XXXX DOI:

强制性运动疗法在脑卒中不同分期运动功能恢复中的应用进展

张贝贝,冯晓东,张 铭,任彬彬,马鹤彩,苟家斌,任亚锋
(河南中医药大学第一附属医院康复中心/河南中医药大学康复医学院,郑州 450000)

【摘 要】脑卒中后运动功能障碍是常见的后遗症,严重影响患者的活动能力及生活质量。常规康复疗法多通过重复训练改善运动功能缺损,但患者常过度依赖健侧肢体,导致恢复效果不佳。而强制性运动疗法(constraint-induced movement therapy,CIMT)是一种基于神经可塑性的康复技术,通过限制健侧肢体,促使患者反复使用患侧肢体,克服"习得性废用",可作为改善运动功能的有效手段。由于脑卒中不同分期的病理机制具有显著差异,CIMT在各期的治疗策略和干预效果亦有所区别。现有证据表明,CIMT可增强患者脑组织结构及功能可塑性,进而改善运动功能,但目前仍面临核心参数缺乏统一标准、有效证据尚不充分等问题。本文叙述性综述了CIMT分别在脑卒中患者急性期、亚急性期及慢性期运动功能恢复中的应用,重点梳理了其作用机制、干预参数、各个分期的干预效果。

【关键词】脑卒中;强制性运动疗法;运动功能;不同分期
【中图分类号】R493 【文献标志码】A

Progress in the application of constraint-induced movement therapy for motor function recovery across different phases of stroke

Zhang Beibei, Feng Xiaodong, Zhang Ming, Ren Binbin, Ma Hecai, Gou Jiabin, Ren Yafeng
(*Rehabilitation Center, The First Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine/School of Rehabilitation Medicine, Henan University of Chinese Medicine*)

【**Abstract**】Motor dysfunction following stroke is a common sequela that significantly impairs the mobility and quality of life of patients. Conventional rehabilitation therapies primarily address motor deficits through repetitive training. However, patients often rely excessively on the unaffected limb, which may lead to suboptimal recovery. Constraint-induced movement therapy (CIMT) is a rehabilitation technique based on neuroplasticity that restricts use of the unaffected limb and promotes repeated use of the affected limb, thereby overcoming "learned nonuse" and serving as an effective approach for motor function improvement. Because the pathophysiological mechanisms differ considerably across the various phases of stroke, the therapeutic strategies and intervention outcomes of CIMT also vary by phase. Existing evidence suggests that CIMT can improve the structural and functional plasticity of the brain tissue, thereby improving motor function. However, CIMT still faces challenges such as the lack of unified standards for core parameters and insufficient evidence regarding its efficacy. This article provides a narrative review of the application of CIMT in the recovery of motor function in patients with stroke during the acute, subacute, and chronic phases, with a focus on its mechanisms of action, intervention parameters, and efficacy at each phase.

【**Key words**】stroke; constraint-induced movement therapy; motor function; different phases

脑卒中是一种临床常见的中枢神经系统疾病,主要由血管阻塞或颅内出血所导致的大脑血流供应局部中断或血液外溢至脑组织,从而导致长期的神经功能损害,致使运动功能障碍[1]。据统计,脑卒中仍是导致残疾与死亡的主要原因之一,全球每年新增病例超过1 200万,其中约75%的幸存者存在不同程度的运动功能障碍[2]。临床上目前常用的康复手段包括运动疗法、作业治疗、神经发育疗法、物理因子治疗、中医疗法等,但侧重于被动训练与运动矫正,且患者过度依赖健侧肢体,难以将习得的技能迁移到真实生活场景。而强制性运动疗法(constraint-induced movement therapy,CIMT)强调患侧肢体重复性的任务导向训练,解决了常规康复疗法中健侧肢体代偿、患侧肢体训练迁移不足、训练内容与日常

作者介绍:张贝贝,Email:yy0901299@163.com,
研究方向:脑卒中后的康复治疗。
通信作者:任亚锋,Email:253453490@qq.com。
基金项目:国家重点研发计划资助项目(编号:2024YFC3507103)。

