DOI：10.12287/j.issn.2096-8965.20260102

精确重构外周神经，释放右脑潜能，改善左侧脑卒中后失语

徐文东*

（复旦大学附属华山医院，上海 200040）

【摘要】脑卒中等脑损伤引发的偏瘫、失语是人类的重大疾患。左右颈七神经交叉移位术（CC7）将单侧脑损伤患者的瘫痪上肢与同侧健康大脑半球建立神经传导新通路，首次实现了“一侧大脑半球”同时管理“双侧肢体”的人类150年科学梦想。在CC7基础上再次创新，提出了“右侧近椎间孔颈七神经离断术（NC7）”。通过精确重构外周神经，再平衡两半球间功能，有效释放右半球语言功能潜能，成为有潜力的失语症治疗新技术。本文系统介绍NC7这一创新术式的循证医学发展历程，全面呈现其从临床现象发现、机制假说提出、术式创新到多中心临床验证的完整转化医学路径。CC7和NC7这两项中国原创手术，不仅修正了成人大脑功能区固化及支配对侧肢体的传统理论，更促生了中枢神经系统损伤的全新治疗模式，即通过精准重构外周神经系统，靶向诱导未受损的大脑发生功能重塑，代偿受损脑功能，使长期被认为难以逆转的脑损伤后遗症（如偏瘫与失语）的临床治疗取得重大突破。

【关键词】失语；脑卒中；偏瘫；右侧近椎间孔颈七神经离断术；左右颈七神经交叉移位术；脑可塑性

中图分类号：R651.3 **文献标识码：**A **文章编号：**2096−8965（2026）01−0009−06

Targeted rewiring of peripheral nerves to harness right-hemisphere potential and improve aphasia after left-hemispheric stroke

Xu Wendong*

(Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China)

【Abstract】Hemiplegia and aphasia caused by stroke and other brain injuries are major disorders in humans. Contralateral cervical seventh nerve transfer (CC7) establishes a new neural pathway between the paralyzed upper limb and the ipsilateral healthy cerebral hemisphere in patients with unilateral brain injury, for the first time enabling a single cerebral hemisphere to govern both limbs, thereby realizing a 150-year scientific vision of mankind. Based on CC7, a further innovation termed right C7 neurotomy at the intervertebral foramen (NC7) was proposed. Through targeted rewiring of peripheral nerves, this procedure rebalances interhemispheric function and effectively releases the language potential of the right hemisphere, providing a promising new therapeutic approach for aphasia. This article systematically reviews the evidence-based development of the NC7 procedure and presents the complete translational medicine pathway from the discovery of clinical phenomena and the

收稿日期：2026-03-10；**修回日期：**2026-03-19

基金项目：新基石研究员项目（NCI2023）；国家临床重点专科建设项目（10000015Z155080000004）；上海市卫生健康系统重点学科项目（2024ZDXK0037）

通信作者：徐文东（1970-），男，上海人，主任医师，教授，博士研究生导师，主要从事周围神经修复和大脑可塑的研究，E-mail：wendongxu@fudan.edu.cn

proposal of mechanistic hypotheses to surgical innovation and multicenter clinical validation. CC7 and NC7, two original surgical procedures developed in China, not only revise the traditional theory of fixed functional localization in the adult brain and its contralateral control of limbs, but also give rise to a novel therapeutic paradigm for central nervous system injury, in which the precise rewiring of the peripheral nervous system induces targeted functional neuroplasticity in the undamaged hemisphere. This mechanism effectively compensates for damaged brain function, achieving a major breakthrough in the clinical treatment of post-brain-injury sequelae long considered irreversible, such as hemiplegia and aphasia.

