

# 脑功能网络分析在失语症诊疗中的应用： 病理机制分析、临床诊断与疗效评价

罗淇<sup>1,2</sup>, 王霞<sup>2,3,4</sup>, 姜孟<sup>2,3,4</sup>

(1. 四川外国语大学英语学院, 重庆 400031; 2. 四川外国语大学语言脑科学研究中心, 重庆 400031;

3. 四川外国语大学语言智能学院(通识教育学院), 重庆 400031;

4. 重庆市沙坪坝区国际语言脑机接口联合研究院, 重庆 400030)

**摘要:** 脑功能网络分析方法通过分析大脑不同区域神经活动的同步性和连接性, 揭示大脑功能的组织模式, 近年来已成为研究失语症的重要工具。依托非侵入性神经影像(如功能性磁共振成像)与电生理(如脑电图)手段, 该方法能够构建大脑功能网络, 识别失语症患者异常的功能连接模式及其动态重组特征。本研究系统综述了脑功能网络分析方法在失语症研究中的应用, 重点探讨其在病理机制分析、类别诊断、严重程度诊断及治疗方法效果评价中的研究进展。通过整合静态与动态分析方法, 结合多种神经影像及电生理技术, 揭示失语症患者脑功能网络的显著变化, 包括拓扑结构、功能连接、频率带的变化及功能重组。脑功能网络分析方法不仅能够辅助传统诊断手段, 提高诊断精度, 还可诊断失语症严重程度, 评价治疗方法效果。通过系统梳理已有研究成果, 以期为未来深入理解失语症的病理机制及制定个性化干预提供理论参考与临床借鉴。

**关键词:** 脑功能网络分析; 失语症; 病理机制; 临床诊断; 疗效评价

中图分类号: H018.4-62

文献标志码: A

## Application of functional brain network analysis in aphasia: insights into neuropathological mechanisms, clinical diagnosis, and assessment of therapeutic outcome

LUO Qi<sup>1,2</sup>, WANG Xia<sup>2,3,4</sup>, JIANG Meng<sup>2,3,4</sup>

(1. School of English Studies, Sichuan International Studies University, Chongqing 400031, China;

2. Language & Brain Research Center, Sichuan International Studies University, Chongqing 400031, China;

3. College of Language Intelligence (College of General Education), Sichuan International Studies University, 400031 Chongqing, China; 4. Chongqing Shapingba District International Joint Institute of Brain Computer Language Interface, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Functional brain network analysis has emerged as a powerful approach to study aphasia by characterizing the synchronization patterns and connectivity profiles of neural activity across distributed brain regions. Utilizing advanced non-invasive neuroimaging (e.g. functional magnetic resonance imaging, fMRI) and electrophysiological (e.g. electroencephalography, EEG) techniques, functional networks are constructed to identify abnormal functional connectivity and dynamic network reorganization in aphasic patients. The present systematic review critically evaluates the application of functional brain network analysis in aphasia research, with particular emphasis on elucidation of neuropathological mechanisms, subtype classification, severity stratification, and assessment of therapeutic outcome. Through integrative analysis of both static and dynamic network properties across multiple neuroimaging modalities, we identify consistent patterns of network dysfunction in aphasia, including topological perturbations, functional connectivity reconfigurations, frequency-band-specific oscillations, and compensatory network reorganization. Specifically, this analytical framework demonstrates significant clinical utility by improving the sensitivity and specificity of conventional diagnostic protocols,

providing quantitative biomarkers for grading disease severity, and enabling objective assessment of treatment-induced neuroplastic changes. By synthesizing current evidence, this review aims to advance the understanding for future investigations of the neural substrates of aphasia and to inform the development of personalized treatment interventions.

**Key words:** Functional brain network analysis; Aphasia; Neuropathological mechanisms; Clinical diagnosis; Therapeutic outcome assessment

失语症(aphasia)亦称语言失能症<sup>[1]</sup>,是一种因脑功能损伤引发的获得性神经源性语言障碍<sup>[2-3]</sup>,主要由左侧颞-顶-额周围裂的语言网络受损所致<sup>[3]</sup>,常见病因包括脑出血、脑血栓、卒中后脑损伤、脑肿瘤、脑外伤及神经退行性疾病等<sup>[4-5]</sup>。失语症临床特征常见表现为语言表达和理解能力受损或丧失<sup>[6]</sup>,根据波士顿分类体系,可将其分为流畅性和非流畅性两大类:①前者表现为言语流利但缺乏意义,常伴有虚构词汇和理解障碍;②后者表现为言语困难,表达缓慢且断续,但词汇通常有意义,理解能力相对保留<sup>[7]</sup>。除核心的言语功能障碍外,失语症患者常伴随读写障碍、社交沟通困难等继发性症状,进而导致抑郁、社会隔离等心理问题<sup>[8-10]</sup>,严重影响患者生活质量和社会参与度<sup>[11]</sup>。尽管现有失语症康复治疗取得了一定成效,但个体疗效差异显著。因此,深入探究失语症的病理机制并开发高效干预手段,具有重要的临床和社会意义。

传统失语症研究主要聚焦于局灶性脑损伤对语言功能的影响,但近年来证据表明,语言功能的恢复涉及跨区域的神经可塑性与功能网络重组,单一脑

区模型难以全面揭示失语症的神经机制<sup>[12]</sup>。然而人类语言能力的复杂性以及神经回路的高度特异性,使得目前无法通过动物实验模拟失语症状态<sup>[6]</sup>,在此背景下现代脑成像及电生理技术为探究失语症的病理机制提供了可视化窗口<sup>[13-17]</sup>,推动了对失语症神经网络变化的深入研究。基于这一技术进步,脑功能网络分析作为一种新兴研究范式,为理解失语症的神经机制提供了重要工具<sup>[18-20]</sup>。该方法通过静态及动态网络建模,从全脑层面揭示失语症患者的脑连接异常,量化其病理特征,并为临床诊断及个性化干预提供客观依据<sup>[20-23]</sup>。尽管该领域研究逐渐增多,但目前国内尚缺乏系统综述,专门探讨脑功能网络分析在失语症研究中的应用。本文旨在系统综述脑功能网络分析方法在失语症研究中的应用,重点探讨其在病理机制分析、类别诊断、严重程度诊断、治疗方法效果评价等方面的研究进展,见图1。通过整合静态与动态分析方法,结合单或多模态神经影像及电生理技术,以期对未来失语症的系统研究及个性化干预策略提供理论参考与临床借鉴。

