

矫形支具在脑卒中偏瘫康复治疗中的应用

刘晓磊, 杨华清, 李强, 董明, 李佳, 姚洪春, 张洪剑, 李凤仪

首都医科大学附属北京康复医院骨科康复中心, 北京 100144

【关键词】偏瘫; 矫形支具; 康复治疗

中图分类号: R743.3 文献标识码: A 文章编号: 2095-8552 (2025) 05-0556-04

doi:10.3969/j.issn.1008-1070.2025.05.006

脑卒中是目前世界上引起严重残疾的首要原因, 我国每年新发脑卒中患者约为 300 多万人, 脑卒中患病总人数已超过 2800 万, 其中 55%~75% 的脑卒中患者出现偏瘫、肢体运动功能障碍^[1]。偏瘫是各种原因引起的中枢神经损伤, 导致一侧肢体瘫痪, 其中脑卒中造成的偏瘫与偏瘫后遗症, 是目前引起严重残疾的首要原因, 也是造成老年人失能或半失能的主要原因^[2]。如何提高脑卒中偏瘫患者生活质

量, 降低脑卒中的致残率成为脑卒中管理的重要环节^[3-4]。在偏瘫的康复治疗中, 矫形支具作为一种重要的辅助器具, 通过提供必要的支撑和稳定, 帮助患者在康复过程中实现更好的运动控制和功能恢复。研究表明, 使用矫形支具的患者在行走和日常活动能力方面有显著改善^[5]。此外, 矫形支具还能减轻患者在运动中的疼痛, 提高其参与康复训练的积极性, 从而促进整体康复效果^[6]。

基金项目: 北京市科技计划项目 (Z221100007422113); 北京慢性病防治与健康教育科研项目 (BJMB0012024026011)

通信作者: 杨华清, E-mail: yhq402@126.com

- [18] XU M, LIN R, LUO J, et al. Using brain functional magnetic resonance imaging to evaluate the effectiveness of acupuncture combined with mirror therapy on upper limb function in patients with cerebral ischemic stroke: a study protocol for a randomized, controlled trial[J]. *Trials*, 2021, 22(1): 597.
- [19] AZBELL J, PARK J K, CHANG S H, et al. Plantar or palmar tactile augmentation improves lateral postural balance with significant influence from cognitive load[J]. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2020(99): 1.
- [20] DUAN M, XU Y, LI Y, et al. Targeting brain-peripheral immune responses for secondary brain injury after ischemic and hemorrhagic stroke[J]. *Journal of neuroinflammation*, 2024, 21(1): 102.
- [21] RANA T, SELDA C, MAHIR T, et al. Suprascapular nerve block in hemiplegic shoulder pain: comparison of the effectiveness of placebo, local anesthetic, and corticosteroid injections-a randomized controlled study[J]. *Neurological sciences: Official Journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*, 2020, 41(11): 1-5.
- [22] GIUSEPPE B D. Neural Mechanisms of hypnosis and meditation-induced analgesia: a narrative review[J]. *The International Journal of clinical and experimental hypnosis*, 2021, 69(3): 21-20.
- [23] BRAUN G R, WITTENBERG F G. Motor Recovery: how rehabilitation techniques and technologies can enhance recovery and neuroplasticity[J]. *Seminars in Neurology*, 2021, 41(2): 167-176.
- [24] CHUN K W T, RAHAMAN A F F, SHIRLEY F, et al. Neurostimulation for Stroke Rehabilitation[J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2021(15): 649459.
- [25] ABHISHEK P, VYOM G, PRIYA D, et al. The Bobath Concept (NDT) as rehabilitation in stroke patients: A systematic review[J]. *Journal of family medicine and primary care*, 2021, 10(11): 3983-3990.
- [26] LONG M, XINYU J, HAIBO Q, et al. Automatic upper-limb brunnstrom recovery stage evaluation via daily activity monitoring[J]. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2022(2022): 1.
- [27] CHATURVEDI P, KALANI A. Motor rehabilitation of aphasic stroke patient: the possibility of Rood's approach[J]. *Neural Regeneration Research*, 2023, 18(3): 551.
- [28] GUNNING E, USZYNSKI K M. Effectiveness of the proprioceptive neuromuscular facilitation method on gait parameters in patients with stroke: a systematic review[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2019, 100(5): 980-986.
- [29] KRISTINA T, FRANZ S, EVA B, et al. Feasibility of a specific task-oriented training versus its combination with manual therapy on balance and mobility in people post stroke at the chronic stage: study protocol for a pilot randomised controlled trial[J]. *Pilot and feasibility studies*, 2021, 7(1): 146.
- [30] GAO L, JIN Q, ZHOU C, et al. Effect of task-oriented biomechanical perception-balance training on motor gait in stroke patients with hemiplegia[J]. *Alternative therapies in health and medicine*, 2024, 30(8): 290-294.
- [31] IGLESIAS A H. Transcranial magnetic stimulation as treatment in multiple neurologic conditions[J]. *Current Neurology & Neuroscience Reports*, 2020, 20(1): 1.
- [32] HE Y, LI K, CHEN Q, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation on motor recovery for patients with stroke: a prisma compliant systematic review and meta-analysis[J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2020(2020): 99.
- [33] YUANWEN L, MINGYU Y, JING L, et al. Effects of transcranial magnetic stimulation on the performance of the activities of daily living and attention function after stroke: a randomized controlled trial[J]. *Clinical rehabilitation*, 2020, 34(12): 269215520946386.
- [34] TOKTAS N, DURUTURK N, GÜZEL S, et al. The effect of transcranial direct current stimulation on balance, gait function and quality of life in patients with stroke[J]. *Neurological research*, 2024(2024): 1-8.
- [35] SANCHETEE P. Current trends in stroke rehabilitation. A review with focus on brain plasticity[J]. *Acta neurologica Scandinavica*, 2011, 123(3): 147-159.
- [36] JACOB S. Biofeedback for post-stroke gait retraining: a review of current evidence and future research directions in the context of emerging technologies[J]. *Frontiers in Neurology*, 2021(2021): 637199.
- [37] 高君强, 冯慧丽, 李君辉. 肌电生物反馈结合虚拟现实康复训练治疗脑卒中偏瘫[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2022, 25(12): 1532-1537.
- [38] 梁嘉欣, 黄国志, 王俊辉, 等. 可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术对脑卒中患者平衡功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2019, 34(3): 267-272.
- [39] HWANG S, MIN C K, SONG S C. Assistive technology on upper extremity function for stroke patients: A systematic review with meta-analysis[J]. *Journal of hand therapy: Official Journal of the American Society of Hand Therapists*, 2024, 37(4): 507-519.
- [40] SHAJARI S, KURUVINASHETTI K, KOMEILI A, et al. The Emergence of AI-Based Wearable Sensors for Digital Health Technology: A Review[J]. *Sensors*, 2023 (2023): 14248220.