【Keywords】 Aphasia; Stroke; Hemiplegia; Right C7 neurotomy at the intervertebral foramen; Contralateral cervical seventh nerve transfer; Brain plasticity

0 引言

脑卒中等脑损伤引发的偏瘫、失语，已困扰人类千年。由于大脑受损后难以自我修复，这些神经功能障碍长期被视为难以治疗。早在1872年，现代神经病学奠基人之一布朗–塞夸德经过长期细致观察患者后，在《波士顿医学与外科杂志》（*The New England Journal of Medicine*前身）上提出了一个超越时代的科学假说：“（成年人的）一侧大脑半球足以控制双侧肢体，能够引发身体两侧的运动，并能感知双侧感觉[1]”。人类可以尝试激活健康侧半球，替代受损半球控制偏瘫肢体。然而，成人大脑具有显著的功能特异性，两半球之间存在明确分工，并遵循对侧控制原则。因此，这一科学假说成了未竟的“布朗–塞夸德梦想”，在长达150年的时间里始终未能实现。

2012年，*The New England Journal of Medicine*出版创刊200周年系列特别报道的“神经病学和心理学200年重大事件”中，布朗–塞夸德的医学贡献被高度赞誉[2]，其伟大科学梦想再次受到关注。复旦大学附属医院手外科深耕外周神经领域50余年，自2002年以来，本团队围绕单侧脑损伤的偏瘫患者，开展的一系列基础研究和临床实践，已经初步实现了布朗–塞夸德梦想。通过手术重构（切断并重新连接）上肢外周神经与中枢的连接，可诱导健康大脑半球代偿受损的大脑半球功能，其中最重要的发现是，当瘫痪上肢约20%（约4万根）神经纤维被重新定向至同侧健康大脑半球时，能触发大脑重塑发生质变，使单侧大脑半球获得控制双侧上肢的能力[3-5]。为了提供更强有力的科学证据，服务全球更多患者，本团队在2013年开展了一项循证级别较高、实施难度大的外科随机对照试验（Randomized Controlled Trial，RCT）。

2018年*The New England Journal of Medicine*发表了作者团队的“左右颈七神经交叉移位术（Contralateral Cervical Seventh Nerve Transfer，CC7）”治疗单侧脑损伤偏瘫的RCT临床研究结果。CC7在瘫痪手与同侧健康大脑半球之间建立了一条新的神经通路，术后瘫痪手功能评分改善约23%，显著优于既往临床研究报道的2%~4%的康复疗效[6-8]，有效率达89%。通过功能磁共振成像（functional Magnetic Resonance Imaging，fMRI）与经颅磁刺激（Transcranial Magnetic Stimulation，TMS）研究进一步证实，CC7术后患者健康大脑半球重塑出可独立控制同侧瘫痪上肢的新功能脑区[9]，实现了“一侧健康脑半球同时控制双侧上肢”。这一颠覆性的创新治疗术式首次在临床上真正实现了150年前布朗–塞夸德科学梦想，被*The New England Journal of Medicine*列为其2018年全球“最受瞩目研究”榜首。

随后，围绕这一新治疗方法，在临床继续开展真实世界长期随访研究[10]，同时在不同的动物模型上对CC7背后的神经机制展开了深入探索[11-12]。这一系列工作进一步夯实了CC7在改善单侧脑损伤偏瘫方面的确切疗效，为数千万患者带来希望，并在神经科学层面揭示了成年大脑在特定干预下具备巨大可塑性的潜能。本文将以近期取得的一项代表性研究进展为例，详细梳理其完整的探索与论证脉络。

1 启发：意外的病房歌声和临床现象

失语症是一系列获得性语言接受与表达缺陷的总称，常继发于各类神经系统疾病或创伤。由于左侧大脑半球是绝大多数人群语言处理的优势半球，所以失语症在左侧大脑半球卒中后最为常见[13]。据统计，超过三分之一的患者在左半球卒中急性期会经历失语，其中高达60%以上的患者其语言障碍会持续一年以上，发展为慢性卒中后失语症[14-15]。肢体偏瘫是脑卒中后的另一严重后遗症。临床上，约有80%的非流利性失语患者会同时合并右侧上肢痉挛性偏瘫[16]。这种语言与运动的双重障碍，不

仅严重损害了患者的语言理解与表达能力，还显著削弱了其社会参与、职业功能及情感联结，给家庭及社会带来沉重负担[17-18]。

2021年，作者和术后患者聊天时注意到一项特殊主诉：1例因左半球卒中致右侧肢体偏瘫伴失语达4年之久的60多岁女性患者，在接受CC7术后短短数日内，即表现出现语言功能的改善，甚至能够重新开始唱歌。这种改善的速度和程度，远远短于神经再生所需时间。进一步与其他开展CC7手术的中心交流发现，也有类似的语言功能改善现象，这一现象引起作者团队的高度关注。