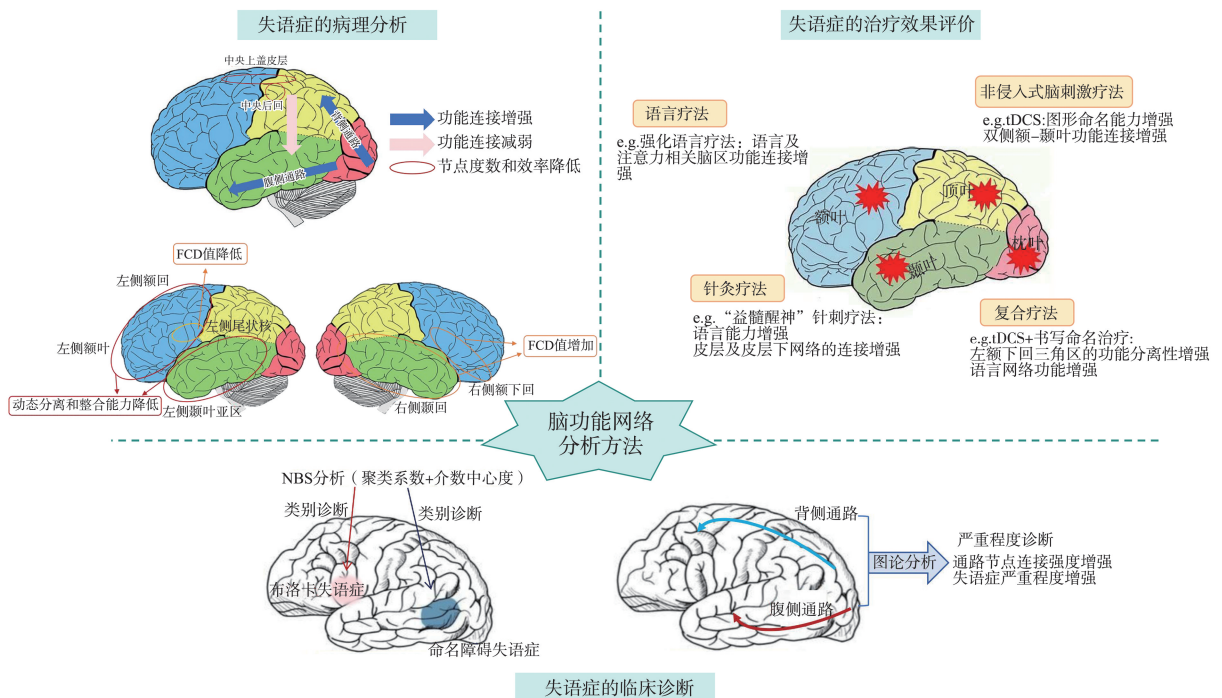


图1 脑功能网络分析方法与失语症的病理机制分析、临床诊断与治疗效果评价

Figure 1 Functional brain network analysis and the neuropathological mechanisms, clinical diagnosis, and therapeutic outcome assessment of aphasia

## 1 脑功能网络分析方法简介

近年来,脑功能网络分析已成为研究失语症病理机制的重要方法<sup>[18-20]</sup>。该方法依托非侵入性神经影像[如功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)、功能性近红外脑成像

(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)]与电生理[如脑电图(electroencephalography, EEG)及脑磁图(magnetoencephalography, MEG)]等手段,构建大脑功能网络,见表1。以捕捉大脑结构与功能变化,量化脑区间的活动同步性及连接性<sup>[18-20,24-25]</sup>。在此背景下,现代脑成像及电生理技术为探究失语症的病理机制提供了可视化窗口<sup>[13-17]</sup>。

表1 主要脑功能成像方法及其与脑功能网络的关系

Table 1 Major brain functional imaging methods and their relationship with brain functional networks

成像方法	原理	优势	局限性	适用场景	与脑功能网络的关系
fMRI	检测血氧水平依赖(blood oxygen level-dependent, BOLD)信号	高空间分辨率,适用于静息态和任务态实验	时间分辨率较低;对运动敏感	静息态功能连接研究;认知任务	适用于探索大尺度功能网络,如默认模式网络(default mode network, DMN)、注意网络等
fNIRS	测量脑组织中氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白变化	便携、无创,适用于儿童及自然场景实验	空间分辨率较低,仅适用于皮层表面区域	长期监测;儿童研究;临床应用	适用于研究浅层皮层功能网络,尤其是运动、语言相关脑区
EEG	记录皮层电活动	高时间分辨率,可检测毫秒级神经活动	空间分辨率低,易受噪声影响	事件相关电位(event-related potential, ERP);动态脑网络分析	适用于研究动态脑功能网络,如任务相关激活、跨区域神经同步
MEG	测量脑磁信号	高时间分辨率,精准定位皮层神经活动	设备昂贵,易受环境磁干扰	认知神经科学;脑功能网络研究	适用于研究快速动态脑功能网络及探索跨脑区信息传递

脑功能网络分析方法通过将大脑不同区域作为节点,节点间的功能连接作为边,构建功能网络,并利用图论等数学工具量化网络属性(如网络效率、聚类系数、最短路径长度等),从而全面评估脑功能状态<sup>[26]</sup>。脑区间的连接包括结构连接、功能连接和效应连接三种模式<sup>[24]</sup>。结构连接通过神经纤维束在解剖学上连接其他脑区,评估脑区间的物理连接;功能连接关注不同脑区间的同步活动,显示空间上分离的神经元在时间上的活动关联性,是一种无向连接<sup>[27-29]</sup>;效应连接则探讨脑区间的因果关系,揭示一个神经元(或脑区)如何直接影响另一神经元(或脑区)的神经活动,即二者为调控与被调控的关系。效应连接用于捕捉脑区间的方向性互动,属于有向连接<sup>[30]</sup>。脑功能网络分析方法不仅能够从全脑网络角度揭示失语症的病理机制,还能为个性化干预提供依据。

脑功能网络分析方法主要分为静态和动态分析两大类,见表2。静态分析假设脑区间的连接在整个观察期内保持稳定,适用于评估大脑在特定任务或静息状态下的功能组织结构,可提供脑网络在整体时间维度上的结构图景<sup>[31]</sup>。常用方法包括图论分析方法、基于种子点的功能连接分析和独立成分分析(independent component analysis,

