

脑卒中后失语症康复治疗研究进展

肖柱, 苏怡, 高奥, 王红*

暨南大学附属第一医院康复科, 广东 广州

收稿日期: 2026年5月25日; 录用日期: 2026年6月18日; 发布日期: 2026年6月26日

摘要

脑卒中后失语症(post-stroke aphasia, PSA)是脑卒中常见并发症之一, 严重影响患者语言交流能力及生活质量。目前传统治疗主要包括言语语言治疗、针灸治疗等, 但部分患者恢复效果仍不理想。近年来, 随着神经调控技术、智能康复技术和神经影像学技术的发展, 经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)、经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)、脑机接口(brain-computer interface, BCI)、人工智能辅助语言康复等新型治疗技术在脑卒中后失语症的康复治疗中取得疗效并取得新进展。本文对脑卒中后失语症的发病机制及近年来新型治疗技术的研究新进展进行综述, 以期为临床治疗提供参考。

关键词

脑卒中后失语症, 康复治疗, 神经调控, 研究进展

Advances in Rehabilitation Treatment for Post-Stroke Aphasia

Zhu Xiao, Yi Su, Ao Gao, Hong Wang*

Department of Rehabilitation, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou Guangdong

Received: May 25, 2026; accepted: June 18, 2026; published: June 26, 2026

Abstract

Post-stroke aphasia (PSA) is a common complication of stroke that severely affects patients' linguistic communication abilities and quality of life. Current conventional treatments primarily include speech-language therapy and acupuncture; however, recovery outcomes remain suboptimal for some patients. In recent years, with advancements in neuromodulation techniques, intelligent rehabilitation technologies, and neuroimaging, novel therapeutic approaches—such as repetitive transcranial magnetic

*通讯作者。

stimulation (rTMS), transcranial direct current stimulation (tDCS), brain-computer interface (BCI), and artificial intelligence-assisted language rehabilitation—have achieved therapeutic efficacy and yielded new progress in the rehabilitation of post-stroke aphasia. This review summarizes the pathogenesis of post-stroke aphasia and recent advances in emerging therapeutic techniques, aiming to provide a reference for clinical practice.

Keywords

Post-Stroke Aphasia, Rehabilitation Treatment, Neuromodulation, Research Progress

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脑卒中是导致全球人口残疾和死亡的主要原因之一，急性期失语症的发生率约为 20%~40% [1] [2]。脑卒中后失语症是指因脑组织损伤累及语言中枢，导致语言表达、理解、阅读及书写能力受损的神经系统功能障碍[3] [4]。失语症不仅严重损害患者的日常交流能力，还会显著降低其社会参与度和生活质量，同时给家庭照护及社会医疗系统带来沉重负担[5] [6]。目前，脑卒中后失语症的康复治疗仍以言语语言治疗为基础，辅以药物干预。近年来，随着神经影像学 and 神经调控技术的快速发展，多种新型治疗技术逐渐应用于该领域[7] [8]。这些技术包括经颅磁刺激、经颅直流电刺激、人工智能辅助语言康复及脑机接口技术等。这一趋势标志着失语症康复治疗正经历从“经验驱动”向“机制驱动”的范式转变[9]。这些新技术通过促进神经可塑性和语言网络重组，在一定程度上有助于改善患者的语言功能，已成为近年来研究的热点。本文旨在对脑卒中后失语症治疗的最新研究进展进行综述。

2. 脑卒中后失语症的发病机制

语言功能主要由左侧大脑半球的 Broca 区(布罗卡区)、Wernicke 区(韦尼克区)以及它们之间连接的弓状束(Arcuate Fasciculus)共同完成[10] [11]。当脑卒中导致这些区域或其连接纤维受损时，即可引起不同类型的失语症。然而，随着神经影像学的发展，研究发现语言功能不仅依靠单一脑区，还依赖整个神经网络系统，其恢复与神经可塑性密切相关[12]。目前脑卒中后语言功能恢复机制主要分两点，第一损伤区周围皮层的功能重组假说[13]。Singh [14]的研究已经证实，在病灶周围区进行的康复靶向神经调节技术对失语症的恢复是有效的。另一机制是对侧半球同源区域的代偿[12] [15]。目前基于这一机制存在两种假说，一方面，优势半球受损后，其对侧镜像区会出现代偿性激活，以部分替代受损的语言功能[13]；另一方面，若大脑右半球同源脑区出现过度活跃，则可能干扰并抑制左半球语言网络的功能重组，从而阻碍恢复进程[16]。因此，通过神经调控技术调节半球间平衡，促进优势半球语言网络的重建，成为当前研究的重要方向。

3. 治疗方法

3.1. 传统康复治疗方式

3.1.1. 言语和语言治疗(Speech-Language Therapy, SLT)