生活脱节的问题。因此其可作为促进脑卒中患者功能恢复的有效康复工具，能增强患者肌肉力量、提高平衡能力，并改善步态、运动功能及生活质量[3]。

1 CIMT定义

CIMT这一术语源自对猴子的研究，Taub E等[4]对1只前肢感觉神经受损的猴子进行观察，发现尽管拥有足够的运动神经支配使其能够使用该前肢，但它并不会使用，这种现象被称为“习得性废用”。此后提出CIMT这一概念，作为一种基于神经可塑性的康复手段，通过限制健侧肢体，对患侧肢体进行高强度训练，并在各类任务中强调重复训练和塑形训练，这能够提高患侧肢体的参与度以及日常活动能力[5]。原始CIMT的入选标准为患者在基线状态下具备基础的主动运动能力，通常要求患者存在一定程度的腕关节主动伸展能力，同时所有手指的掌指关节和指间关节也能有至少10度的主动伸展范围[6]。在临床实践中，CIMT最早用于改善脑卒中患者患侧上肢功能、提高患侧肢体日常生活活动能力，并逐渐拓展至下肢功能障碍、脑瘫、脑损伤等康复领域，现有研究多聚焦于运动功能障碍，而缓解肢体麻木、促进语言及认知功能恢复的证据尚不充分。

CIMT治疗时，健侧上肢会通过手套等进行固定以防止移动、使其无法使用，这意味着患者必须使用患侧肢体，并可根据患者的自身能力增加相应的训练量[7]。最初，CIMT涉及2~3周的训练方案，患侧肢体每天进行6 h的分级运动和功能任务训练[8]。CIMT由4部分组成：对受累更严重的肢体进行强化训练；采用一种称为塑形训练的行为学技术进行训练，侧重于在治疗环境中逐步掌握必要的技能；迁移包，即通过解决问题克服在日常生活活动中患侧手臂使用的障碍，确保习得的技能可有效地迁移到日常生活中并长期维持，旨在克服“习得性废用”；治疗期间，每日90%的清醒时间限制健侧上肢，以减少健侧代偿性行为[9]。原始CIMT方案对健侧肢体限制时长要求较高，易降低患者训练的依从性与主动性，不仅具有潜在的安全风险，还会大量占用医疗康复资源，并且约有68%的患者对强制性训练及限制装置存在排斥心理[10]，可能还会引发抑郁、情绪低落等精神症状[11]。经发展，根据患者的实际情况及治疗需求，逐渐改进为改良CIMT（modified-constraint-induced movement therapy，m-CIMT），在限制时间和训练强度方面进行了优化，重点提高双侧肢体的协调性，以提高患者的依从性[12]。

综上，CIMT基于“习得性废用”，通过限制健侧肢体、强化患侧任务导向训练，解决健侧肢体代偿、提高患侧肢体使用率。由于原始CIMT方案限制时间长、强度高、患者依从性差，为兼顾临床疗效与患者接受度，后续将其优化为m-CIMT。

2 CIMT作用机制

CIMT的作用机制与大脑功能重组和结构可塑性密切相关，同时产生形态学改变。以下从分子与细胞层面、突触与环路层面、脑网络与行为层面3个层面，分别阐述CIMT促进脑卒中后运动功能恢复的神经机制。

2.1 分子与细胞水平

在缺血性小鼠模型中发现，CIMT可拮抗内源性生长抑制信号通路，在神经丝蛋白水平靶向调控树突和轴突重塑，促进运动皮层内神经元结构性修复，改善运动功能预后；同时可增加胼胝体内少突胶质细胞数量、促进无髓鞘纤维的髓鞘形成，以此诱导脑组织结构性修复[13-14]。血管生成作为脑卒中后功能恢复的重要生物学基础，可维持血液供应。轴突生长抑制蛋白-A（neurite outgrowth inhibitor-A，Nogo-A）是一种抑制血管生成的因子，可介导细胞内Ras同源基因家族成员A（Ras homolog gene family member A，RhoA）/Rho相关卷曲螺旋激酶（Rho-associated coiled-coil containing protein kinase，ROCK）/肌球蛋白Ⅱ通路，一方面CIMT能抑制Nogo-A/RhoA/ROCK信号通路以促进脑缺血/再灌注损伤后的血管生成和神经发生[15]。另一方面，CIMT则通过上调内源性缺氧诱导因子-1α和血管内皮生长因子的表达促进神经发生和血管生成，以发挥脑缺血后的神经保护作用并促进功能恢复[16]。此外，近期临床观察与动物研究提示，m-CIMT可增强脑组织内的外泌体和微小RNA的活性，以此促进神经修复[17]。上述结果表明，CIMT通过多分子靶点及细胞水平为神经结构与功能重塑提供必要条件，以促进受损神经恢复、改善运动功能。