ICA)等<sup>[24]</sup>。图论分析将脑网络视作由节点(脑区)和边(连接)构成的矩阵,通过数学图论的拓扑结构分析脑网络的全局特征,目前已广泛应用于脑功能网络属性分析<sup>[32]</sup>,常见的拓扑指标包括节点度、度分布、三元组、聚类系数/集群系数、最短路径长度、全局效率、中心度(包括度中心度、紧密中心度、介数中心度等)、模块及小世界属性等<sup>[24,33]</sup>。基于种子点的功能连接分析首先选定一个感兴趣脑区(region of interest, ROI)即种子点,计算该区域与其他脑区之间的功能连接强度,进而分析该种子点在整个脑网络中的作用。此外,ICA能在静态时间段内提取大脑中存在的独立功能模块,如默认模式网络等,有助于理解核心网络在静息态下的功能特征。动态分析则关注脑连接的时变特性,适用于揭示不同认知任务、情绪状态或病理机制下的功能变化<sup>[34-35]</sup>。常见的动态分析方法包括动态功能连接(dynamic functional connectivity, DFC)、动态因果建模(dynamic causal modeling, DCM)等,前者通过滑动时间窗方法捕捉连接的时变特性,揭示了大脑网络的灵活性和适应性<sup>[36]</sup>,后者基于生成模型的贝叶斯方法,测量模型内神经状态之间的耦合关系,以及根据不同情境评估耦合强度和方向性变化<sup>[37]</sup>。

表2 脑功能网络静态分析与动态分析的区别  
Table 2 The difference between static and dynamic analysis of brain functional networks

类别	静态分析方法	动态分析方法
分析预设	假设脑网络连接在整个时间段内稳定不变	考虑脑网络连接随时间的波动性和变化
时间维度	一个固定的时间段	多个时间段(分析时间维度上的变化)
代表方法	图论分析、基于种子点的功能连接分析、ICA等	动态功能连接分析、DCM等
连接类型	功能连接、结构连接	功能连接、效应连接
应用场景	研究稳定状态下的脑网络连接模式或结构;适用于评估全脑或局部网络的静态组织结构	研究认知任务、状态变化或病理下的脑网络动态变化
计算复杂性	相对简单,集中于整个时间段的全局或局部连接特征	相对复杂,捕捉脑连接的时间变化和波动性

## 2 脑功能网络分析方法在失语症病理机制分析中的应用

静态和动态脑功能网络分析方法为揭示失语症患者脑自发活动的内在机制,又能捕捉其脑活动与功能连接的时变特性,为深入理解其病理机制提供重要依据。

### 2.1 静态脑功能网络分析方法在失语症患者病理机制分析中的应用

静态脑功能网络分析方法已广泛应用于失语症患者的脑自发活动机制研究中<sup>[38]</sup>。通过结合静息态或任务态 fMRI、EEG 等神经影像与生理技术,对比失语症患者与健康对照组的脑功能网络及其连接特征,探讨连接特征与病灶变量关联,进而揭示失语症患者脑功能网络的效应特点及其潜在发病机制。

有学者使用图论分析法,结合静息态 fMRI 或 EEG 单种成像模态,发现失语症患者的脑功能网络存在显著的拓扑结构变化。例如,Chen 等<sup>[39]</sup>利用图论分析法结合静息态 fMRI,发现左脑损伤卒中后失语症患者脑功能网络的小世界属性、标准化聚类系数和局部效率等指标显著下降,尤其是左侧中央后回等的节点度数和节点效率显著降低,这些变化与语言能力显著相关,提示该类患者脑功能网络的高度专门化和整合信息处理能力受损。基于网络的统计分析方法(network based statistical analysis method, NBS)也是一种图论分析法。樊瑞文等<sup>[40]</sup>采用 NBS 结合静息态 fMRI 及双流语言模型,发现左侧脑损伤卒中后失语症患者右脑语言背侧通路(缘上回至额中回、三角部额下回)功能连接增强,而中央后回至岛盖部额下回的连接减弱,表明右脑功能重组可能在语言恢复中起代偿作用。Utianski 等<sup>[41]</sup>使用图论和最小生成树(minimum spanning tree, MST)指标结合 EEG,发现非流利性失语症患者的网络全局效率降低与临床症状严重程度相关。

Li 等<sup>[42]</sup>则通过区域同质性和低频振幅结合静息态 fMRI 技术,发现卒中后失语症患者病灶周围及右半球同源语言区域的自发脑活动显著增加,这种变化可能在其语言功能恢复中起关键作用。

静态脑功能网络分析方法结合单或多模态任务态成像进一步揭示了失语症患者在执行语言任务时的脑功能网络特征。Mehram 等<sup>[43]</sup>使用图论方法和目标节点攻击法,结合 EEG 技术,发现失语症患者在听故事时, $\theta$  频带表现出较强的半球间连通性,而低  $\gamma$  频带上则出现较弱的子网络,这些变化与患者的语义和语音流畅性表现相关。Lin 等<sup>[44]</sup>使用图论分析法结合 MEG 技术,发现布洛卡失语症患者在图片命名任务中依赖不同脑区进行功能重组以应对语言加工挑战,且高振幅区域与高连接性枢纽间的关系可能发生了解耦或逆转。林枫等<sup>[45]</sup>采用图论分析法结合 MEG 技术,发现失语症患者在图片命名任务中表现出网络密度和功能整合度增加,但点度中心势、中介中心势和模块度降低。Griffis 等<sup>[46]</sup>采用平行独立成分分析结合 fMRI 技术,发现卒中后慢性失语症患者在语义决策任务中依赖右半球额-颞-顶网络的代偿性激活。多模态研究如 López-Barroso 等<sup>[47]</sup>采用 T1 加权成像、弥散张量成像及静息态及任务态 fMRI,发现混合性皮层间失语症患者的语言重复能力不仅依赖左侧围外侧裂语言网络,右半球或左侧腹侧通路也在其语言恢复中也发挥作用。

综上所述,静态脑功能网络分析方法揭示了失语症患者脑功能网络的显著变化,包括①拓扑结构异常:如小世界属性、标准化聚类系数及局部效率下降,尤其是在左侧中央后回、中央上盖皮层和岛叶皮层的节点度数和节点效率显著降低。这些变化与患者的语言能力、复述、命名及听力理解能力显著相关,表明卒中后失语症患者脑功能网络的高度专门化和信息整合能力受损。②功能连接发生变化:右脑语言背侧通路(缘上回至额中