言语和语言治疗是指针对发声器官功能障碍(如构音、流畅性、发声异常)和针对大脑语言符号系统功

能障碍(如理解、表达、阅读、书写障碍)进行干预的治疗方式,是常见的治疗卒中后失语的康复方法,旨在帮助患者尽早恢复日常言语交流。有研究表明,与缺乏 SLT 的患者相比,SLT 在言语表达、书写、阅读方面都存在较大益处[17]。SLT 目前尚没有明确的治疗强度和治疗方案。但有研究表明,与长期低频干预相比,短期集中的高强度 SLT 对失语症恢复更具优势;其中卒中后患者对长时间高强度治疗的耐受性及获益程度存在个体差异,有研究提示过长时间的高强度训练并不带来额外改善[18]。SLT 有多种治疗方法,其中常见的有强化综合失语症计划(intensive comprehensive aphasia programme, ICAP)和多模式失语症治疗(multi-modality aphasia therapy, M-MAT)等方法。强化综合失语症计划(ICAP)主要以语言障碍治疗(language impairment-based therapy, LIBT)为主要特征,针对轻至中度失语症患者的受损语言功能进行渐进式、高强度的康复训练。LIBT 作为一种基础性治疗方式,可适用于疾病各阶段(从亚急性期至慢性期)的各种类型失语症[18]。在具体治疗时,ICAP 可运用计算机程序、心理教育技术及小组活动等多种治疗手段,以实现多方面的言语功能训练[19]。

多模式失语症治疗(multi-modality aphasia therapy, M-MAT)是基于非语言交流策略的辅助和替代沟通(augmentative and alternative communication, AAC),利用各种沟通策略,提高患者交流能力,在早期严重失语和晚期慢性失语都能使用。该方法对于治疗严重的运动性失语和/或经皮质感觉性失语有疗效,尤其是严重运动性失语效果明显,对于感觉性失语有一定疗效[20]。目前言语语言治疗已有多种治疗方法,但目前大多数临床研究仅证实了这些方法与未接受 SLT 治疗的患者相比具有积极效果,尚未表明其中某种方案具有最佳疗效[20] [21]。

SLT 及其衍生治疗方案虽然是 PSA 康复的基础,但仍存在治疗方案异质性较大、最佳治疗剂量和强度尚未统一、疗效受患者病灶部位、认知水平、疲劳程度及家庭支持影响明显等问题。高强度训练对部分患者可能带来疲劳和依从性下降,而低频低剂量训练又可能难以形成足够的经验依赖性神经可塑性。因此,未来需结合失语类型、病程阶段和神经影像学特征进一步开展分层干预研究。

3.1.2. 强制性失语治疗(Constraint-Induced Therapy, CIAT)

CIAT 是一种强制使用言语训练而不使用非言语治疗的治疗方式。Pulvermüller 等最早使用该方式治疗保留部分言语功能的卒中后失语症患者,并取得一定疗效[22]。目前 CIAT 没有一个特定标准。目前部分研究治疗时间通常是每天进行 3~4 小时,持续数天至数周[23]。对于 CIAT 的疗效对比发现,CIAT 在一些言语功能的疗效上相较于传统 SLT 疗效效果明显。Wang G, Ge L 等的研究指出,CIAT 与传统 SLT 治疗比较,AQ 提升幅度通常在 10~20 分之间,显著高于传统低强度对照组[24]。在不同时间段使用不同方法可能治疗效果不同,在早期进行 CIAT 治疗,后期进行传统 SLT 治疗,能在一定程度改善脑卒中患者失语[25]。但该类研究仍然存在局限性,对于重度失语患者效果不佳,还需更多技术应用来治疗卒中后失语。

CIAT 强调限制非语言策略并强化口语输出,其优势在于可通过高强度、任务导向训练促进残存语言网络的使用依赖性重组;但该方法对患者保留的口语基础、注意力和耐受性要求较高,重度失语、明显听理解障碍或合并严重认知障碍者常难以完成训练。目前 CIAT 的训练时长、频率和适应证尚未完全标准化,且多数研究样本量有限,长期随访资料不足。

3.1.3. 针灸疗法

脑卒中导致失语是因为损伤语言控制相应脑区,导致患者听、说、读、写等功能受影响。失语症在现代医学中称为“不语”,而在中医学领域归属于“暗瘖”“言蹇”等范畴。经过长期的临床实践与理论积淀,中医学对此病形成了深刻的认识[26]。针灸治疗失语症的类型有很多,如舌针、体针、头针、电针等。不同的模式所选的穴位可能不一样。目前临床使用频率较高的穴位包括:廉泉(RN23)、金津(EX-

HN12)、玉液(EX-HN13)、通里(HT5)、风池(GB20)、内关(PC6)、百会(DU20)、第一语言区、第二语言区、第三语言区、三阴交(SP6)、哑门(DU15)、足三里(ST36)及上廉泉(LI9) [27]。王启秀[28]等研究说明, 针灸通过一些特定针灸的针法和穴位, 可能通过激活与语言功能相关的大脑区域(如 Broca 区)来改善语言功能。所以针灸对于失语治疗已经广泛在临床应用, 并且有一定疗效。目前国际指南推荐使用针灸作为治疗卒中后失语症手段之一。

虽然针灸治疗具有操作相对简便、患者接受度较高和可与常规语言训练联合应用等优势, 但现有研究仍存在穴位组合、针刺手法、疗程设置不统一以及安慰针和盲法设计困难等问题。其作用机制多被解释为调节脑血流、改善局部代谢、激活语言相关皮层或促进网络连接重塑, 但仍需更多基于 fMRI、fNIRS 或脑电等客观指标的高质量随机对照研究予以验证。

4. 神经调控技术

神经调控技术是通过直接或者间接方式对大脑皮层进行刺激, 达到兴奋、抑制或调节作用, 是一种自上而下的调控方式。近年来, 比较热门的神经调控技术包括经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)和经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)。这些技术在脑卒中失语症早期及恢复期的康复应用中均被证实具有显著疗效[29]。目前神经调控技术正随着神经影像学发展, 从传统干预刺激向精准康复实践。