本团队首先基于专病数据库进行了回顾性分析，并获得积极的初步证据。在此基础上，进一步开展了一项前瞻性观察研究[19]，旨在系统评估CC7术后语言功能变化的具体特征。该研究共纳入20例右侧偏瘫伴慢性失语症的患者，采用西方失语症成套测验（Western Aphasia Battery，WAB）对语言功能进行量化评估。结果证实：术后仅1周，患者的综合语言能力即出现显著提升，其失语商（WAB-Aphasia Quotient，WAB-AQ）较基线平均提高了9.14分（P<0.001）；该改善效果在术后6个月的随访中依然保持稳定，WAB-AQ较基线平均提高了10.69分（P<0.001）。在各语言子项中，患者的命名能力与自发语言改善最为突出，在术后6个月时分别较基线提升了52.41%和29.28%。

既往研究[20-21]表明，语言功能的自发恢复常在卒中首次发生后6~9个月达到一个平台期，此后的进一步改善几乎可以忽略不计。目前，强化语言康复[22]、非侵入式刺激，如TMS[23-24]、经颅直流电刺激[25-26]等，是临床失语症治疗的主要手段。然而Meta分析显示，只有高剂量（≥20~50 h、每周≥2~4 h）的治疗才能带来明显语言改善，而剂量不足时改善常缺失[27]，且许多个体对干预措施的反应并不明显，而能保持最初治疗效果的个体则更少[28-29]。

因此，CC7术后所展现出的这种快速且显著的改善，无疑是一个极具临床价值的重大发现。更重要的是，对CC7术后患者进行静息态fMRI分析发现[19]，术后6个月右半球多个语言相关区域（如右侧中央前回、直回及前扣带回）的低频振幅显著升高，提示右半球可能参与了语言功能的恢复。

2 思考：提出科学问题和假说

为什么一项旨在重建瘫痪上肢运动功能的手术能够改善语言功能[9]？是否可能是CC7术式中某一特定步骤，触发了大脑语言网络的某种“开关”。团队对右侧偏瘫伴失语患者所接受的CC7术式进行解构分析。该术式包含3个主要步骤：（1）左侧C7神经根远端离断；（2）右侧C7神经根近椎间孔处离断；（3）经椎前通路将完整的左侧C7神经根转位至右侧，并进行无张力端对端显微吻合[30]。鉴于临床观察到患者语言功能在术后数日内即出现改善，步骤1和2是可能的原因。

那么，语言改善究竟源于左侧C7神经离断还是右侧C7神经离断？为回答这一问题，团队采用超声引导下注射利多卡因进行选择性神经阻滞，分别阻滞右侧C7神经和左侧C7神经。结果发现，右侧C7神经阻滞能够产生CC7相似的语言改善，虽然效果微弱，但左侧C7神经阻滞没有类似效果。由于右侧C7神经阻滞在功能上模拟了CC7术中右侧C7神经根近椎间孔处的离断，这一结果间接提示语言功能的改善可能源于该部位的C7神经离断。由此，产生了一个重要的科学问题，为什么右侧C7神经根近椎间孔处离断可以改善失语患者的语言功能？

回溯人类语言研究的漫长科学历史：19世纪中下叶，Paul Broca与Carl Wernicke通过尸检发现了人类语言中枢位于左半球[31-32]；20世纪60年代，Sperry与Gazzaniga对接受胼胝体切开术，两半球离断的患者开展了一系列经典心理学研究，证实左半球在语言表达中的主导地位[33]，同时也提供了右半球具有潜在语言能力的证据[34-35]；随后有科学家提出，通过开发右半球语言功能来治疗失语患者的想法，右半球的语言潜能可能因为左半球的主导而被“压低”，当这种控制被削弱或移除，右半球语言功能可能被“释放”[36]；但对开发右半球语言功能，1981年诺贝尔奖获得者Sperry却持悲观态度[37]，他的诺奖演讲中这样说：“即使左半球损伤了，但其对右半球仍处于抑制状态，要摆脱左半球的抑制，释放右半球语言功能，只能是将两半球离断。”40多年过去了，开发右半球语言功能没有取得实质进展。2021年，*Science*杂志仍将“语言如何演变形成，大脑的哪些部分对其进行控制？”列为人类面临的125个重大科学问题之一[38]。这意味着，关于人类语言控制的理论依然没有重大突破，失语症的有效治疗依然是困难重重。