回、三角部额下回)功能连接增强,而中央后回至岛盖部额下回的连接减弱;腹侧通路中,角回至眶部额下回功能连接增强,提示右脑功能重组在语言恢复中可能起代偿作用。③频率带特异性变化:θ 频带半球间连通性增强,低 γ 频带子网络减

弱,这些变化与患者的语义流畅性和语音流畅性表现相关。此外,患者脑网络表现出无标度特性,可能与其脑功能的补偿机制有关。典型的静态脑功能网络分析方法在失语症病理机制分析中的应用研究,列举文献见表3。

表3 静态脑功能网络分析方法在失语症病理机制分析中的应用研究

Table 3 Research on the application of static brain functional network analysis in the neuropathological mechanism of aphasia

文献序号	失语症类型	失语症量表	成像模态	脑功能网络分析方法	节点定义	边定义	脑功能网络拓扑指标	研究发现
[39]	卒中后失语症(24例,18~70岁)	汉语失语症评定量表	静息态 fMRI	图论分析方法	Power 脑图谱 265 节点	Pearson 相关系数	小世界属性、全局网络效率、局部网络效率、节点度等	失语症患者小世界属性下降,左侧中央后回节点度降低
[40]	卒中后失语(12例,39~62岁)	中国康复研究中心汉语标准失语症检查表	静息态 fMRI	基于网络的统计分析方法(一种基于图论的分析方法)	AAL 脑图谱 ROIs	BOLD Pearson 相关系数	介数中心性、度中心性、节点聚类系数、节点效率、节点最短路径;协调性、网络效率、小世界属性等	失语症患者右脑语言通路连接增强,中央后回-岛盖部连接减弱
[41]	非流利性失语症(15例,平均69岁)	西方失语症成套测试(修订版)、西北字谜测验	静息态 EEG	图论分析方法、MST 指标	N/A	N/A	度中心性、介数中心性、最短路径长度、模块性、全局效率等	失语症患者网络效率降低,与言语失用等症状相关
[42]	卒中后失语症(15例,平均50.6岁)	西方失语症成套测试(简体中文版)	静息态 fMRI	ReHo、ALFF	N/A	N/A	N/A	左半球病灶周围 ReHo/ALFF 升高,右侧中额回 ReHo 增加
[43]	卒中后慢性失语症(27例)	荷兰语命名测试、ScreeLing 测试等	任务态 EEG	图论分析方法、目标节点攻击法	不同脑区区域	WPLI	节点强度、聚类系数、离心性、特征路径长度、小世界性、模块性	失语症患者 θ 频带半球间连通性增强,低 γ 频带子网络变弱
[44]	布洛卡失语症(5例,20~71岁)	西方失语症成套测试	任务态 MEG	图论分析方法	自定义 ROIs	PLV (30-45 Hz)	度中心性、介数中心性、传递性、k-核性、拉普拉斯中心性、特征向量中心性	失语症患者高振幅区域与高连接性枢纽解耦或逆转
[45]	卒中后非流畅性失语症(5例,19~71岁)	西方失语症成套测试	任务态 MEG	图论分析方法	275 个磁源信号探测位点	WPLI	密度、点度中心势、中介中心势、模块度、功能整合度	失语症患者网络密度升高,模块度降低
[46]	卒中后慢性失语症(43例,平均53岁)	语义流畅性测试、控制性口语词汇联想测试	任务态 fMRI	pICA	N/A	N/A	N/A	失语症患者右半球额-颞-顶网络代偿性激活
[47]	混合性皮层间失语症(4例)	波士顿诊断性失语症检查	T1 加权成像+DTI+静息态 & 任务态 fMRI	基于种子的功能连接性分析	基于 CONN 脑图谱 ROIs	Pearson 相关系数	N/A	失语症患者语言重复能力依赖左外侧裂及右半球网络

注:加权相位滞后指数(weighted phase lag index, WPLI);相位锁定值(phase locking value, PLV);局部同质性(regional homogeneity, ReHo);低频振幅(amplitude of low-frequency fluctuations, ALFF);最小生成树(minimum spanning tree, MST);平行独立成分分析(parallel independent component analysis, pICA)。N/A 表示文献中未提及此部分信息。

## 2.2 动态脑功能网络分析方法在失语症患者病理机制分析中的应用

动态脑功能网络分析方法通过捕捉大脑活动和功能连接的时变特性<sup>[34]</sup>,揭示了失语症患者脑网络的动态变化。与静态分析相比,动态分析能够提供对自发活动和功能连接的深入理解,补充静态分析法的发现,从而更有效揭示失语症患者脑部的病理机制<sup>[31-34]</sup>。

动态脑功能网络分析方法结合静息态 fMRI 已应用于失语症患者脑功能网络变化分析中。Guo 等<sup>[34]</sup>采用此方法,发现卒中后失语症患者左侧额叶和颞叶亚区的动态分离和整合(即动态功能连接性)均显著低于健康对照组,且左侧颞额亚区与右侧颞-顶-额亚网络间的交互灵活性增加,提示语言相关皮层的灵活性降低与脑半球内网络组织失调有关,进而导致其语言功能丧失。结合功能连接密度

(functional connectivity density, FCD)分析与静息态 fMRI 技术, Guo 等<sup>[48]</sup> 进一步发现, 卒中后失语症患者对侧颞回、下颞回、丘脑、岛叶和内侧颞回的 FCD 值增加, 而同侧颞回、尾状核、丘脑、梭状回和内侧颞回的 FCD 值降低, 表明卒中损伤后功能连接异常可能与语言产生、语义加工和认知障碍相关。Han 等<sup>[49]</sup> 结合 Granger 因果分析与静息态 fMRI 技术, 发现急性卒中后失语症患者右侧额中回与左侧枕中回间的网络功能连接显著增强, 且与失语症评分呈正相关, 表明患者双侧大脑间功能连接受损影响了非特异性语言网络的运作。

动态分析技术结合神经振荡分析为揭示失语症患者脑网络的频段特异性变化提供了重要信息。通过 EEG 记录的神经振荡已被证明可反映神经元兴奋和抑制机制的时间协调波动, 这些波动可在长距离和短距离脑网络间传递信息<sup>[49-51]</sup>。Sarmukadam 等<sup>[52]</sup> 结合 Granger 因果分析与 EEG 技术, 发现卒中后失语症患者在言语产生前的准备和计划阶段, 低  $\beta$  (13~20 Hz) 和高  $\beta$  (21~30 Hz) 频段的脑连接性显著增加, 其中高  $\beta$  频段的跨半球中央-中央连接性与失语症严重程度呈负相关, 顶-额连接性则与严