4.1. 经颅磁刺激(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)

经颅磁刺激(TMS)是一种磁刺激技术, 通过磁场在皮层组织中诱发感应电流, 并根据频率高低(低频抑制/高频兴奋)精准调节皮层兴奋性。TMS 的调控效果与它的频率有关, 目前普遍以“低频抑制, 高频兴奋”理论为基础。其中具体参数为低频(≤ 1 Hz)刺激可抑制皮层兴奋性, 高频(≥ 5 Hz)刺激则增强皮层兴奋性[30]。TMS 对于失语症的治疗目前主要是基于半球间抑制失衡模型(interhemispheric inhibition model), 左侧半球损伤后, 右侧半球同源区域可能出现过度兴奋, 阻碍左侧语言网络的恢复。一种方式是低频抑制右侧半球语言同源区(如右侧额下回、颞上回后部), 减轻对左侧的跨胼胝体抑制。另一种是高频兴奋左侧半球残存语言区, 促进局部神经可塑性。从神经恢复机制角度来看, rTMS 治疗脑卒中后失语症的作用基础主要涉及病灶周围皮层功能重组与半球间抑制平衡调节两个方面。高频 rTMS 作用于左侧病灶周围皮层或残存语言相关区域时, 可通过诱导类似长时程增强(long-term potentiation, LTP)的突触可塑性效应, 提高局部皮层兴奋性及神经传递效率, 进而增强残存 Broca 区、Wernicke 区及其相关语言网络之间的功能连接, 促进病灶周围皮层对受损语言功能的代偿性重组。相比之下, 低频 rTMS 作用于右侧额下回、颞上回等同源语言区域时, 可降低右半球异常增高的皮层兴奋性, 减弱其对左侧优势半球语言网络的跨胼胝体抑制作用, 从而有助于恢复双侧半球间兴奋-抑制平衡。由此可见, 高频刺激左侧残存语言网络与低频抑制右侧同源语言区虽在刺激靶点和调控方向上存在差异, 但二者均以促进优势半球语言网络重建和优化双侧半球功能协调为核心机制, 为 rTMS 改善脑卒中后失语症提供了重要的神经生物学基础。浦创[31]等人研究显示, 无论低频抑制右侧还是高频兴奋左侧, 对脑卒中后轻、中度运动性失语而言, 高频 rTMS 刺激左侧与低频 rTMS 刺激右侧的效果相当。除了单一 TMS 治疗外, 目前 TMS 与其他治疗方式联合治疗失语症为多数研究者探究。郭华平[32]等人研究低频重复经颅磁刺激联合旋律音调疗法治疗卒中后失语, 得出联合治疗比单一 TMS 治疗在 WAB 量表各项评分(自发言语、理解、复述、命名)及失语商(AQ)得分均更高。Low T.A. [33]发表的一篇关于 rTMS 联合多模式失语症疗法(M-MAT)文章结果显示, 联合治疗组患者在找词困难、句子完整性和流畅性方面表现更优。目前除了联合治疗外, 随着神经影像学的发展, 运用功能性磁共振动态分析, 理解脑区与功能连接之间的关系, 对于 TMS 治疗和了解脑

卒中失语症发病和恢复机制至关重要。Rui L [34]等研究结果显示,高频 rTMS 可有效调节左侧 DLPFC 与相关网络的区间连接。由“传统干预”向“精准实践”转变是目前康复领域 TMS 治疗卒中后失语症的新趋势。

与第二部分提出的神经恢复机制相联系, rTMS 的核心作用可概括为“促进优势半球重组”和“调节半球间失衡”两个方面。高频 rTMS 刺激左侧病灶周围皮层或残存语言区,可通过类似长时程增强(long-term potentiation, LTP)的效应提高局部皮层兴奋性,增强突触传递效率,从而促进病灶周围语言网络的功能重组;低频 rTMS 刺激右侧额下回或其他同源语言区,则可降低右半球过度代偿性激活,减轻其对左侧语言网络的跨胼胝体抑制,进而恢复半球间平衡。这一机制解释了为何低频右侧抑制和高频左侧兴奋均可能改善 PSA 患者语言功能。

目前虽然 rTMS 作为一种新型神经调控技术,在改善 PSA 患者失语疗效明显,但是 rTMS 的临床推广仍面临若干问题。首先,不同研究在刺激频率、强度、靶点、疗程及联合治疗方式上差异较大,导致结果可比性不足;其次,PSA 患者病灶位置、残存语言网络和病程阶段差异明显,统一刺激方案难以适用于所有患者;再次,TMS 设备成本较高,对操作者培训、禁忌证筛查和安全监测要求较高。虽然严重不良反应少见,但仍需关注癫痫风险、头痛、局部不适及患者耐受性。

4.2. 经颅电刺激(Transcranial Electrical Stimulation, tES)