2.2 突触与环路水平

脑卒中后，患侧半球皮层的兴奋性降低，α-氨基-3-羟基-5-甲基-4-异恶唑丙酸受体（α-amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazole propionic acid receptor，AMPAR）介导最快速的兴奋性突触传递，调控其表达对突触强度和效能至关重要，而该疗法可增强感觉运动皮层和海马体中AMPAR介导的突触传递，以此改善卒中后的运动功能[18]。急性脑卒中后双侧感觉运动皮层和海马体的树突和树突棘出现不同程度的损伤，而CIMT可增强双侧感觉运动皮层树突和树突棘的可塑性，并增加病灶侧感觉运动皮层突触离子型谷氨酸受体AMPA亚基2（glutamate receptor ionotropic，AMPA 2，GluA2；旧称GluR2）的表达[19]。动物研究发现，缺血性脑卒中会破坏运动皮层神经元结构，造成树突分支减少、双侧大脑半球树突长度不对称，并损伤半球间轴突传导通路，最终导致技巧性运动和精细运动功能缺损，但CIMT可逆转上述损伤，促进患侧运动皮层的树突分支增生（尤其是Ⅲ层神经元）、重建半球间轴突连接，从而改善精细运动功能[20]。CIMT还可募集对侧半球神经元参与患侧上肢的支配，并增强对侧皮层的突触可塑性[21]。同样，Liu PL等[22]发现CIMT提高了大鼠熟练行走能力，促使更多神经元被募集至对侧病变皮层和红核中支配麻痹前肢的网络，同时增加对侧病变皮层的突触数量，但完整的同侧皮层则无此效应。此外，该疗法还可刺激轴突生长、改善对侧红核突触后膜功能，以及增加运动皮层-红核的双侧投射，但未改善同侧红核突触后膜功能[23]。因此，CIMT可增强突触传递效率、重建树突分支与轴突连接、

募集对侧神经元进入患侧支配网络，从而实现半球间环路的结构性重建。

2.3 脑网络与行为水平

早期实施m-CIMT干预可促进同侧皮层重组，患侧上肢功能的改善与同侧皮层兴奋性增强有关[24]。Ro T等[25]研究发现，在为期3个月的随访评估中，经颅磁刺激皮层绘图提示，与对照组相比，接受CIMT干预的患者在病灶侧半球的运动代表区域更大，进一步提示亚急性期该疗法可增强皮层/皮层下运动重组，并加速运动功能恢复。研究指出，CIMT可改善患者脑功能激活的减少，这有助于功能性脑区激活及脑血流灌注增加，以此促进大脑功能重组[26]。影像学显示，CIMT干预后，感觉运动皮层的功能磁共振激活信号增强，基线损伤较重的患者这一变化更明显，且双侧半球存在明显差异，同时经颅磁刺激测定的中枢运动传导时间缩短[27]。Gauthier LV等[28]对结构MRI图像进行基于体素的形态学分析，结果显示：CIMT可增加双侧感觉运动皮层及海马体的灰质体积；回归分析提示，上述脑区灰质体积的增加幅度与运动活动日志量表所测得的上肢功能改善程度相关。值得注意的是，双位点经颅磁刺激通过兴奋患侧M1区、抑制健侧M1区以恢复半球间平衡，并调节运动皮层及皮层-小脑-脑干网络，改善感觉处理与运动整合能力；在此基础上，CIMT持续提供感觉反馈，在行为水平上增强神经可塑性，实现行为与神经功能之间的良性循环，二者的联合应用可提高患者生活质量[29]。上述证据共同表明，CIMT可促进运动皮层及海马体的结构与功能重组、增强皮层兴奋性和神经可塑性，并与经颅磁刺激等神经调控技术协同增效，最终改善患侧肢体运动功能。

3 CIMT在脑卒中运动功能恢复中的应用

3.1 CIMT干预参数

当前，CIMT尚未形成统一标准的干预参数和训练方案，不同研究选用的干预剂量存在差异。Psychouli P等[30]按照2个维度将干预强度分为：总治疗时长<20 h为低强度、21~39 h为中强度、≥40 h为高强度；每日限制时长≤3 h为低强度、4~9 h为中强度、≥10 h为高强度。研究显示，CIMT联合躯干限制每日限制4~6 h综合疗效较优，适合临床常规应用[31]。总干预时长宜控制在14 d以内，超过20 d则趋于无效[32]；任务训练的重复次数可作为比训练时长更关键的参数指标[33]，且与运动功能的改善程度呈中等相关[34]。结合脑卒中各分期病理特征与现有文献报道，将不同分期CIMT干预策略进行归纳，见表1。

3.2 CIMT在不同病程分期的应用

参照文献对脑卒中进行3个病程分期的划分（表1）[38]，并据此论述CIMT在各分期运动功能恢复中的应用。

3.2.1 急性期 急性缺血损伤后会引发一系列破坏性事件，导致梗死核心及周边区域的细胞坏死，且再灌注损伤会加剧级联反应，该分期的治疗目标是发挥神经保护作用及减轻脑损伤程度[39]。关于干预时机目前仍存在争议，尽管早期干预可改善运动功能缺损，但可能会导致神经再损伤，应避免在24 h内进行高强度的康复训练[40]。因此，该分期的CIMT适用于生命体征稳定的患者，且宜采取低强度训练。