重程度呈正相关。Shah-Basak 等<sup>[53]</sup> 结合振幅包络相关方法与 MEG 技术, 发现卒中后慢性失语症患者左半球  $\alpha$  (8~13 Hz) 和  $\beta$  (15~30 Hz) 频段连接性显著降低。Sarmukadam 等<sup>[54]</sup> 采用 EEG 技术, 发现卒中后失语症患者在元音发音和听力任务中, 左半球额中央区 and 中央顶区的  $\delta$ 、 $\theta$  及低  $\beta$  频段的连接性显著降低, 且多模态脑网络损伤(如额下回、中央盖、顶下小叶等)可预测这些频段内的功能连接性降低。

综上所述, 动态脑功能网络分析方法揭示了失语症患者脑网络的显著动态变化: ①动态分离和整合能力变化。左侧额叶和颞叶亚区的动态分离和整合能力降低, 提示语言相关皮层的灵活性下降。②功能连接重组, 表现为对侧颞回、下颞回等区域的 FCD 值增加, 而同侧颞回、尾状核等区域的 FCD 值降低。③频段特异性变化, 如  $\theta$  频带半球间连通性增强, 低  $\gamma$  频带子网络减弱, 与语义和语音流畅性表现相关。以上研究为理解失语症的动态变化及时变特性提供了新的视角。典型的动态脑功能网络分析方法在失语症发病机制分析领域文献的应用研究, 列举文献见表 4。

表 4 动态脑功能网络分析方法在失语症病理机制分析中的应用研究

Table 4 Research on the application of dynamic brain functional network analysis in the neuropathological mechanism of aphasia

文献序号	失语症类型	失语症量表	成像模态	脑功能网络分析方法	节点定义	边定义	脑功能网络拓扑指标	研究发现
[34]	卒中后失语症患者 (17 例, 平均 53.53 岁)	汉语失语症评定量表	静息态 fMRI	动态框架分析	N/A	N/A	N/A	失语症患者左侧额叶和颞叶亚区动态分离和整合低于健康对照组。
[48]	卒中后失语症患者 (17 例, 平均 53.53 岁)	汉语失语症评定量表	静息态 fMRI	动态框架分析	N/A	N/A	N/A	失语症患者对侧 FCD 值增加, 颞回、尾状核等 FCD 值降低。
[49]	急性卒中后失语症患者 (20 例, 18~75 岁)	西方失语症成套测试	静息态 fMRI	Granger 因果关系分析	右侧中额回、Broca 区、Wernicke 区	Person 相关系数	N/A	失语症患者右侧中额回与左侧中枕回之间的功能连接增强。
[52]	卒中后失语症患者 (33 例, 平均 61.22 岁)	西方失语症成套测试 (修订版)	任务态 EEG	Granger 因果关系分析	N/A	N/A	N/A	失语症患者低- $\beta$ 和高- $\beta$ 频段内脑连接性显著增加。
[53]	卒中后慢性失语症患者 (21 例, 平均 61.5 岁)	西方失语症成套测试 (修订版)	静息态 MEG	图论分析方法+振幅包络相关	AAL 脑图谱模板 ROIs	幅度包络相关性	节点强度	失语症患者左半球 $\alpha$ 和 $\beta$ 频段连接性显著降低。
[54]	缺血性卒中后失语症患者 (40 人, 平均 61.04 岁)	西方失语症成套测试 (修订版)	任务态 EEG	加权相位滞后指数分析	ROIs (左中央前回等)	Person 和 Spearman 相关系数	功能连接	失语症患者额中央区和中央顶叶区域的连接性显著降低。

注: N/A 表示文献中未提及此部分信息。

整体而言, 动静态脑功能网络分析方法为失语症的发病机制研究中提供了关键理论和临床指

导。静态分析揭示了失语症患者脑网络的拓扑变化, 如小世界属性和局部效率下降, 反映网络专门

化与整合能力受损。动态分析进一步揭示了脑活动的时变特性,显示不同频段的功能连接异常,揭示语言功能丧失与脑区功能失调的复杂关系。未来研究或可拓展以下方向,包括:①亚型差异网络机制,深入探索不同失语症类型(如非流利性与流利性)的网络机制,比较其在大脑网络组织、功能连接模式及网络重塑方面的异同;②动态交互时空特征,聚焦脑区间功能连接的时变特性,分析网络交互灵活性及神经振荡频段变化对语言功能的影响;③不同频段连接机制,讨论失语症患者在 $\theta$ 波、低 $\gamma$ 波等频段的功能连接变化及其在语言处理中的作用,解析不同频段如何影响脑功能重组。这些研究将深化对失语症神经机制的理解,并提供更精确的临床干预依据。

### 3 脑功能网络分析方法在失语症类别及严重程度诊断中的应用

脑功能网络分析方法的持续发展,为失语症的精准诊断提供了新的视角。该方法不仅能够辅助传统诊断手段,提高失语症分类的准确性,提高对不同亚型的识别能力,还能通过量化脑网络的拓扑特征,为评估失语症的严重程度提供客观依据,进而为个性化治疗策略的制定提供科学支持。

#### 3.1 脑功能网络分析方法在失语症类别诊断中的应用

传统失语症分类依赖于语言评估工具,如西方失语症成套测试、汉语失语症评定量表等,通过患者自发言语流利度、听觉理解、复述和命名等指标来区分亚型<sup>[7,55]</sup>。此外,无监督学习方法<sup>[32]</sup>、连贯聚类方法<sup>[56]</sup>等机器学习方法也被应用于识别不同失语症亚型。近年来,脑功能网络分析方法通过解析脑网络模式,为失语症的分类与亚型识别提供了新的工具,能有效提高识别精度。

拓扑聚类技术、NBS等图论分析法有助于识别失语症患者与行为缺陷相关的脑网络损伤模式,利用不同拓扑特征区分不同失语症类型。例如,Wang等<sup>[55]</sup>首次使用拓扑聚类方法,结合持久同调技术、热扩散表示法以及傅里叶系数,成功区分了103例卒中后失语症患者的不同亚型;Riccardi等<sup>[33]</sup>采用NBS法,通过分析静息态脑功能网络的聚类系数和介数中心度,精准区分了命名障碍失语症和布洛卡失语症。此外,功能连接模式分析结合线性支持向量机法<sup>[57]</sup>,以及基于脑功能网络拓扑特征和数据驱

