinese)

[42] 陈娟娟，徐纯鑫，丁兰艳，等. 不同感觉统合训练模式对脑性瘫痪儿童平衡功能的影响[J]. 中国康复医学杂志，2020，35(5)：546-550.
Chen JJ，Xu CX，Ding LY，et al. Effect of different sensory integration training patterns on balance function in children with cerebral palsy[J]. Chin J Rehabil Med，2020，35(5)：546-550. (in Chinese)

[43] 俞鑫璐，李鑫，杨婷婷，等. 感觉统合治疗在脑性瘫痪康复中应用的系统综述[J]. 中国康复理论与实践，2022，28(2)：183-189.
Yu XL，Li X，Yang TT，et al. A systematic review of the application of sensory integration therapy in the rehabilitation of cerebral palsy[J]. Chin J Rehabil Theory Pract，2022，28(2)：183-189. (in Chinese)

[44] Bumin G，Kayhan H. The effects of individual sensory integration training and home rehabilitation programmes in children with cerebral palsy[J]. Disabil Rehabil，2008，12(suppl 6)：60.

[45] Levin I，Lewek MD，Feasel J，et al. Gait training with visual feedback and proprioceptive input to reduce gait asymmetry in adults with cerebral palsy：A case series[J]. Pediatr Phys Ther，2017，29(2)：138-145.

[46] Almeida KM. Effects of interventions with therapeutic suits (clothing) on impairments and functional limitations of children with cerebral palsy：A systematic review[J]. Braz J Phys Ther，2017，21(5)：307-320.

[47] Song S，Lee K，Jung S，et al. Effect of horizontal whole-body vibration training on trunk and lower-extremity muscle tone and activation，balance，and gait in a child with cerebral palsy[J]. Am J Case Rep，2018，31(19)：1292-1300.

收稿日期：2023-08-04　**修回日期**：2023-11-08　**本文编辑**：杨媛媛