但对患者fMRI分析显示[19]，右半球多个语言相关区域显著升高，提示右半球可能参与了这一过程。这显然与Sperry的判断相悖。CC7是否是通过“释放”右半球潜在的语言功能，改善失语患者的

语言能力？这一看似大胆的设想并非没有根据。本团队早在2013年的一项研究[39]发现，在一侧全臂丛神经撕脱伤患者中，左右半球之间的功能连接显著下降。这一发现提示剧烈的外周去传入可引发两半球间的重构。

将视角放大聚焦于CC7手术本身的局部变化。手术时，在近椎间孔处离断右侧C7神经根[30]，确切解剖位置是右侧C7神经根与背根神经节（Dorsal Root Ganglion，DRG）的汇合处[40]。人体C7神经约包含4万根神经纤维，其中感觉纤维占80%以上[3]。在CC7手术中，离断点与DRG距离极近（约3.6 ± 1.0 mm），这种离断会导致DRG发生剧烈的生物学反应：DRG区域的血流灌注显著增加，血管通透性改变[41]。这种炎症反应和高代谢状态可能向脊髓及对应的左半球发送了强烈的信号。换言之，近4万根神经纤维信号输入的突然中断，可能对左半球造成了巨大的“冲击”。

根据上述证据和推理，提出创新假设：右侧C7神经离断相当于精确离断了右侧上肢投射到左半球约五分之一的感觉输入，再平衡左侧半球语言中枢与右侧同源区域间的功能连接，起到了部分Sperry提出的“两半球离断”作用，进而“释放”右半球语言功能，最终促进失语患者语言功能的恢复。

3 实施：术式创新与临床验证

基于上述假设，右侧近椎间孔C7神经离断术（Right C7 Neurotomy at the Intervertebral Foramen，NC7）被提出并应用于临床实践。NC7避免了复杂的神经移位与吻合步骤，具有创伤小、手术时间显著缩短及围手术期风险低等优势，使得包括老年人在内的左侧脑卒中后失语患者群体亦能从中安全获益。

随后，本团队开展了一项单臂探索性研究[42]，初步评估NC7的安全性与有效性。该研究纳入了5例左侧半球卒中后慢性失语患者，所有受试者均接受了右侧NC7手术联合3周强化语言康复（intensive Speech and Language Therapy，iSLT）。术后3周，患者的波士顿命名测试（Boston Naming Test，BNT）评分平均提高了11.2分（提升18.7%），WAB-AQ评分也显著提高（提升9.4%），至术后6个月时保持相对稳定。患者健侧上肢仅出现轻微、暂时的感觉减退或肌力下降。该结果不仅证实了手术的安全性，也提示NC7对命名功能的改善尤为显著。尽管卒中后失语可累及语言功能的多个维度，但命名障碍是临床康复中最难攻克的环节之一。BNT是评估命名中常用的方法，范围0~60分，分数越高表明命名功能越好。因此，BNT也成为后续临床研究的主要指标，BNT评分差异超过5.5分被界定为具有重要临床意义。详细的临床研究方案发表后[43]，多中心RCT随后于2023年启动[44]。

该多中心RCT在4家中心展开，共纳入50例因单次左侧半球卒中导致慢性失语（病程>1年）的患者，按1∶1比例随机分配至NC7联合3周iSLT（手术组）与单纯iSLT组（对照组）。研究的主要结局指标为从基线至干预后1个月（即手术组接受NC7联合3周iSLT后，或对照组延迟1周后接受3周iSLT后）BNT评分变化。研究结果显示[44]，手术组患者在1个月时的BNT评分平均提高11.16分（增幅18.6%），显著优于对照组的2.72分（增幅4.5%），组间差异为8.51分（95% *CI* 5.31~11.71，*P*<0.001）。改善效果在术后6个月的随访中保持稳定（组间差异8.26分，95%*CI* 4.16~12.35，*P*<0.001），证明了效果的持久性。