针对上肢功能恢复，El-Helow MR等[35]开展了1项为期2周的前瞻性比较研究，对照组（30例）接受每日2 h、每周5 d的常规康复疗法，试验组（30例）接受每日2 h训练和6 h限制、每周5 d的CIMT干预，结果表明，与对照组相比，CIMT干预可提高Fugl-Meyer评分、上肢动作研究量表评分（Action Research Arm Test，ARAT）；通过经颅磁刺激测定的静息运动阈值、中枢运动传导时间和运动诱发电位波幅均有改善，而对照组均无明显变化。另一项研究将64只大鼠随机分为假手术组、脑缺血组、早期及晚期CIMT干预组，其中早期干预组在脑卒中后1 d开始干预，晚期干预组则在14 d后开始治疗，结果显示：早期干预组第8天的行为学评分低于脑缺血组和晚期干预组，但早期和晚期干预组在第21天时的行为学评分均降低[41]。此外，在联合治疗策略方面，CIMT与其他疗法联合应用可发挥协同增效作用。例如，在1项经颅直流电刺激联合m-CIMT的随机对照临床试验中，所有患者均施以m-CIMT干预，试验组在此基础上接受主动双侧半球经颅直流电刺激，而对照组则接受伪经颅直流电刺激，结果发现，与对照组相比，试验组的Fugl-Meyer评分（组间差异为4.9分，95%CI=0.007~9.799）、Wolf运动功能测试（组间差异为6.54分，95%CI=1.10~14.15）及功能独立性评分（组间差异为8.63分，95%CI=1.37~18.64）均显著提高；90 d随访时患者生活质量感知同样优于对照组，这提示联合治疗能明显促进上肢运动功能恢复、增强日常生活活动能力，并长期维持其疗效[42]。然而，与常规康复疗法相比，急性期CIMT的优越性还存在争议，Dromerick AW等[43]研究发现，CIMT的疗效并未优于等量的传统作业治疗，且存在反向剂量-效应关系：塑形训练与肢体限制的干预剂量越高，90 d后患者的上肢运动功能改善程度反而越低。

表1 脑卒中不同分期CIMT干预策略对比

对比维度	急性期	亚急性期	慢性期
病程定义	发病7 d内	发病7 d至6个月	发病>6个月
病理特点	细胞坏死、氧化应激、再灌注损伤等	免疫反应放大、内源性修复过程启动	自发修复停止、神经再生抑制
治疗目标	神经保护、减轻脑损伤	激活修复进程、推动组织重塑	功能恢复、神经兴奋性增强
文献常见强度等级	低强度	中-高强度	高强度
文献研究干预参数	每日训练2 h；每日约束6 h；共10 d[35]	每日训练1 h；每日约束4 h；共14 d[36]	每周训练6 h；每日约束6 h[37]

注：表中各分期常见强度等级及干预参数为基于现有研究归纳结果，并非统一规范标准

综上，急性期CIMT的干预剂量须慎重，应以低强度为宜，高强度干预在此分期可能适得其反，且可考虑联合应用其他疗法。

3.2.2 亚急性期 亚急性期是脑卒中后神经功能重组的重要分期，涉及免疫反应放大、内源性修复过程的激活，此分期需激活修复机制、推动组织重塑。针对上肢功能障碍，尽管缺乏规范化治疗方案，但Treger I等[36]的随机对照研究显示，每日限制4 h以内、配合1 h物理治疗、持续2周的康复疗法，可促进患侧上肢功能恢复。对于下肢功能恢复，在1项队列研究中，147例亚急性期或慢性期患者接受了下肢CIMT每日6 h、持续2周的高强度干预，结果表明，与基线相比，治疗后的Fugl-Meyer评分、起立-行走测试、10 m步行测试和6 min步行测试均有统计学意义的改善，这提示患者的运动功能和行走能力得到改善；同时在脑卒中后1~6个月内接受干预的患者，其10 m步行测试结果优于脑卒中后6个月以上接受干预的患者[44]。同样，下肢高强度CIMT对亚急性和慢性卒中患者的平衡能力、下肢力量和双重任务能力也有积极影响，且效果可持续至少3个月[45]。另有报告指出，配合家庭训练的2周跑步机负荷步态训练有助于改善亚急性卒中患者的姿势平衡和功能活动，但增加负荷并未显著改变干预疗效[46]。在联合治疗方面，董观记等[47]将CIMT与虚拟现实技术联合应用于患者，其中CIMT通过增加患侧肌肉收缩频率与强度，提供持续的动力学刺激，促进肌肉功能恢复；而虚拟现实技术则通过构建个性化训练场景，提高患者的协调性、平衡感和空间感觉能力，两者互补，有效提高患者的关节活动能力。此外，1项m-CIMT联合躯干限制的结构化干预训练，即在有躯干限制的情况下使用患侧上肢参与任务导向性活动，同时将健侧上肢保持每日5 h的限制状态[48]。此项研究结果显示，联合组在改善ARAT、Fugl-Meyer评分、改良Barthel指数、运动活动日志及伸手时肘部最大伸展角度方面优于单纯m-CIMT组。有争议的是，短期CIMT联合视觉生物反馈训练并未显著改善亚急性期患者的上肢功能，这提示仍需要通过更大样本量和不同限制时长来阐明该效应[49]。