经颅电刺激(transcranial electrical stimulation, tES)是一类通过头皮电极施加微弱电流以调节大脑皮层兴奋性的非侵入性脑刺激技术。它直接通过电极向颅脑施加电刺激,具有设备便携、成本低廉、安全性高等优势[30]。目前运用较多的 tES 是经颅直流电(tDCS),它是以微弱恒定的电流调节大脑皮层的神经兴奋性。

tDCS 的神经调控作用呈现极性依赖性特征:阳极刺激(anodal tDCS)使神经元膜电位去极化,提高皮层兴奋性;阴极刺激(cathodal tDCS)使膜电位超极化,降低皮层兴奋性[30]。在治疗卒中后失语中,tDCS 具有“阳极兴奋,阴极抑制”理论基础。Wang H [35]等的研究对 400 例卒中后失语症患者进行荟萃分析,证实阳极 tDCS 刺激能显著改善命名障碍,在慢性期卒中患者获益更为显著。传统 tDCS 研究主要聚焦于左侧半球皮层语言区。然而,卒中后脑损伤区域的脑软化和积液可能干扰电流传导影响刺激效果[36]。随着神经影像学的发展,近期 tDCS 比较热门的研究是刺激靶点选择,开始从皮层靶点转向小脑靶点进行探究。功能神经影像研究显示,右侧后外侧小脑(right posterolateral cerebellum)在语言任务中存在激活,参与流畅性、句法和语音记忆等高级语言过程。小脑主要是通过交叉的脑-小脑通路(经桥脑核、小脑脚、丘脑)与左侧半球语言区形成闭环连接[36] [37]。Xu X, Chen S [37]等人的随机对照试验显示,小脑阴极经颅直流电刺激联合言语治疗改善了卒中后失语症的语言评分,对失语症的治疗有效,并且 fNIRS 显示右侧半球连接性降低,左侧半球连接性增强,表明存在功能重组。tDCS 应用于小脑,可能通过调节脑功能连接,改善卒中后失语症患者的语言表现。目前具体机制尚不明确,还需进一步研究,小脑靶点作为 tDCS 新靶点治疗卒中后失语症有巨大潜力。

从神经恢复机制看,阳极 tDCS 作用于左侧病灶周围语言皮层时,可通过神经元膜电位去极化提高残存网络兴奋性,为经验依赖性语言训练创造更有利的可塑性窗口;阴极 tDCS 作用于右侧半球同源区或小脑靶点时,则可能通过降低异常兴奋、调节脑-小脑-丘脑-皮层环路以及改善双侧语言网络功能连接,促进左侧优势语言网络的再组织。尤其是小脑靶点的研究提示,PSA 康复不仅涉及皮层语言区本身,也与跨区域网络调节和功能连接重建密切相关。

目前 tDCS 治疗卒中后失语具有设备便携、成本相对较低和安全性较好的优势,但其电流分布易受颅骨厚度、脑脊液、脑软化灶及电极位置影响,实际刺激靶区和剂量具有个体差异。小脑 tDCS 虽为新兴方

向,但目前样本量仍有限,最佳极性、靶点、疗程以及与 SLT 联合的时间窗尚未明确。此外,tDCS 疗效通常依赖同步语言训练,其单独治疗价值和长期维持效果仍需进一步验证。

另一种 tES 模式是经颅交流电刺激(transcranial alternating current stimulation, tACS),它通过在头皮上施加振荡性交变电流(通常为正弦波),以特定频率调节大脑皮层神经活动。与经颅直流电刺激(tDCS)施加恒定电流不同,tACS 的电流强度随时间呈周期性变化,使其能够与大脑内源性的神经振荡产生交互。这种独特的神经振荡交互效应,可以使大脑在刺激结束后,其神经生理和行为效应仍可持续存在一段时间[38][39]。目前对于 tACS 治疗卒中后失语症主要在于它不同的频率选择。不同认知功能对应不同频段的神经振荡。有研究显示 θ 波段(4~8 Hz) tACS 同相位刺激能够提高语音短时记忆容量,增强大脑语言功能的连接[40]。另外一项 75 Hz 高 γ 波段 tACS 对卒中后失语症的疗效研究显示,与对照组相比,经高 γ 波段 tACS 治疗的语言处理能力显著增强,这可能机制是诱导运动皮层可塑性,可能对语言功能产生影响[41]。另一项关于 α 波段 tACS 对健康老年人词汇提取能力研究显示,干预前后老年人词汇提取显著增强[42]。不同的刺激频率可能有不同的言语功能改变,但已经证实 tACS 治疗语言障碍的独特优势。随着神经影像学发展,tACS 最前沿聚焦于高精度 tACS、个性化、精准化康复治疗模式。目前此类研究正在探索中,样本量较少,此类研究存在巨大潜力。

tACS 与第二部分所述语言网络恢复机制的联系主要体现在神经振荡调控和网络同步化。语言理解、词汇提取、语音短时记忆等过程依赖多个脑区在特定频段上的协调活动。tACS 可通过神经夹带(neural entrainment)使外源性交流电频率与内源性神经振荡发生同步,从而调节 θ 、 α 或 γ 等频段活动,增强语言相关脑区之间的相位一致性和功能连接。由此,tACS 并非单纯提高或降低某一皮层兴奋性,而是通过重塑语言网络的节律性协同活动,促进受损语言网络向更有效的连接模式恢复。

目前基于神经振荡调控的理论优势为 tACS 应用于卒中后失语症(PSA)的康复提供了充分的生理学依据,但从机制验证向临床转化仍需面对诸多尚未解决的技术与方法学问题。目前 tACS 用于 PSA 治疗仍处于探索阶段,现有研究多为小样本或可行性研究,刺激频率、相位、靶点和疗程缺乏统一标准。由于不同患者语言网络受损模式及内源性脑振荡频率存在差异,固定频率刺激可能无法获得最佳疗效;同时,头皮刺激电流存在扩散效应,实际调控网络较难精确界定。未来需结合个体化脑电/功能连接特征,开展更大样本、长期随访和机制指标同步评估的临床研究。