亚组分析显示，无论卒中类型（出血性或缺血性）、失语类型（流利型或非流利型）、失语严重程度或病程长短，NC7均显示出获益趋势。特别是在4例无肢体偏瘫的失语患者中，语言功能同样获得实质性改善。这表明语言功能的改善与肢体运动功能的恢复相解耦，NC7对语言网络具有独立调控作用。在安全性与不良事件方面，该研究未报告严重的手术相关不良反应。尽管手术组中有60%（15/25）的患者在极早期出现了短暂的局部感觉或运动功能轻度下降及神经病理性疼痛，但上述症状通过常规治疗均在2个月内（中位时间32 d）得到有效控制，至术后6个月随访时已完全消退，未遗留长期功能障碍。同时，患者自评的日常生活能力（Barthel指数在1个月时组间差异4.12，*P*=0.04）及家属报告的卒中后抑郁状况（SADQ-H10评分在6个月时组间差异-1.28，*P*=0.001）等次要指标均有显著改善。

4 再思考：科学意义及未来工作

值得注意的是，fMRI的图片命名任务态结果揭示了NC7术后中枢重塑过程。手术组中，BNT评分的提高在术后1个月时与右侧缘上回（与左半球Wernicke区同源区）及右侧额下回的激活显著相关；在随访6个月时，表现为右侧缘上回与左侧颞下回的协同激活。这表明NC7干预激活了右半球

的代偿性语言网络，与之相比，单纯康复组中，语言改善仍局限在左半球残余皮层的局部激活。本研究首次揭示外周神经重构可以再平衡两半球间功能，将右半球的代偿潜能转化为实际的临床语言获益。这不仅是修正了1981年Sperry的观点，也为未来慢性期失语功能恢复研究提供了清晰的干预靶点。

本团队研究也存在局限性：首先，当前研究仅纳入了中国东部沿海的汉语母语者，年龄分布相对年轻，且男性及出血性卒中占比略高于整体卒中人群的流行病学分布，未来还需开展涵盖多语种背景的多中心、大样本临床试验；其次，鉴于语言功能重塑的长期性，后续研究需将随访周期延长至5年或更久；最后，尚需结合多模态影像与高频随访，对术后早期至平台期的脑可塑性动态演变机制进行更深层次的解析。

该多中心RCT研究于2025年6月发表于*British Medical Journal*，杂志同期社论[45]指出："这项研究促使对慢性卒中护理的康复范式和政策进行批判性重新评估，从而促进更乐观、更积极的治疗策略。"更重要的是，NC7验证了一个核心思路：通过改变外周来重塑代偿中枢，这为干预认知与情感等高级功能障碍提供了全新的理论框架。未来，结合神经手术[46]、神经刺激[47-48]等外周神经调控手段，或许能进一步激活与认知、情绪等相关的大脑网络，为改善各类脑神经功能障碍开辟新途径。

5 结语

NC7手术通过"精确重构上肢神经、左右半脑再平衡，释放右脑语言潜能"的独特机制，有效破解了"人类无法主动利用右半球语言功能"的临床难题。这不仅为全球数千万失语症患者提供了语言功能改善的新治疗策略，对诺奖观点的修正也拓宽了神经科学研究视野。未来有必要重新审视外周与中枢之间的关系，它们可能并非固定的传递结构，而更可能是蕴含着多条可被重构、可被激活的潜力网络。

CC7和NC7这两项中国原创的外科手术，挑战了成人大脑功能固化和对侧支配的传统理论，新的治疗模式已经诞生：通过精准重构外周神经，诱导未受损中枢重塑，代偿受损功能[3]。迄今为止，全球已有逾万例脑卒中偏瘫或失语的患者因此获益。"中国方案"已从肢体运动领域向更复杂的语言认知领域延伸，从"动"到"言"的跨越为人类探索大脑带来了新的机遇。正如*The New England Journal of Medicine*社论所述："该研究为深刻认识神经解剖学和神经生理学的基本问题提供了机会。"[49]

参考文献

[1] BROWN-SEQUARD C E, WEBBER S G. The Origin and signification of the symptoms of brain disease[J]. Boston Medical and Surgical Journal, 1872, 87(16): 261-263.