因此，亚急性期CIMT对最佳干预参数仍无共识，可根据患者实际情况适当增加训练强度，同时联合虚拟现实技术、躯干限制等干预策略可进一步提高疗效。

3.2.3 慢性期 慢性期，神经功能缺损程度趋于稳定，脑内微环境仍抑制神经再生，干预应从神经保护转向功能恢复，以神经修复和增强兴奋性为干预重点[39]。该分期患者常存在持续的运动功能障碍，多表现为髋、膝、踝、肘等关节活动受限。但目前仍缺乏规范化的CIMT干预策略，1项系统综述与Meta回归分析对CIMT的干预时机与剂量进行了证据整合，共纳入6项随机对照试验（169例脑卒中患者），结果提示：在慢性期，每周6 h训练、每日6 h限制的高强度训练方案与更好的功能改善相关[37]。

在慢性脑卒中患者上肢运动功能障碍改善方面，经过2周m-CIMT干预后，研究者观察到20例患者痉挛程度减轻，患侧上肢的每日使用率增加、功能改善，且6个月后的改善疗效仍持续[50]。针对下肢运动功能，Kobari T等[51]为探究CIMT对患者步态和平衡的影响开展了1项小样本试点研究，对8例慢性期患者施以适应阶段、下肢高强度CIMT干预阶段及维持阶段的治疗，其中干预阶段每周5 d、持续3周，进行每次3 h的任务导向训练及30 min的转移包训练，在比较CIMT干预阶段前后的结果时发现：6 min步行测试、Berg平衡量表评分、步行速度和步频均有所改善；在维持阶段结束时，与干预阶段结束后相比，6 min步行测试、步行速度和步频仍有进一步改善。这些初步结果提示，基于下肢CIMT原则的延长干预方案可以改善慢性期患者的平衡功能及行走能力。尽管该疗法在下肢日常生活活动能力、平衡功能与步态的结局评估中优于常规物理治疗，但对步态时空节律相关参数无明显改善作用[52]。在联合治疗方面，Alaca N和Öcal NM[53]在随机对照研究中，将40例患者分为常规治疗组、常规治疗联合本体感觉训练组、常规治疗联合m-CIMT组，干预6周后，组间比较显示，联合m-CIMT组在痉挛程度和运动功能评分方面较常规治疗以及联合本体感觉训练组有显著改善。

由此可见，此分期的CIMT证据较为成熟，推荐采用高强度方案，上下肢运动功能、平衡功能及行走能力均可从中获益。

4 小结与展望

CIMT作为基于神经可塑性的康复技术，在脑卒中后运动功能恢复中已展现出明确的临床应用价值。近年来，随着改良方案的提出，CIMT的应用范围从最初的上肢康复拓展到下肢康复，从慢性期逐渐向急性期扩展。现有研究表明，急性期应用低强度的CIMT相对安全，能够促进患者早期功能恢复；亚急性期则是CIMT干预的关键时期，适当提高训练强度和延长干预周期可获得显著且持久的改善疗效；高强度CIMT为慢性期干预的有效手段，但需兼顾患者耐受性和训练效果。

然而，当前该领域仍存在诸多不足。CIMT的核心参数尚未明确，缺乏统一、规范化的干预方案。仍有患者和相关学者质疑CIMT的疗效，现有研究结论尚不一致，且不同分期的疗效比较研究较少见，缺乏长期随访结果，与运动功能相关的潜在机制也尚不完全清楚。此外，患肢的使用会提高参与度和积极性，而健侧肢体限制时间过长会降低患者依从性，甚至产生抵触情绪，故需制定个性化干预方案。因此，未来应开展不同分期及不同参数的比较研究，系统比较其疗效差异，确定最佳的参数组合及干预时机，并观察远期影响。同时，建议进行动物模型研究与临床观察研究，探究CIMT在功能恢复、神经重塑等方面的具体作用机制。在治疗策略方面，也要积极探索CIMT与脑机接口、非侵入性脑刺激、机器人辅助训练等康复疗法的联合应用模式，发挥协同增效作用，从而实现CIMT在脑卒中不同分期的运动康复中更广泛的临床应用。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 张贝贝：研究思路设计、文献检索与资料获取、撰写