5. 脑机接口技术

脑机接口 (Brain-Computer Interface, BCI)是一种直接连接大脑和外部设备的通信渠道[6]。通过大脑活动(如神经电信号)来控制计算机、机械臂或其他外部设备,而无需依赖传统的肌肉或神经通路,为患者提供新的交流和行动能力[43]。目前运用在卒中后失语中最广的是非侵入性脑机接口技术,BCI 系统通过检测患者大脑皮层产生的脑电特征变化,将想象或者言语意图转化为控制指令,驱动计算机等外部设备形成“中枢-外周-中枢”的闭环训练模式辅助患者完成目标动作[44]。BCI 目前主要的范式有运动想象范式、视觉 P300 范式等。Ren W.等人运用 BCI 视觉 P300 范式治疗卒中后失语症研究显示,该范式在提升命名和句子复述技能方面已取得疗效[45]。另一项基于对神经反馈、视觉 P300、听觉 P300 范式三种 BCI 技术比较,结果显示,这三种技术是传统语言训练的可行治疗替代方案。特别是,听觉 P300 在失语症患者的康复方面被证明在统计学上优于视觉 P300 [46]。随着神经影像学发展,有研究者实验结果显示,基于 BCI 的神经反馈训练可强化语言网络功能连接,促进双侧半球网络的功能再平衡[47]。也有研究者提出,将 BCI 技术与其他技术联合治疗卒中后失语。例如 BCI-VR 相结合,目前有研究显示联合能增强患者的参与度和治疗依从性,同时提供更丰富的反馈形式。另一方面,BCI 也可以与经颅磁刺激(TMS)、经颅直流电刺激(tDCS)等非侵入性脑刺激技术联合应用,这一具有创新性的新颖方式正在探索中。

从神经恢复角度看, BCI 的价值在于建立“脑活动 - 外部反馈 - 行为训练”的闭环。患者在尝试命名、复述或语言相关想象任务时, 系统实时捕捉残存语言网络或相关认知控制网络的活动, 并通过视觉、听觉或虚拟现实反馈强化正确的神经活动模式。该过程可被视为一种基于神经反馈的经验依赖性可塑性训练, 有助于增强病灶周围区及双侧语言网络之间的有效连接, 并可能通过反复闭环强化促进半球间功能再平衡。上述闭环机制的有效运行, 高度依赖于 BCI 系统对语言相关神经信号的精准解码能力以及与匹配的训练范式设计, 这构成了从神经可塑性理论向临床转化应用的关键技术桥梁。

目前 BCI 技术对信号采集质量、算法稳定性、患者注意力和训练配合度要求较高, 实际应用中容易受到头皮阻抗、肌电伪迹、疲劳和认知负荷等因素影响。失语症患者语言意图解码较运动意图更复杂, 目前多集中于小样本探索, 疗效评价指标和训练范式尚未标准化。设备成本、训练时间、专业人员配置以及家庭场景下的可操作性, 也是限制其临床普及的重要因素。

6. 人工智能辅助语言康复

人工智能辅助语言康复(AI-assisted Language Rehabilitation)是指将人工智能技术整合到失语症康复治疗中, 通过智能算法实现治疗个性化、剂量精准化和评估自动化的新型康复模式。人工智能辅助语言康复机制主要依靠的是它的自适应算法、机器学习预测模型、自然语言处理三大核心理论系统, 它先根据患者的实时表现动态调整治疗内容, 进行下一步预设的进展规则, 自动决定下一步是升级到更难任务、降级到更易任务、还是重复当前任务。对于新患者, 可以根据以往的数据大模型预测患者从当前功能水平提升至下一“功能里程碑”的概率。模型平均 F1 分数达到 0.84, 显示出可靠的预测性能[48]。目前有研究显示, AI 辅助康复技术成功实现了高强度干预。与传统每周 1~2 次门诊治疗相比, AI 系统支持患者每日居家自主训练, 实际治疗剂量显著提高。还发现 AI 辅助干预后患者的词汇提取能力改善幅度明显, 听觉理解能力亦有显著提高[49]。人工智能辅助语言康复技术是失语症康复领域的重大进展, 其核心价值在于: 通过自适应算法、机器学习预测和自然语言处理技术, 有效解决了传统康复中治疗强度不足的根本瓶颈。目前, AI 系统已从单纯的“干预工具”演进为集治疗、预测、评估于一体的“智能康复平台”, 已经成为一种全新手段。

AI 辅助语言康复虽不直接刺激大脑, 但其机制同样可回归第二部分所述的神经可塑性和网络重组。通过自适应算法持续调整任务难度、增加有效训练剂量并即时反馈, AI 系统可强化患者反复调用残存语言网络的过程, 促进经验依赖性突触可塑性和病灶周围功能重组; 同时, 机器学习模型可整合失语类型、病程、行为表现及潜在影像学特征, 预测患者对不同治疗方案的反应, 从而为精准选择 SLT、神经调控或联合治疗提供依据。