[2] ROPPER A H. Two centuries of neurology and psychiatry in the journal[J]. The New England Journal of Medicine, 2012, 367(1): 58-65.

[3] XU W. Harnessing the uninjured hemisphere for treatment of the stroke or brain-injured patient-evolution of the contralateral C7 transfer[J]. The Journal of Hand Surgery, European Volume, 2025, 50(6): 796-806.

[4] XU W, HUA X, ZHENG M, et al. Contralateral C7 nerve root transfer in treatment of cerebral palsy in a child: Case report[J]. Microsurgery, 2011, 31(5): 404-408.

[5] HUA X, QIU Y, LI T, et al. Contralateral peripheral neurotization for hemiplegic upper extremity after central neurologic injury[J]. Neurosurgery, 2015, 76(2): 187-195.

[6] LO A C, GUARINO P D, RICHARDS L G, et al. Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke [J]. The New England Journal of Medicine, 2010, 362(19): 1772-1783.

[7] RODGERS H, BOSOMWORTH H, KREBS H I, et al. Robot assisted training for the upper limb after stroke (RATULS): A multicentre randomised controlled trial[J]. Lancet, 2019, 394(10192): 51-62.

[8] WINSTEIN C J, WOLF S L, DROMERICK A W, et al. Effect of a task-oriented rehabilitation program on upper extremity recovery following motor stroke: The ICARE randomized clinical trial[J]. JAMA, 2016, 315(6): 571-581.

[9] ZHENG M, HUA X, FENG J, et al. Trial of contralateral seventh cervical nerve transfer for spastic arm paralysis [J]. The New England Journal of Medicine, 2018, 378(1): 22-34.

[10] FENG J, LI T, LV M, et al. Reconstruction of paralyzed arm function in patients with hemiplegia through contralateral seventh cervical nerve cross transfer: A multicenter study and real-world practice guidance[J]. eClinicalMedicine, 2022, 43: 101258.

[11] GAO Z, PANG Z, LEI G, et al. Crossing nerve transfer drives sensory input-dependent plasticity for motor recovery after brain injury[J]. Science Advances, 2022, 8 (35): eabn5899.

[12] FENG J, LI P, FANG W, et al. Peripheral nerve pathway

reconnections drive the reorganization of central motor representations[J]. Science China Life Sciences, 2026: 41840169.

[13] FRIDRIKSSON J, DEN OUDEN D B, HILLIS A E, et al. Anatomy of aphasia revisited[J]. Brain, 2018, 141(3): 848-862.

[14] ELLIS C, URBAN S. Age and aphasia: A review of presence, type, recovery and clinical outcomes[J]. Topics in Stroke Rehabiliation, 2016, 23(6): 430-439.

[15] SHIN S, LEE Y, CHANG W H, et al. Multifaceted assessment of functional outcomes in survivors of first-time stroke[J]. JAMA Network Open, 2022, 5(9): e2233094.

[16] ANDERLINI D, WALLIS G, MARINOVIC W. Language as a predictor of motor recovery: The case for a more global approach to stroke rehabilitation[J]. Neurorehabilitation and Neural Repair, 2019, 33(3): 167-178.

[17] JACOBS M, ELLIS C J Jr. More than a communication disorder: Inequities in the financial toxicity of post-stroke aphasia[J]. Frontiers in Stroke, 2025, 3: 1507025.

[18] SPACCAVENTO S, CRACA A, DEL PRETE M, et al. Quality of life measurement and outcome in aphasia[J]. Neuropsychiatric Disease and Treatment, 2014, 10: 27-37.

[19] FENG J, LV M, MA X, et al. Change of function and brain activity in patients of right spastic arm paralysis combined with aphasia after contralateral cervical seventh nerve transfer surgery[J]. The European Journal of Neuroscience, 2024, 60(3): 4254-4264.