(收稿日期: 2025-03-16)

随着科技的发展, 矫形支具的设计和材料不断创新, 越来越多的个性化和功能化支具被应用于临床。这些新型支具不仅能够提供更好的生物力学支持, 还能通过智能化技术监测患者的运动状态, 实时调整支具的使用方式, 从而更有效地促进偏瘫患者的康复^[7]。未来, 结合个体化的康复方案和先进的矫形支具技术, 将为偏瘫患者的康复提供更为广阔的前景。

1 矫形支具在偏瘫康复应用中的意义

矫形支具在偏瘫患者的康复中发挥着重要作用, 包括保护、稳定支持、代偿等, 尤其是在提高运动功能和稳定性方面。研究表明, 偏瘫患者在使用矫形支具后, 其行走能力显著提高, 特别是在步态稳定性和协调性方面的改善^[1]。通过提供必要的支持和稳定性, 矫形支具使患者能够更独立地完成日常活动, 提高日常生活自理能力和生活质量, 从而改善生活满意度^[8]。矫形支具的作用不仅限于物理支持, 还能够促进神经重塑和功能恢复。偏瘫患者在康复过程中, 神经系统的可塑性是恢复运动功能的关键。研究表明, 适当的支具可以通过提供适当的运动模式和负荷, 刺激神经元的重塑和再生, 进而促进运动功能的恢复^[9]。矫形支具和运动治疗相结合, 能够有效激活大脑的神经可塑性机制, 使得患者在运动能力和日常活动中获得进一步的改善。此外, 在康复过程中逐渐恢复的自信心和自我效能感, 进一步促进患者心理健康和社会交往能力。