然而, 上述机制优势的充分发挥并非无条件的, AI 在语言康复中的实际效能受到技术、临床及社会等多重因素的制约。首先 AI 辅助康复并不能替代专业言语治疗师, 其疗效仍取决于训练内容质量、患者依从性、监督反馈和个体化处方设计。其次目前相关研究在算法透明度、外部验证、真实世界疗效、数据隐私与伦理规范方面仍需完善。并且不同地区患者对智能设备和网络资源的可及性差异, 也可能造成数字鸿沟。未来 AI 系统应更多与神经影像、脑电和行为学评估结合, 实现从“自动训练工具”向“机制导向的精准康复决策支持系统”转变。

7. 小结和展望

脑卒中后失语症的康复治疗正处于从“传统医学”向“精准医学”跨越的历史时期。传统行为语言治疗不断深化机制理解, 神经调控技术从经验刺激发展为靶向干预, 外周 - 中枢闭环策略带来理论创新与实践突破, 多模态整合干预证实协同效应, 替代与增强沟通技术从功能代偿转向沟通赋能。以行为语

言治疗为核心，根据患者个体特征整合神经调控、认知训练、运动训练和技术支持，并贯穿社会心理干预，是当前失语症康复的最佳实践路径。未来研究需聚焦于个体化方案的精准化、新型干预的临床转化、长期疗效的验证以及基层可及性的提升。

为增强临床可读性和批判性比较，我们从作用机制、证据成熟度、适用人群、优势、局限性及成本效益等维度对关键康复技术进行横向梳理，具体内容如表 1 所示。总体而言，传统 SLT 仍是基础治疗，新型神经调控、BCI 和 AI 技术更适合作为机制导向和精准康复框架下的增效手段。

Table 1. Transverse comparison of key rehabilitation techniques for aphasia after stroke

表 1. 脑卒中后失语症关键康复技术的横向比较

技术	作用机制	证据成熟度	适用人群	主要优势	局限性与成本效益
SLT/ICAP/ M-MAT	任务导向训练；经验依赖性可塑性	成熟；基础治疗	各期、各型 PSA，需分层	适用广；易联合	治疗师资源消耗大；剂量标准不一
CIAT	强制口语输出；减少非言语代偿	中等	轻中度、保留口语者	强度高；任务明确	重度或理解障碍者受限；负荷大
针灸	调节脑血流、脑区激活及网络连接	应用多；证据仍需提升	常规康复辅助治疗者	成本低；接受度较高	穴位/手法不统一；盲法困难
rTMS	高频左侧促 LTP 样效应；低频右侧调半球失衡	中等至较高	轻中度、靶点可定位者	靶向性较强；可联合 SLT	设备/人员成本高；需筛查安全风险
tDCS (含小脑)	调节皮层兴奋性及脑-小脑-皮层环路	中等；小脑靶点新兴	命名障碍、可同步训练者	便携；成本较低；安全性好	电流分布个体差异大；长期疗效待证实
tACS	神经夹带；调节 $\theta/\alpha/\gamma$ 振荡和网络同步	早期探索	适合个体化频率刺激研究者	可针对振荡节律调控	样本少；频率/相位/靶点未标准化
BCI	脑信号解码 + 反馈闭环；促进网络再平衡	早期至中等	可配合 P300/神经反馈者	闭环反馈强；可联合 VR/调控	设备算法成本高；语言意图解码复杂
AI 辅助 康复	自适应训练；提高剂量；预测疗效	新兴；证据增加	需居家高频训练和远程管理者	可及性强；评估自动化	依赖数据质量；隐私和解释性问题

参考文献

- [1] Lazar, R.M. and Boehme, A.K. (2017) Aphasia as a Predictor of Stroke Outcome. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, **17**, Article No. 83. <https://doi.org/10.1007/s11910-017-0797-z>
- [2] Weterings, R.P., Kessels, R.P., de Leeuw, F. and Piai, V. (2023) Cognitive Impairment after a Stroke in Young Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Stroke*, **18**, 888-897. <https://doi.org/10.1177/17474930231159267>
- [3] Knecht, S., Hesse, S. and Oster, P. (2011) Rehabilitation after Stroke. *Deutsches Ärzteblatt international*, **108**, 600-606. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2011.0600>
- [4] Le, H. and Lui, F. (2024) Aphasia. StatPearls Publishing.
- [5] Konishi, M., Funayama, M., Saito, F., et al. (2025) Exploring the Impact of Aphasia Severity on Employment, Social Participation, and Quality of Life.
- [6] Cséfalvay, Z., Čiernik Kevická, V. and Horňáková, M. (2025) Patient-Reported Impact of Aphasia after Stroke on Activities, Participation, and Emotional Well-Being: Results from the Aphasia Impact Questionnaire (AIQ-21). *Rehabilitácia*, **62**, 182-191.
- [7] 刘雪云, 柯俊, 李坦, 等. 卒中后失语症语言康复机制和治疗研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2018, 24(8): 23-