动的机器学习方法<sup>[58]</sup>,在卒中后失语症患者与健康人群的区分及亚型识别中展现出显著效能。

因此,脑功能网络分析方法可作为传统失语症分类诊断的有力补充。该方法依托脑功能连接和拓扑指标,能够提供更为详尽的脑网络损伤模式,从而提高失语症亚型识别的准确性。然而,近10年相关文献较少,未来需在该领域深入拓展,以进一步挖掘其在失语症分类诊断中的潜力。

#### 3.2 脑功能网络分析方法在失语症严重程度诊断中的应用

通过解析脑区间连接及其拓扑特征,脑功能网络分析方法可揭示特定脑区的损伤与语言功能障碍的关系,为失语症严重程度的诊断提供重要依据。

研究表明,图论分析法定义的枢纽节点连接强度与失语症的严重程度高度相关。例如,Zhao等<sup>[59]</sup>使用图论分析结合结构性MRI及静息态fMRI模态成像,构建多模态模型,精准诊断了卒中后慢性失语症患者的语音、语义、执行功能和流利度损害程度。Zhu等<sup>[60]</sup>采用图论法和静息态fMRI技术分析卒中后慢性失语症患者,发现双流模型区域的枢纽节点连接强度与失语症严重程度高度相关,尤其是左右脑背侧流和腹侧流区域。Mandelli等<sup>[61]</sup>使用图论分析结合基于体素的形态学纵向分析,发现非流利性失语症患者语言/言语区域功能连接越强,大脑灰质萎缩越显著,支持神经退行性病变沿特定网络扩散的假设。

此外,相位同步指数法和基线皮层萎缩测量方法等研究进一步验证了脑网络特征在诊断失语症严重程度中的作用。Kawano等<sup>[62]</sup>使用相位同步指数与静息EEG技术,发现前额叶相位同步指数值与失语症评分呈正相关,表明卒中后失语症严重程度与脑功能网络变化密切相关。Katsumi等<sup>[63]</sup>通过基线皮层萎缩测量方法,结合简单和多变量Cox回归模型,发现非语言认知和情感网络的萎缩程度可预测失语症向痴呆的进展,是失语症进展的重要预测指标。

以上研究表明,脑功能网络分析方法可通过多种指标诊断失语症的严重程度。基于图论分析法的脑功能网络节点强度、前额叶相位同步指数值等指标,均与失语症严重程度密切相关。非语言认知和情感网络的萎缩也是失语症进展的关键预测指标。典型的脑功能网络分析方法在失语症类别诊断与严重程度诊断中的应用研究,文献列举见表5。

表5 脑功能网络分析方法在失语症类别诊断与严重程度诊断中的应用研究  
Table 5 Research on the application of brain functional network analysis in the subtype classification and severity stratification diagnosis of aphasia

文献序号	失语症类型	失语症量表	成像模态	脑功能网络分析方法	节点定义	边定义	脑功能网络拓扑指标	研究发现
[55]	卒中后失语症(103例)	WAB-R	静息态 fMRI	拓扑聚类方法	AAL 脑图谱 116个 ROIs	BOLD 信号相关性	聚类系数	拓扑聚类方法可有效区分卒中后失语症不同亚型。
[33]	命名障碍失语症(15例,平均62.73岁)、布洛卡失语症(34例,平均59.82岁)	WAB-R	静息态 fMRI	基于网络的统计分析方法	AICHA 脑图谱 定义 384个 ROIs	BOLD 信号相关性	三元组、最短路径长度、聚类系数、度、介数、中心度	网络分析法可基于脑功能网络拓扑指标有效区分命名障碍失语症和布洛卡失语症。
[57]	卒中后失语症(17例)	N/A	静息态 fMRI	功能连接模式分析	全脑功能连接网络	功能连接强度	N/A	功能连接分析与支持向量机结合可识别失语症患者关键分类特征,右侧 Rolandic 区贡献最高。
[58]	卒中后失语症(296例)	来源于 Moss 失语症心理语言学项目数据库(MAPPD)	结构性 MRI	社区检测分析、随机森林分类	皮层区域(基于脑区分区)	连接强度(基于病灶分布与行为缺损模式)	全局分类准确率、类别区分度	数据驱动的机器学习方法结合随机森林分类可更准确地识别失语症亚型。
[59]	卒中后慢性失语症(70例)	大型神经心理成套测验	高分辨率 T1 加权扫描、弥散加权成像、静息态 fMRI	图论分析	Croddock 脑图谱模板 ROIs	BOLD 信号相关性	节点度	图论分析可诊断卒中后慢性失语症患者的语音、语义、执行功能与流利度严重性。
[60]	卒中后慢性失语症(28例,平均60岁)	WAB	静息态 fMRI	图论分析	任务态 fMRI 定义节点	BOLD 信号相关性	节点度	图论分析发现枢纽节点连接强度与失语症严重度高度相关。
[61]	非流利性失语症(34例)	N/A	静息态 fMRI	图论分析、基于体素的形态学纵向分析	通过健康对照组的内在连接图划分得到	Person 相关系数	节点度、功能连接	纵向萎缩的进展模式与预定的大尺度言语产出功能与结构网络的连接强度相关。
[62]	亚急性卒中后失语症(31例,平均67.6岁)	失语症标准语言测试(SLTA)	静息态 EEG	相位同步指数分析	N/A	N/A	N/A	PSI 可评估失语症严重度。
[63]	卒中后失语症(49例,平均66.39岁)	N/A	MRI	基线皮层萎缩测量方法	N/A	N/A	N/A	皮层萎缩可预测失语症患者认知退化风险。

注:西方失语症成套测试修订版(western aphasia battery-revised, WAB-R);西方失语症成套测试(western aphasia battery, WAB)。N/A 表示文献中未提及此部分信息。

可见脑功能网络分析方法在失语症类别及严重程度诊断中的应用,为该领域提供了新的理论机制与实践指向。在理论机制方面,未来研究应聚焦于深入探究脑功能网络损伤模式与失语症亚型及严重程度的对应关系,结合多组学数据,揭示神经退行性病变的分子机制,为精准诊断和治疗提供理论支持。在临床应用方面,未来需致力于开发基于脑功能网络分析的临床诊断工具,优化其应用流程和标准,提高诊断效率和准确性。同时,结合人工智能技术,构建智能诊断模型,实现自动化、精准化诊断,尤其是在神经退行性病变的早期预测与个性化干预中的应用,探索其在个性化治疗方案制定中的应用潜力,为失语症患者的康复治疗提供更具针对性的指导。同时,多模态数据整合与脑网络动态变化的实时监测,