2 常见矫形支具及构型

2.1 上肢矫形支具

Deaver^[10]提出矫形器的使用目的是代偿残疾、预防纠正畸形、纠正异常运动模式和控制痉挛等。上肢矫形支具的设计与功能特点主要是为了改善患者的手功能、上肢运动能力和日常生活活动。用于代偿失去的肌肉力量, 预防或纠正畸形, 按功能分为功能性和固定性。固定性上肢矫形器没有动力装置, 其作用是固定、支持和制动; 而功能性上肢矫形器则具有动力装置, 它可以在一定程度上通过支具来帮助肢体活动, 进而促进运动功能改善, 常见的上肢矫形支具包括肘部矫形器、手腕矫形器等。这些支具通过提供必要的支撑和稳定性, 在康复过程中表现出更好的手部功能和上肢运动能力^[1]。临床上常见的手指外展夹板、拇指固定夹板以及手指固定夹板, 用于固定指间关节, 让手指保持屈曲或者伸直的状态^[9]。手部动态矫形器通常把弹簧和橡皮筋当作动力来源, 像弹簧式指间伸展辅助矫形器、钢丝架式指间伸展辅助矫形器等就属于此类, 这类

矫形器大多用于纠正指间关节屈曲挛缩^[11]。腕部静态矫形器可使腕关节背伸, 让伸肌腱松弛, 常用于伸腕肌群麻痹或者肌力低下或屈腕肌张力升高的患者^[12]。肘部静态矫形器的主要作用是预防、矫正以及保持肢体功能位, 伸肘位矫形器常用来治疗脑卒中后上肢痉挛状态, 结果表明, 应用伸肘位矫形器能够有效改善脑卒中后偏瘫患者上肢的痉挛状态、肢体运动功能以及日常生活能力^[13]。肘部动态矫形器主要应用于关节挛缩、肌力低下以及关节不稳等情况, 它采用单副肘关节铰链, 以维持并增加伸展、屈曲的范围。某些特定的上肢矫形支具, 如功能性电刺激装置, 已被证明能有效改善脑卒中患者的上肢功能, 同时结合康复训练, 能够显著提高患者的运动能力和自主生活能力^[14]。

2.2 下肢矫形支具

下肢矫形器对脑卒中后偏瘫具有治疗作用, 其可以有效地限制踝关节跖屈、膝关节反张和屈曲, 从而进一步加快患者行走速度, 提高行走稳定性, 最终实现步态优化^[15]。常见的下肢矫形支具包括膝关节矫形支具、踝关节矫形支具、膝踝足矫形支具和髌膝踝足矫形支具。这些支具通过提供关节的支持和限制不必要的运动, 帮助患者恢复行走能力和日常活动。踝足矫形支具常见静态及动态踝足矫形器, 静态矫形器使踝关节长时间保持正常功能位, 增加踝足关节稳定性, 减少步行能力消耗; 动态踝足矫形器能改善患者静态和动态平衡功能, 更快促进患者步行能力恢复, 提高步行效率, 可节约人力及经济资源, 增加患者康复信心。可调式膝关节矫形支具可矫正膝过伸、强化肢体本体感觉、有效缓解和降低膝关节疼痛, 并改善步态及行走功能^[16]。髌膝踝足矫形支具固定髌关节、连接骨盆带, 甚至腰椎胸椎, 能够改善偏瘫患者的步行模式, 改善步态的对称性和稳定性, 提高步行速度^[17]。此外, 还有主动式矫形器, 常见于膝关节及踝关节, 主动膝关节矫形器为膝关节提供充足的辅助力矩, 辅助膝关节屈伸; 主动踝关节矫形器通过辅助系统连于踝足矫形器, 监测步行相关参数, 同时对踝关节提高辅助动力, 增加患者下肢稳定性, 提高平衡能力, 更能促进患者步态的独立性, 促进患者步态恢复, 提高康复效率, 但受制于成本高、需要专业人员调整等, 临床应用存在困难^[18]。此外, 下肢康复机器人等新型矫形器辅助治疗正朝着可穿戴式动力外骨骼的方向发展, 在提高患者步行能力、矫正异常步态、提高平衡功能的作用。通过与康复医学、人工智能、虚拟现实、自动控制技术、传感技术等多个学科交叉, 下肢外骨骼机器人的使用能带给患者更高效、舒适的康复体验。