初稿、修改与定稿：冯晓东、张铭、任彬彬、任亚锋：研究思路与写作指导、润色与审订；马鹤彩、苟家斌：参与论文设计、文献检索与文章校对

参 考 文 献

[1] Li JX, Gao KY, Wang LL, et al. Astrocytes: therapeutic targets for stroke[J]. Neural Regen Res, 2026, 21(3): 1074-1088.

[2] Chao FF, Duan XY, Kang YJ, et al. Home-based rehabilitation nursing for post-stroke motor dysfunction: an evidence summary[J]. BMC Nurs, 2025, 25(1): 19.

[3] Tedla JS, Gular K, Reddy RS, et al. Effectiveness of constraint-induced movement therapy (CIMT) on balance and functional mobility in the stroke population: a systematic review and meta-analysis[J]. Healthcare (Basel), 2022, 10(3): 495.

[4] Taub E, Uswatte G, Mark VW, et al. The learned nonuse phenomenon: implications for rehabilitation[J]. Eura Medicophys, 2006, 42(3): 241-256.

[5] Reddy RS, Gular K, Dixit S, et al. Impact of constraint-induced movement therapy (CIMT) on functional ambulation in stroke patients-a systematic review and meta-analysis[J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(19): 12809.

[6] Kwakkel G, Veerbeek JM, van Wegen EE, et al. Constraint-induced movement therapy after stroke[J]. Lancet Neurol, 2015, 14(2): 224-234.

[7] Corbetta D, Sirtori V, Castellini G, et al. Constraint-induced movement therapy for upper extremities in people with stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2015, 2015(10): CD004433.

[8] Lamb D, Hill JE, Santos R. Constraint-induced movement therapy following stroke: a commentary[J]. Br J Neurosci Nurs, 2024, 20(6): 257-261.

[9] Taub E, Uswatte G, Mark VW. The functional significance of cortical reorganization and the parallel development of CI therapy[J]. Front Hum Neurosci, 2014, 8: 396.

[10] 刘 佳, 倪 娟, 皮希凤, 等. 强制性运动疗法在脑卒中偏瘫康复治疗中的研究进展[J]. 中国现代医生, 2021, 59(31): 182-187.
Liu J, Ni J, Pi XF, et al. Research progress of constraint-induced movement therapy in rehabilitation of cerebral apoplexy hemiplegia[J]. China Mod Doctor, 2021, 59(31): 182-187.

[11] Wang D, Li LJ, Pan HX, et al. Comparison of the effects of constraint-induced movement therapy and unconstraint exercise on oxidative stress and limb function: a study on human patients and rats with cerebral infarction[J]. Brain Sci, 2023, 13(1): 4.

[12] Liu J, Wang ZZ, Wang C, et al. Interventional effects of modified constraint-induced movement therapy on upper limb function in patients who had a stroke: systematic review and meta-analysis[J]. BMJ Open, 2025, 15(5): e094309.

[13] Rumajogee P, Altamentova S, Li JY, et al. Constraint-induced movement therapy (CIMT) and neural precursor cell (NPC) transplantation synergistically promote anatomical and functional recovery in a hypoxic-ischemic mouse model[J]. Int J Mol Sci, 2024, 25(17): 9403.

[14] Zhao SS, Zhao M, Xiao T, et al. Constraint-induced movement therapy overcomes the intrinsic axonal growth-inhibitory signals in stroke rats[J]. Stroke, 2013, 44(6): 1698-1705.

[15] Zhai ZY, Feng J. Constraint-induced movement therapy enhances angiogenesis and neurogenesis after cerebral ischemia/reperfusion[J]. Neural Regen Res, 2019, 14(10): 1743-1754.

[16] Li C, Zhang B, Zhu YL, et al. Post-stroke constraint-induced movement therapy increases functional recovery, angiogenesis, and neurogenesis with enhanced expression of HIF-1α and VEGF[J]. CNR, 2018, 14(4): 368-377.

[17] Gao BY, Ge RD, Xing Y, et al. Modified constraint-induced movement therapy improves functional recovery after ischemic stroke and its impacts on exosome-derived microRNAs[J]. Am J Transl Res, 2026, 18(1): 248-264.

[18] Hu J, Liu PL, Hua Y, et al. Constraint-induced movement therapy enhances AMPA receptor-dependent synaptic plasticity in the ipsilateral hemisphere following ischemic stroke[J]. Neural Regen Res, 2021, 16(2): 319-324.