将可能为临床提供更为全面、精确的评估工具。

## 4 脑功能网络分析方法在失语症疗效评价中的应用

尽管失语症治疗方法被广泛应用于临床,但其神经机制及疗效尚不完全明晰<sup>[64-65]</sup>。脑功能网络分析方法通过揭示大脑功能连接的变化或重组<sup>[66]</sup>,为治疗效果评估提供了重要支持。近年来,越来越多的研究聚焦于脑功能网络分析在失语症疗效评价中的应用。

### 4.1 脑功能网络分析方法在失语症语言疗法效果评价中的应用

脑功能网络分析方法,尤其是图论分析与基于

种子点的静态脑功能网络分析,已被证明在评价失语症语言疗法效果中的有效性。例如,Baliki等<sup>[65]</sup>利用图论分析法与静息态fMRI,比较了卒中后失语症患者在强化综合失语症治疗前后的脑功能网络变化,发现治疗前脑功能连接特性与疗效密切相关,且全局效率与半球间连接性与语言及视觉注意力的改善相关<sup>[38]</sup>。Johnson等<sup>[67]</sup>采用图论分析法结合任务态fMRI,发现较高的网络拓扑指标与命名治疗效果相关,功能网络属性可作为预后指标。基于种子点或ROI的功能连接分析亦广泛应用于疗效评价。Katsuno等<sup>[68]</sup>结合基于种子点的分析法与静息态fMRI,发现强化言语治疗改善了失语症患者的语言和认知功能,且与语言及注意力相关脑区的功能连接增强。Dreyer等<sup>[69]</sup>采用基于ROI的分析结合任务态fMRI,探讨了强化语言动作治疗后失语症患者语言能力改善的神经机制,发现治疗提高了语言加工相关跨领域神经网络的效率。Song等<sup>[70]</sup>使用语义流畅性任务态fMRI和行为测量数据的多变量分析,成功预测了慢性期失语症患者接受命名疗法、范畴范例生成疗法等语言治疗后的效果,发现特定脑区生物标志物与语言功能改善高度一致。

动态脑功能网络分析方法同样揭示了治疗后的脑网络重组。例如,Truzman等<sup>[37]</sup>采用动态因果模型结合任务态fMRI,发现语音治疗可促进右半球网络的补偿性重组。Abel等<sup>[66]</sup>首次通过联合独立成分分析法将病灶部位与治疗引发的脑部重组进行关联,结合任务态fMRI,发现治疗后失语症患者双侧语言网络的代偿性变化。Duncan和Small<sup>[71]</sup>采用ICA和滑动窗口方法,结合静息态fMRI,发现特定动态状态持续时间与治疗后语言能力改善显著相关。

脑功能网络分析方法为失语症语言疗法治疗效果的精确评估提供了强有力的工具,尤其在神经重组机制的揭示中具有重要价值。

## 4.2 脑功能网络分析方法在失语症其他非语言行为为疗效效果评价中的应用

除去语言疗法,脑功能网络分析方法在非语言行为疗法(如非侵入式脑刺激疗法、中医针灸疗法、复合疗法)对失语症治疗效果的评价中也取得了显著进展。

### 4.2.1 非侵入式脑刺激疗法

脑功能网络分析方法可用于评价非侵入式脑刺激疗法对失语症患者的疗效。例如,Song等<sup>[72]</sup>结合基于种子点的分析法与静息态fMRI,研究了经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)对急性期和恢复期脑梗死后失语症患者的即

时效果,发现tDCS显著改善图形命名能力,并增强双侧额-颞叶功能连接。此外,Fenner等<sup>[73]</sup>发现,tDCS可以显著改善失语症患者的书面动词命名能力,且这种改善与特定脑区的功能连接变化密切相关。此外,Xu等<sup>[74]</sup>的试点研究使用基于种子点的分析结合fMRI技术,捕捉了间歇性经颅磁刺激(intermittent transcranial magnetic stimulation, iTBS)治疗后卒中后失语症患者的神经可塑性变化。研究发现,iTBS疗法能显著改善患者语言功能并增强语言相关脑区的连接。

### 4.2.2 中医针灸疗法

在中医疗法的疗效评价中,静态与动态脑功能网络分析方法也取得了显著成果。例如,张斌龙等<sup>[18]</sup>通过静息态fMRI和脑功能网络分析方法,发现“益髓醒神”针刺疗法可显著改善患者语言功能,并增强皮层及皮层下网络的连接。Xu等<sup>[75]</sup>通过静态ICA与广义心理生理交互作用分析和动态ICA,对静息态fMRI信号进行分析,发现电针刺激疗法能够显著调节卒中后失语症患者的大脑功能连接模式,尤其在语言、感觉运动及枕叶皮层等区域的节点活动上发挥作用。

### 4.2.3 复合疗法

在复合疗法的效果评价中,图论分析结合静息态fMRI、fNIRS和EEG等技术展现了显著应用潜力。例如,Chang等<sup>[76]</sup>使用图论分析结合fNIRS,发现高频重复经颅磁刺激联合言语治疗可显著改善卒中后慢性失语症患者的语言功能,增强左半球聚类系数及语言生成区域的互动。Tao等<sup>[77]</sup>使用图论分析法结合静息态fMRI,发现tDCS联合书写命名治疗可提升失语症患者左额下回三角区的功能分离性,优化语言网络功能。Dattola和La Foresta<sup>[78]</sup>使用图论分析法和EEG,揭示康复治疗有助于平衡卒中后失语症患者左右半球的局部与全局效率,促进新神经模式形成以补偿受损网络。吕天丽等<sup>[19]</sup>采用ICA结合静息态fMRI,发现卒中后基底节失语症患者在接受“益髓醒神”针刺联合语言康复训练后,基底节网络与默认网络及听觉网络的连接性显著增强,进一步验证了复合疗法在语言功能恢复中的促进作用。