- 27.
- [8] Geranmayeh, F., Chau, T.W., Wise, R.J.S., Leech, R. and Hampshire, A. (2017) Domain-General Subregions of the Medial Prefrontal Cortex Contribute to Recovery of Language after Stroke. *Brain*, **140**, 1947-1958. <https://doi.org/10.1093/brain/awx134>
- [9] Hamilton, R.H. (2016) Neuroplasticity in the Language System: Reorganization in Post-Stroke Aphasia and in Neuro-modulation Interventions. *Restorative Neurology and Neuroscience*, **34**, 467-471. <https://doi.org/10.3233/rnn-169002>
- [10] Nunn, K. and Vallila-Rohter, S. (2023) Theory-Driven Treatment Modifications: A Discussion on Meeting the Linguistic, Cognitive, and Psychosocial Needs of Individual Clients with Aphasia. *Journal of Communication Disorders*, **103**, Article 106327. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2023.106327>
- [11] Mesulam, M.M. (1990) Large-Scale Neurocognitive Networks and Distributed Processing for Attention, Language, and Memory. *Annals of Neurology*, **28**, 597-613. <https://doi.org/10.1002/ana.410280502>
- [12] Kiran, S. and Thompson, C.K. (2019) Neuroplasticity in Aphasia: A Proposed Framework of Language Recovery. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, **62**, 3973-3985. https://doi.org/10.1044/2019_jslhr-l-rsnp-19-0054
- [13] Stockert, A., Wawrzyniak, M., Klingbeil, J., Wrede, K., Kümmerer, D., Hartwigsen, G., et al. (2020) Dynamics of Language Reorganization after Left Temporo-Parietal and Frontal Stroke. *Brain*, **143**, 844-861. <https://doi.org/10.1093/brain/awaa023>
- [14] Singh, T., Phillip, L., Behroozmand, R., Gleichgerrcht, E., Piai, V., Fridriksson, J., et al. (2018) Pre-Articulatory Electrical Activity Associated with Correct Naming in Individuals with Aphasia. *Brain and Language*, **177**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2018.01.002>
- [15] Schlaug, G. (2018) Even When Right Is All That's Left: There Are Still More Options for Recovery from Aphasia. *Annals of Neurology*, **83**, 661-663. <https://doi.org/10.1002/ana.25217>
- [16] Keser, Z., Sebastian, R., Hasan, K.M. and Hillis, A.E. (2020) Right Hemispheric Homologous Language Pathways Negatively Predicts Poststroke Naming Recovery. *Stroke*, **51**, 1002-1005. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.119.028293>
- [17] 蓝昕语, 解光免. 脑卒中后失语症的康复治疗研究现状及新进展[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(5): 708-712.
- [18] Bhogal, S.K., Teasell, R. and Speechley, M. (2003) Intensity of Aphasia Therapy, Impact on Recovery. *Stroke*, **34**, 987-993. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000062343.64383.d0>
- [19] Baliki, M.N., Babbitt, E.M. and Cherney, L.R. (2018) Brain Network Topology Influences Response to Intensive Comprehensive Aphasia Treatment. *Neuro Rehabilitation*, **43**, 63-76. <https://doi.org/10.3233/nre-182428>
- [20] Nenert, R., Allendorfer, J.B., Martin, A.M., Banks, C., Ball, A., Vannest, J., et al. (2017) Neuroimaging Correlates of Post-Stroke Aphasia Rehabilitation in a Pilot Randomized Trial of Constraint-Induced Aphasia Therapy. *Medical Science Monitor*, **23**, 3489-3507. <https://doi.org/10.12659/msm.902301>
- [21] Diener, B.L. and Bischof-Rosario, J.A. (2004) Determining Decision-Making Capacity in Individuals with Severe Communication Impairments after Stroke: The Role of Augmentative-Alternative Communication (AAC). *Topics in Stroke Rehabilitation*, **11**, 84-88. <https://doi.org/10.1310/8xby-3v4x-1qq9-yn5x>
- [22] Pulvermüller, F., Neininger, B., Elbert, T., Mohr, B., Rockstroh, B., Koebbel, P., et al. (2001) Constraint-Induced Therapy of Chronic Aphasia after Stroke. *Stroke*, **32**, 1621-1626. <https://doi.org/10.1161/01.str.32.7.1621>
- [23] Zhang, J., Yu, J., Bao, Y., Xie, Q., Xu, Y., Zhang, J., et al. (2017) Constraint-Induced Aphasia Therapy in Post-Stroke Aphasia Rehabilitation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLOS ONE*, **12**, e0183349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183349>
- [24] Wang, G., Ge, L., Zheng, Q., Huang, P. and Xiang, J. (2020) Constraint-Induced Aphasia Therapy for Patients with Aphasia: A Systematic Review. *International Journal of Nursing Sciences*, **7**, 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.ijnss.2020.05.005>
- [25] Vuksanović, J., Milovanović, T., Konstantinović, L. and Filipović, S.R. (2018) Effect of Type of Language Therapy on Expressive Language Skills in Patients with Post-Stroke Aphasia. *International Journal of Language & Communication Disorders*, **53**, 825-835. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12390>
- [26] 马斌, 柳刚, 宋书婷, 等. 针灸治疗卒中后失语症临床研究概况[J]. 甘肃中医药大学学报, 2025, 42(1): 72-77.
- [27] 浦芳, 李佩芳. 针灸治疗脑卒中后失语临床研究进展[J]. 中医药临床杂志, 2021, 33(2): 387-391.
- [28] 王启秀. 舌从刺运动针法治疗中风后运动性失语的临床研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2025.
- [29] 陈韵佳, 陈柱, 朱燕, 等. 神经调控技术在失语症治疗中的应用进展[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(8): 930-935.
- [30] Xia, J., Chen, Y., Pei, S., Shan, C., Zhang, J., Zhou, Z., et al. (2025) Advances in Neuromodulation Techniques for Aphasia Rehabilitation: A Comprehensive Review. *Medical Science Monitor*, **31**, e947213. <https://doi.org/10.12659/msm.947213>