[19] Hu J, Li C, Hua Y, et al. Constraint-induced movement therapy improves functional recovery after ischemic stroke and its impacts on synaptic plasticity in sensorimotor cortex and hippocampus[J]. Brain Res Bull, 2020, 160: 8-23.

[20] Nesin SM, Sabitha KR, Gupta A, et al. Constraint induced movement therapy as a rehabilitative strategy for ischemic stroke: linking neural plasticity with restoration of skilled movements[J]. J Stroke Cerebrovascular Dis, 2019, 28(6): 1640-1653.

[21] Zhang AJ, Xing Y, Zheng JY, et al. Constraint-induced movement therapy modulates neuron recruitment and neurotransmission homeostasis of the contralesional cortex to enhance function recovery after ischemic stroke[J]. ACS Omega, 2024, 9(19): 21612-21625.

[22] Liu PL, Li C, Zhang B, et al. Constraint induced movement therapy promotes contralesional-oriented structural and bihemispheric functional neuroplasticity after stroke[J]. Brain Res Bull, 2019, 150: 201-206.

[23] Liu PL, Hu J, Gao BY, et al. Constraint-induced movement therapy promotes contralesional red nucleus plasticity and increases bilateral motor cortex-to-red nucleus projections after a large-area stroke [J]. Behav Neurol, 2025, 2025(1): 3631524.

[24] Yu CS, Wang WJ, Zhang Y, et al. The effects of modified constraint-induced movement therapy in acute subcortical cerebral infarction[J]. Front Hum Neurosci, 2017, 11: 265.

[25] Ro T, Noser E, Boake C, et al. Functional reorganization and recovery after constraint-induced movement therapy in subacute stroke: case reports[J]. Neurocase, 2006, 12(1): 50-60.

[26] Wang WQ, Wang AH, Yu LM, et al. Constraint-induced movement therapy promotes brain functional reorganization in stroke patients with hemiplegia[J]. Neural Regen Res, 2012, 7(32): 2548-2553.

[27] Könönen M, Tarkka IM, Niskanen E, et al. Functional MRI and motor behavioral changes obtained with constraint-induced movement therapy in chronic stroke[J]. Eur J Neurol, 2012, 19(4): 578-586.

[28] Gauthier LV, Taub E, Perkins C, et al. Remodeling the brain: plastic structural brain changes produced by different motor therapies after stroke[J]. Stroke, 2008, 39(5): 1520-1525.

[29] 郭振兴, 曾子妹, 黄艳君. 双位点经颅磁刺激技术联合改良强制性运动疗法在缺血性脑卒中后偏瘫患者日常康复中的应用效果

[J]. 中国医学创新,2026,23(18):148-153.

Guo ZX, Zeng ZM, Huang YJ. Application effect of dual-site transcranial magnetic stimulation technology combined with modified constraint-induced movement therapy in the daily rehabilitation of hemiplegic patients after ischemic stroke[J]. Med Innov China, 2026, 23(18): 148-153.

[30] Psychouli P, Mamais I, Anastasiou C. An exploration of the effectiveness of different intensity protocols of modified constraint-induced therapy in stroke: a systematic review[J]. Rehabil Res Pract, 2023, 2023: 6636987.

[31] Gao Q, Zhang YS, Long JZ, et al. Effect of different constraint-induced movement therapy protocols on recovery of stroke survivors with upper extremity dysfunction: a systematic review and network meta-analysis[J]. Int J Rehabil Res, 2023, 46(2): 133-150.

[32] Zhang JM, Xiao XJ, Jin QZ, et al. The effect and safety of constraint-induced movement therapy for post-stroke motor dysfunction: a meta-analysis and trial sequential analysis[J]. Front Neurol, 2023, 14: 1137320.

[33] Abdullahi A, Candan SA, Soysal Tomruk M, et al. Constraint-induced movement therapy protocols using the number of repetitions of task practice: a systematic review of feasibility and effects[J]. Neurol Sci, 2021, 42(7): 2695-2703.

[34] Waddell KJ, Birkenmeier RL, Moore JL, et al. Feasibility of high-repetition, task-specific training for individuals with upper-extremity paresis[J]. Am J Occup Ther, 2014, 68(4): 444-453.

[35] El-Helow MR, Zamzam ML, Fathalla MM, et al. Efficacy of modified constraint-induced movement therapy in acute stroke[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2015, 51(4): 371-379.

[36] Treger I, Aidinof L, Lehrer H, et al. Modified constraint-induced movement therapy improved upper limb function in subacute poststroke patients: a small-scale clinical trial[J]. Top Stroke Rehabil, 2012, 19(4): 287-293.