3 支具使用的时间

3.1 早期使用的重要性

在偏瘫康复治疗中,支具的早期使用被认为是至关重要的。研究显示,早期介入支具治疗可以显著改善患者的功能恢复和独立行走能力。早期使用支具能够提供必要的支持,帮助患者在康复过程中维持关节的稳定性,防止二次损伤,并促进肌肉的再生和功能恢复。SATO 等^[19]将 112 例患者分为早期佩戴组和延迟佩戴组进行研究时发现,早期佩戴膝踝足矫形器的患者出院时功能独立性量表评分高于延迟佩戴的患者。研究显示,早期使用支具的患者在功能评估中表现出更好的结果,特别是在步态和日常生活活动的独立性方面^[1]。此外,早期介入还能够提高患者的自信心,减少焦虑,促进积极的康复态度,从而进一步提高康复效果。

3.2 不同阶段的使用策略

在康复过程中,支具的使用策略应根据患者的具体情况和康复阶段进行调整。初期阶段,支具主要用于提供支持和保护,帮助患者逐步适应负重和运动。随着康复的进展,支具的使用可以逐渐减少,转向促进患者自主活动和功能性训练。在急性期,支具可能需要全天佩戴,而在恢复期,支具的使用时间可以逐渐减少到仅在特定活动时使用^[20]。个性化的支具使用策略能够更好地满足患者的需求,因此在制订支具使用计划时,医务人员应与患者密切沟通,确保其参与决策过程。过早或过晚的支具使用都可能对患者的康复产生负面影响。过早使用支具可能导致患者依赖支具,抑制自主运动能力的发展,而过晚使用则可能错过最佳康复时机,影响功能恢复的速度和质量^[21]。因此,合理安排支具的使用时间至关重要。应根据患者的具体病情、康复进展以及个人需求,制订个性化的支具使用时间表,以最大限度地提高康复效果。研究还发现,支具使用的持续时间与患者的功能恢复程度呈正相关,适当延长支具使用时间可以进一步促进患者的康复^[22]。

4 支具在偏瘫康复治疗过程中的应用

4.1 个体化评估与支具选择

在偏瘫康复治疗中,支具的选择应基于个体化评估,以确保其最大化的疗效。个体化评估包括对患者的功能状态、运动能力、肌肉力量及关节活动度等多方面的综合评估。研究表明,支具的配置应根据患者的具体需求进行调整;针对不同类型的偏瘫患者,可能需要不同类型的支具来支持其行走能力和日常活动的恢复^[1]。支具的选择还需考虑患者的生活环境和日常活动需求,以确保支具能够在实际使用中提供有效支持。通过对患者进行全面的评估,可以制订出更为

合理的支具使用方案,从而提高康复效果。

4.2 使用中的注意事项

在支具的使用过程中,临床医生和患者都应关注一些重要的注意事项,以确保支具的有效性和安全性。首先,支具的佩戴时间和方式需要根据患者的适应能力进行调整,过长时间的佩戴可能导致皮肤损伤或不适^[23]。其次,定期检查支具的适配性和功能性是必要的,确保其在使用过程中没有损坏或变形。此外,患者在使用支具时应接受适当的教育,了解如何正确佩戴和使用支具,以避免因使用不当而导致的伤害。最后,医生应定期跟踪患者的康复进展,根据其变化情况及时调整支具的类型和设置,以适应患者的康复需求。

4.3 结合其他康复手段的综合应用

支具的使用应与其他康复手段相结合,以实现最佳的康复效果。例如,结合物理治疗和职业治疗可以帮助患者更全面地恢复功能。研究显示,支具与运动疗法结合使用,能够显著提高患者的行走能力和独立性^[24]。BANG 等^[25]研究认为,机器人步态矫形器辅助的体重支持跑步机训练是恢复患者对称步态模式的有用工具,其在改善脑卒中后偏瘫患者的平衡信心方面更有效。此外,利用虚拟现实和生物反馈等现代技术手段,可以增强传统康复方法的效果,促进患者的积极参与和康复动力^[26]。因此,综合应用多种康复手段,不仅能够提高偏瘫患者的功能恢复速度,还能增强其生活质量,帮助患者更好地适应日常生活。

5 矫形支具在偏瘫康复应用中的展望

5.1 新技术与材料的应用

随着科技的进步,矫形支具的设计与材料也在不断创新,极大地提升了其在偏瘫康复中的应用效果。现代矫形支具采用强度高、韧性好、抗疲劳、可设计性强的材料,Angélique 等^[27]使用碳纤维材料踝足矫形器在步行距离和爬楼梯速度方面有提高;热塑矫形器用于脑卒中偏瘫引起的足下垂,其半硬的足底在摆动期可以协助足尖的提起;高分子纤维材料不会影响 X 射线检查^[28]。现代矫形支具还融入了智能技术,像传感器和微处理器等。这些技术让支具能够实时监测患者的运动状态与生理数据,并且可以依据患者的动态需求做出调整,进而提升康复的个性化与精准性;智能矫形支具能够帮助偏瘫患者在步态训练中实现更高的独立性和稳定性^[1]。未来,随着材料科学和智能技术的进一步发展,矫形支具的功能将更加丰富,能够满足不同患者的需求,提升偏瘫康复的整体效果。