- [31] 浦创, 梁凡, 杨小玥, 等. 不同频率和刺激部位的重复经颅磁刺激治疗脑卒中后运动性失语的临床研究[J]. 中国康复, 2025, 40(7): 412-417.
- [32] 郭华平, 姚春雨, 葛云龙, 等. 低频重复经颅磁刺激联合旋律音调疗法治疗脑卒中后早期失语症的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2025, 47(11): 973-977.
- [33] Low, T.A., Lindland, K., Kirton, A., Carlson, H.L., Harris, A.D., Goodyear, B.G., *et al.* (2025) Transcranial Magnetic Stimulation Combined with Multimodality Aphasia Therapy for Chronic Poststroke Aphasia: A Randomized Clinical Trial. *Neurology*, **104**, e213424. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000213424>
- [34] Rui, L. and Yuting, Z. (2026) Editorial: Advancements in Cognitive-Linguistic Rehabilitation of Post-Brain Injury: Mechanisms and Strategies. *Frontiers in Neurology*, **17**, Article 1775280. <https://doi.org/10.3389/fneur.2026.1775280>
- [35] Wang, H., Wang, Y., Dong, J., Li, Y., Tian, S., Xing, J., *et al.* (2026) Transcranial Direct Current Stimulation for Naming Disorders in Poststroke Aphasia: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **107**, 287-298. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2025.10.023>
- [36] Johnson, M.A., Keser, Z., Lammers, B., Sydnor, M.J., Murter, J.L., Sadil, P., *et al.* (2026) White Matter Predictors of Cerebellar tDCS Treatment Effects in Aphasia Rehabilitation. *Frontiers in Neurology*, **17**, Article 1659337. <https://doi.org/10.3389/fneur.2026.1659337>
- [37] Xu, X., Chen, S., Li, Z., Zhang, L., Pan, T., Long, S., *et al.* (2025) Efficacy of Cerebellar Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation for Post-Stroke Aphasia: A Randomized Controlled Trial. *Clinical Neurophysiology Practice*, **10**, 464-473. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2025.10.001>
- [38] Tavakoli, A.V. and Yun, K. (2017) Transcranial Alternating Current Stimulation (tACS) Mechanisms and Protocols. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, **11**, Article 214. <https://doi.org/10.3389/fncel.2017.00214>
- [39] Kasten, F.H., Dowsett, J. and Herrmann, C.S. (2016) Sustained Aftereffect of α -tACS Lasts up to 70 Min after Stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, **10**, Article 245. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00245>
- [40] Cheung, C.Y., Kong, A.P. and Bakhtiar, M. (2025) Individualized Connectomic tACS Immediately Improves Oscillatory Network with Language Facilitation in Post-Stroke Aphasia: A Feasibility Study of a Dysfunctome-Based Targeting Approach. *Frontiers in Computational Neuroscience*, **19**, Article 1635497. <https://doi.org/10.3389/fncom.2025.1635497>
- [41] Escalon, M. (Principal Investigator) (2023) Neurostimulation for the Treatment of Post-Stroke Aphasia (Identifier No. NCT05194566). ClinicalTrials.gov. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT05194566>
- [42] Perelman, A., Hamilton, R. and Harvey, D. (2025) Tuning the Brain for Language: Exploring tACS as a Language Enhancement Tool. *Neurology*, **104**, 5458. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000212378>
- [43] Gao, X., Wang, Y., Chen, X. and Gao, S. (2021) Interface, Interaction, and Intelligence in Generalized Brain-Computer Interfaces. *Trends in Cognitive Sciences*, **25**, 671-684. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.04.003>
- [44] Mak, J.N. and Wolpaw, J.R. (2009) Clinical Applications of Brain-Computer Interfaces: Current State and Future Prospects. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, **2**, 187-199. <https://doi.org/10.1109/rbme.2009.2035356>
- [45] Ren, W. (2025) Brain-Computer Interface-Assisted Language Rehabilitation Technology for Aphasia Patients. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Biomedical Engineering and Food Science*, SciTePress, 16-20. <https://doi.org/10.5220/0014299500004933>
- [46] Branquinho, A.S., Maia, P. and Rodrigues, I.T. (2025) The Use of Brain Computer Interface in the Intervention of People with Post-Stroke Aphasia: A Systematic Review. *Sinapse*, **25**, 15-22.
- [47] Deng, Q., Fu, Z., Ma, N. and Wang, B. (2025) Application and Future Directions of Brain-Computer Interfaces in Neurological Disorders: Technological Advances, Clinical Practices, and Challenges. *Brain Hemorrhages*, **6**, 306-314. <https://doi.org/10.1016/j.hest.2025.09.002>
- [48] Liu, H., Betke, M., Ishwar, P. and Kiran, S. (2026) Machine Learning Driven “Therapy Calculator” for Self-Managed Digital Speech-Language Therapy for Individuals with Post-Stroke Aphasia.
- [49] Liscano, Y., Bernal, L.M. and Diaz Vallejo, J.A. (2025) Effectiveness of AI-Assisted Digital Therapies for Post-Stroke Aphasia Rehabilitation: A Systematic Review. *Brain Sciences*, **15**, Article 1007. <https://doi.org/10.3390/brainsci15091007>