[37] Yang YK, Lin CY, Chen PH, et al. Timing and dose of constraint-induced movement therapy after stroke: a systematic review and meta-regression[J]. J Clin Med, 2023, 12(6): 2267.

[38] Grefkes C, Fink GR. Recovery from stroke: current concepts and future perspectives[J]. Neurol Res Pract, 2020, 2(1): 17.

[39] Qiao CY, Liu ZJ, Qie SY. The implications of microglial regulation in neuroplasticity-dependent stroke recovery[J]. Biomolecules, 2023, 13(3): 571.

[40] Liu Y, Yin J, Lee J, et al. Early rehabilitation after acute stroke: the golden recovery period[J]. Acta Neurol Taiwanica, 2022: 1-8.

[41] Liu XH, Bi HY, Cao J, et al. Early constraint-induced movement therapy affects behavior and neuronal plasticity in ischemia-injured rat brains[J]. Neural Regen Res, 2019, 14(5): 775-782.

[42] Garrido M M, Álvarez E E, Acevedo P F, et al. Early transcranial direct current stimulation with modified constraint-induced movement therapy for motor and functional upper limb recovery in hospitalized patients with stroke: a randomized, multicentre, double-blind, clinical trial[J]. Brain Stimul, 2023, 16(1): 40-47.

[43] Dromerick AW, Lang CE, Birkenmeier RL, et al. Very early constraint-induced movement during stroke rehabilitation (VECTORS): a single-center RCT[J]. Neurology, 2009, 73(3): 195-201.

[44] Marklund I, Sefastsson A, Fure B, et al. Lower-extremity constraint-induced movement therapy improved motor function, mobility, and walking after stroke[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2023, 59(2): 136-144.

[45] Sefastsson A, Marklund I, Littbrand H, et al. Positive effects of lower extremity constraint-induced movement therapy on balance, leg strength and dual-task ability in stroke patients: a longitudinal cohort study[J]. J Rehabil Med, 2024, 56: jrm24168.

[46] E Silva EMGS, Ribeiro TS, da Silva TCC, et al. Effects of constraint-induced movement therapy for lower limbs on measurements of functional mobility and postural balance in subjects with stroke: a randomized controlled trial[J]. Top Stroke Rehabil, 2017, 24(8): 555-561.

[47] 董观记,马 慧,李昌欣,等.虚拟现实技术及强制性运动疗法对脑卒中偏瘫患者康复效果的影响[J].检验医学与临床,2024,21(9):1321-1325.

Dong GJ, Ma H, Li CX, et al. Effect of virtual reality technology and compulsory exercise therapy on the rehabilitation effect of patients with stroke hemiplegia[J]. Lab Med Clinic, 2024, 21(9): 1321-1325.

[48] Bang DH, Shin WS, Choi SJ. The effects of modified constraint-induced movement therapy combined with trunk restraint in subacute stroke: a double-blinded randomized controlled trial[J]. Clin Rehabil, 2015, 29(6): 561-569.

[49] Seok H, Lee SY, Kim J, et al. Can short-term constraint-induced movement therapy combined with visual biofeedback training improve hemiplegic upper limb function of subacute stroke patients?[J]. Ann Rehabil Med, 2016, 40(6): 998-1009.

[50] Siebers A, Oberg U, Skargren E. The effect of modified constraint-induced movement therapy on spasticity and motor function of the affected arm in patients with chronic stroke[J]. Physiother Can, 2010, 62(4): 388-396.

[51] Kobari T, Murayama T, Matsuzawa K, et al. Effects of a treatment program based on constraint-induced movement therapy for the lower extremities on gait and balance in chronic stroke: a 6-month follow-up pilot study[J]. Int J Rehabil Res, 2023, 46(2): 187-192.

[52] Menezes-Oliveira E, da Silva Matuti G, de Oliveira CB, et al. Improvement of gait and balance function in chronic post-stroke patients induced by *Lower Extremity-Constraint Induced Movement Therapy*: a randomized controlled clinical trial[J]. Brain Inj, 2024, 38(7): 559-568.

[53] Alaca N, Öcal NM. Proprioceptive based training or modified constraint-induced movement therapy on upper extremity motor functions in chronic stroke patients: A randomized controlled study[J]. NeuroRehabilitation, 2022, 51(2): 271-282.

(**收稿**:2026-07-04;**修回**:2026-09-24;**录用**:2026-10-10)

(责任编辑:曾 玲)

本文引用格式:

张贝贝,冯晓东,张铭,等.强制性运动疗法在脑卒中不同分期运动功能恢复中的应用进展[J].重庆医科大学学报,XXXX,XX(XX):1-6.