5.2 未来研究方向

未来的研究应聚焦于如何进一步优化矫形支具

的设计和性能,以提高其在偏瘫康复中的有效性。首先,临床研究需要探索不同类型的支具对偏瘫患者康复效果的影响,包括支具的材料、结构和功能等方面的比较研究。此外,研究还应关注患者的个体差异,如年龄、性别、病程等因素如何影响支具的使用效果。通过大规模的临床试验和数据分析,可以为矫形支具的个性化设计提供科学依据。同时,结合生物力学和运动学的研究,深入理解偏瘫患者在使用支具时的运动机制,将有助于支具的改进和新型支具的开发^[29]。此外,跨学科的合作研究,如工程学、材料科学与医学的结合,可能会带来更多创新的解决方案。未来的研究应当聚焦于更深入的机制探讨和临床效果评估,以系统性地验证不同矫形支具的疗效。同时,利用现代技术,比如数字化建模和 3D 打印技术,能够为支具的个性化设计提供新的可能性。这种技术的进步将会使支具的制造更加精确,适应性更强,从而进一步提升患者的舒适度和康复效果。

综上所述,矫形支具在偏瘫康复中的重要作用不容忽视,它们不仅能够提供必要的支持和稳定性,还能有效促进患者的功能恢复。个体化治疗的理念在矫形支具的应用中尤为关键。因此,制订个性化的矫形支具方案,结合患者的具体情况和康复目标,将有助于提高康复效果。尽管当前的研究和临床应用已取得了一定的进展,但在矫形支具的设计、应用和评估方面的标准化仍然有待加强。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参考文献:

- [1] MAESHIMA S, OKAMOTO S, MIZUNO S, et al. Predicting walking ability in hemiplegic patients with putaminal hemorrhage: an observational study in a rehabilitation hospital[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2021, 57(3): 321-326.
- [2] PALOMO-CARRIÓN R, FERRI-MORALES A, ANDO-LAFUENTE S, et al. Constraint-induced movement therapy versus bimanual intensive therapy in children with hemiplegia showing low/very low bimanual functional performance: A randomized clinical trial[J]. *PM R*, 2023, 15(12): 1536-1546.
- [3] 魏婷, 曹月洲, 鲍婉茹, 等. 镜像疗法联合功能性电刺激在脑梗死后偏瘫患者中的应用效果[J]. *中国临床医生杂志*, 2024, 52(12): 1410-1412.
- [4] 徐永伟, 樊利杰. 足下垂刺激器联合牵伸训练对脑卒中后足下垂患者足底压力、步态特征变化的影响[J]. *中国临床医生杂志*, 2024, 52(5): 559-563.
- [5] GU M, HUANG H. Effect of early rehabilitation nursing on neurological function and quality of life of patients with hemiplegia after stroke: A meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(34): e34919.
- [6] VARMA A, KHAN N R, VARMA A, et al. Pediatric patients with hemiplegia: a systematic review of a randomized controlled trial[J]. *Cureus*, 2023, 15(1): e34074.
- [7] WANG J, WANG S, WU H, et al. Muscle energy technique plus neurac method in stroke patients with hemiplegia complicated by diabetes mellitus and assessment of quality of life[J]. *Dis Markers*, 2022(1): 6318721.
- [8] KUMAR J, PATEL T, SUGANDH F, et al. Innovative approaches and therapies to enhance neuroplasticity and promote recovery in patients with neurological disorders: a narrative review[J]. *Cureus*, 2023, 15(7): e41914.
- [9] DE LAS HERAS B, RODRIGUES L, CRISTINI J, et al. Measuring neuroplasticity in response to cardiovascular exercise in people with stroke: a critical perspective[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2024, 38(4): 303-321.
- [10] DEEVER G G. Hemiplegia and rehabilitation[J]. *J Okla State Med Assoc*, 1960(53): 625-628.
- [11] 黄锦文. 手上肢康复支架的设计与应用[J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26(2): 102-106.
- [12] 叶大勇, 张希彬, 李宝. 改良腕手关节矫形器对脑卒中偏瘫患者腕手关节屈肌痉挛及运动功能的疗效[J]. *中国康复理论与实践*, 2015, 21(7): 811-815.
- [13] SILVA J L G F D, SÉRGIO M B G, HUGO H P D S, et al. Three-dimensional printed exoskeletons and orthoses for the upper limb—A systematic review[J]. *Prosthetics and Orthotics International*, 2024, 48(5): 590-602.
- [14] GRYCUC S, MROZEK P. Numerical modelling of an orthopedic brace with increased functional characteristics for the treatment of idiopathic scoliosis[J]. *Technol Health Care*, 2023, 31(6): 2477-2486.
- [15] JOANA F, MORENO J C, CATARINA A M, et al. Outcome measures and motion capture systems for assessing lower limb orthosis-based interventions after stroke: a systematic review[J]. *Disability and rehabilitation. Assistive technology*, 2019, 16(6): 1-10.
- [16] KHOSRAVI M, ARAZPOUR M, SAEEDI H, et al. Design evaluation in novel orthoses for patients with medial knee osteoarthritis[J]. *J Biomed Phys Eng*, 2019, 9(6): 719-732.
- [17] DI BRINA C, ROSELLINI G, INSOGNA M, et al. Therapeutic effect of the new multilevel brace orthosis on cerebral palsy gait: a case report[J]. *Clin Ter*, 2024, 175(1): 11-16.
- [18] DZIDOTOR G K, MOORHEAD J B, UDE C C, et al. Functions and effectiveness of unloader, patellofemoral, and knee sleeve orthoses: a review[J]. *Regen Eng Transl Med*, 2024, 10(2): 147-171.
- [19] KEISUKE S, TATSURO I, KEISUKE M, et al. Early wearing of knee-ankle-foot orthosis improves functional prognosis in patients after stroke[J]. *Journal of stroke and cerebrovascular diseases: the official journal of National Stroke Association*, 2022, 31(3): 106261.
- [20] ROBERT-LACHAINE X, DESSERTY Y, BELZILE É L, et al. Three-month efficacy of three knee braces in the treatment of medial knee osteoarthritis in a randomized crossover trial[J]. *J Orthop Res*, 2020, 38(10): 2262-2271.
- [21] BAZANCIR-APAYDIN Z. Orthosis management in knee osteoarthritis: evaluating existing recommendations and achieving consensus on implementation through the delphi method[J]. *Musculoskeletal Care*, 2024, 22(4): e70018.
- [22] WANG J, ZHU C, AI Y, et al. The effect of brace treatment history on bone density in preoperative patients with adolescent idiopathic scoliosis (AIS) assessed by vertebral bone quality (VBQ) score: a retrospective propensity score-matched analysis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2024, 25(1): 682.
- [23] WATERVAL N F J, BREHM M A, HARLAAR J, et al. Individual stiffness optimization of dorsal leaf spring ankle-foot orthoses in people with calf muscle weakness is superior to standard bodyweight-based recommendations[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 97.
- [24] HUGHES L D, BENCSIK M, BISELE M, et al. Using lower limb wearable sensors to identify gait modalities: a machine-learning-based approach[J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23(22): 9241.
- [25] BANG D, SHIN W. Effects of robot-assisted gait training on spatiotemporal gait parameters and balance in patients with chronic stroke: A randomized controlled pilot trial[J]. *Neuro Rehabilitation*, 2016, 38(4): 343-349.
- [26] KARA S, NOKAY A E. What are the novel rehabilitation methods in knee arthroplasty? A bibliographic review[J]. *Technol Health Care*, 2024, 32(5): 3643-3648.
- [27] SLIJPER A, DANIELSSON A, WILLÉN C. Ambulatory function and perception of confidence in persons with stroke with a custom-made hinged versus a standard ankle foot orthosis[J]. *Rehabil Res Pract*, 2012(4): 206495.
- [28] JUSTIN H, STACEY S, BABAK B. An evaluation of 3D printable elastics for post stroke dynamic hand bracing: a pilot study[J]. *Assistive technology: the official journal of RESNA*, 2023, 35(6): 11.
- [29] DEENIK J, CZOSNEK L, TEASDALE S B, et al. From impact factors to real impact: translating evidence on lifestyle interventions into routine mental health care[J]. *Transl Behav Med*, 2020, 10(4): 1070-1073.

(收稿日期: 2025-03-16)