[20] ELKANA O, FROST R, KRAMER U, et al. Cerebral language reorganization in the chronic stage of recovery: A longitudinal fMRI study[J]. Cortex, 2013, 49(1): 71-81.

[21] PEDERSEN P M, STIGJØRGENSEN H S, NAKAYAMA H, et al. Aphasia in acute stroke: Incidence, determinants, and recovery [J]. Annals of Neurology, 1995, 38(4): 659-666.

[22] BREITENSTEIN C, GREWE T, FLÖEL A, et al. Intensive speech and language therapy in patients with chronic aphasia after stroke: A randomised, open-label, blinded-endpoint, controlled trial in a health-care setting [J]. Lancet, 2017, 389(10078): 1528-1538.

[23] FERNÁNDEZ-ROMERO L, CABRERA-MARTIN M N, DELGADO-ALONSO C, et al. Long-term therapy with transcranial magnetic stimulation in primary progressive aphasia: A randomized clinical trial[J]. JAMA Network Open, 2025, 8(8): e2526129.

[24] LOW T A, LINDLAND K, KIRTON A, et al. Transcranial Magnetic stimulation combined with multimodality aphasia therapy for chronic poststroke aphasia[J]. Neurology, 2025, 104(6): e213424.

[25] MEINZER M, DARKOW R, LINDENBERG R, et al. Electrical stimulation of the motor cortex enhances treatment outcome in post-stroke aphasia[J]. Brain, 2016, 139(Pt 4): 1152-1163.

[26] FRIDRIKSSON J, RORDEN C, ELM J, et al. Transcranial direct current stimulation vs sham stimulation to treat aphasia after stroke: A randomized clinical trial [J]. JAMA Neurology, 2018, 75(12): 1470-1476.

[27] COLLABORATORS R A R O P W A A S R. Dosage, Intensity, and frequency of language therapy for aphasia: A systematic review-based, individual participant data network meta-analysis[J]. Stroke, 2022, 53(3): 956-967.

[28] MENAHEMI-FALKOV M, BREITENSTEIN C, PIERCE J E, et al. A systematic review of maintenance following intensive therapy programs in chronic post-stroke aphasia: Importance of individual response analysis[J]. Disability and Rehabiliation, 2022, 44(20): 5811-5826.

[29] FRIDRIKSSON J, HILLIS A E. Current approaches to the treatment of post-stroke aphasia[J]. Journal of Stroke, 2021, 23(2): 183-201.

[30] XU W. Surgical technique of Xu's CC7 Procedure "Contralateral C7 to C7 cross nerve transfer through a trans longus colli, prespinal route for treating spastic arm" [J]. Operative Neurosurgery, 2020, 20(1): 61-68.

[31] BROCA P. Sur le siège de la faculté du langage articulé [J]. Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris, 1865, 6(1): 377-393.

[32] WERNICKE C. Der aphasische symptomencomplex[M]. Germany, Max Cohn & Weigert, 1874.

[33] SPERRY R W. Hemisphere deconnection and unity in conscious awareness[J]. American Psychologist, 1968, 23 (10): 723-733.

[34] GAZZANIGA M S, SPERRY R W. Language after section of the cerebral commissures[J]. Brain, 1967, 90 (1): 131-148.

[35] SPERRY R W, GAZZANIGA M S, BOGEN J E. Handbook of Clinical Neurology[M]. Amsterdam: North-Hol- land Publishing Co., 1969.

[36] MOSCOVITCH M. On the representation of language in the right hemisphere of right-handed people[J]. Brain and Language, 1976, 3(1): 47-71.

[37] SPERRY R W. Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres[J]. Science, 1982, 217(4566): 1223-1236.

[38] Science/AAAS, Shanghai Jiaotong University. 125 questions: Exploration and discovery[Z/OL]. Science, [2021-05-14] https://www.science.org/content/resource/125-questions-exploration-and-discovery2021-05-14.

[39] LIU B, LI T, TANG W, et al. Changes of inter-hemispheric functional connectivity between motor cortices after brachial plexuses injury: A resting-state fMRI study[J]. Neuroscience, 2013, 243: 33-39.

（下转第26页）