脑功能网络分析方法在失语症治疗效果评价中的应用为揭示治疗机制、优化康复策略提供了重要的理论与临床价值。现有研究表明,语言疗法、非侵入式脑刺激疗法、中医针灸疗法及复合疗法均可通过影响脑功能网络的拓扑结构、功能连接及动态重组促进语言恢复。这些发现不仅证实了治疗前脑网

络特征的预后价值,也揭示了治疗诱导的网络重组模式与临床改善的关联。表6列举了典型的脑功能

网络分析方法在失语症治疗方法效果评价中的应用研究。

表6 脑功能网络分析方法在失语症治疗方法效果评价中的应用研究  
Table 6 Research on the application of brain functional network analysis in the therapeutic outcome assessment of aphasia

文献序号	失语症类型	疗法	失语症量表	成像模态	脑功能网络分析方法	脑功能网络拓扑指标	研究发现
[65]	卒中后失语症(8例, 20~78岁)	强化综合失语症项目, 4周	WAB-R、BNT	静息态 fMRI	图论分析	全局效率、半球间连接性、模块化等	大规模特性如全局效率和半球间连接性分别与语言和视觉注意力改善相关。
[67]	卒中后慢性失语症(26例, 48~80岁)	命名治疗, 12周	WAB-R	任务态 fMRI	图论分析	节点强度、聚类系数、局部效率、平均强度/网络强度等	语义网络中较高的全局效率和强度可能是语义命名治疗改善的有利预后指标。
[68]	卒中后慢性布洛卡失语(2例)	自创言语支持 APP 治疗, 8周	SLTA、SLTA-ST	静息态 fMRI	基于种子点的方法	ROI 间功能连接	强化言语治疗增强患者语言和注意力相关脑区的功能连接,促进语言与认知恢复。
[69]	卒中后慢性失语症(16例)	强化语言动作治疗(4周)	AAT	任务态 fMRI	基于 ROI 的分析	N/A	强化语言动作治疗影响患者默认模式网络的 BOLD 信号变化,与语言改善密切相关。
[70]	卒中后慢性失语症(17例)	命名疗法(2周)、范畴范例生成疗法(1周)	WAB-R、BNT	任务态 fMRI	基于成像的行为预测多变量方法	N/A	基于成像的行为预测方法表明,语言治疗(命名、范畴生成)的疗效在特定脑区保持一致。
[37]	卒中后慢性失语症(17例)	命名疗法(2周)、范畴范例生成疗法(1周)	WAB-R、BNT	任务态 fMRI	动态因果建模	功能连接	接受治疗后,患者在语音任务中右半球连接性增强,表明存在神经语言重组。
[66]	卒中后慢性失语症(14例)	强化词汇治疗(4周)	N/A	任务态 fMRI	联合独立成分分析	N/A	接受治疗后,患者病灶周围及对侧大脑激活增强,表现出双侧代偿(冗余恢复)。
[71]	卒中后慢性失语症(12例, 31~70岁)	口型模仿和说话以达到失语症治疗效果治疗法	N/A	静息态 fMRI	独立成分分析、滑动窗口方法	N/A	接受治疗后,患者静息状态网络之间的相关性较低,表明功能网络的独立性和隔离性增强。
[72]	脑梗死失语症(28例)	经颅直流电刺激	PACA	静息态 fMRI	基于种子点的方法	功能连接	tDCS 治疗显著改善患者图形命名能力,增强双侧额颞叶功能连接。
[74]	卒中后失语症	间歇性经颅磁刺激	C-WAB	静息态 fMRI	基于种子点的方法	N/A	接受治疗后,患者的语言功能显著改善,且与语言相关的脑区功能连接增强。

续表

文献序号	失语症类型	疗法	失语症量表	成像模式	脑功能网络分析方法	脑功能网络拓扑指标	研究发现
[18]	卒中后失语症(3例)	“益髓醒神”针刺方案	BDAE、WAB	静息态fMRI	只说是“脑功能网络分析方法”,未说细节	脑网络内部、外部连接强度	皮层语言网络与皮层下网络外部连接在失语症恢复中起关键作用,可能是针刺治疗促进语言恢复的基础。
[75]	卒中后失语症(19例,33~78岁)	电针刺刺激通里穴(HT5)和悬钟穴(GB39)	CRRCAE	静息态fMRI	静态&动态独立成分分析、广义心理生理交互作用分析	N/A	接受治疗后,患者在突显网络(左侧壳核、中央后回/角回)激活增强,表现出更高的静态与动态功能连接变异性。
[76]	非流畅性失语(5例)	高频重复经颅磁刺激+言语治疗	K-WAB	功能性近红外成像	图论分析	全局效率、聚类系数	接受治疗后,患者左半球聚类系数增加,右半球减少,全局效率降低,表现出特定稀疏范围内的神经适应。
[77]	原发性进行性失语症(32例,平均67岁)	经颅直流电刺激+书写命名治疗	FTLD-CDR	静息态fMRI	图论分析方法	全局连接	治疗可减少患者LIFG-tri与外侧Sylvian语言区以外区域的连接,引发特定神经效应。
[78]	卒中后传导性失语症(1例,50岁)	药物治疗+康复治疗(体能训练、神经心理学训练、语言训练等)	N/A	任务态EEG	图论分析方法	全局效率、局部效率	康复治疗可平衡患者左右半球的局部和全局效率,促进新神经模式形成,以补偿受损神经网络。
[19]	卒中后基底节失语症(16例,35~80岁)	中医疗法+语言康复训练	WAB	静息态fMRI	基于ICA的静息态脑功能网络连通性分析	脑功能网络连通性	接受治疗后,患者基底节-视觉-楔前叶网络连接减弱,前凸显-双侧额顶连接减弱,而默认-听觉-额顶-视觉网络连接增强。

注:西方失语症成套测试修订版(western aphasia battery-revised, WAB-R);波士顿命名测试(Boston naming test, BNT);标准化失语症测验(standard language test of aphasia, SLTA);标准化失语症测验补充测验(standard language test of aphasia-supplementary test, SLTA-ST);亚琛失语症测试(Aachen aphasia test, AAT);汉语失语症心理语言评量表(psycholinguistic assessment of Chinese aphasia, PACA);中文版西方失语症成套测试(Chinese version of the western aphasia battery, C-WAB);波士顿诊断性失语症检查(Boston diagnostic aphasia examination, BDAE);中国康复研究中心汉语标准失语检查(Chinese Rehabilitation Research Center standard aphasia examination, CRRCAE);韩语版西方失语症成套测试(Korean version of the western aphasia battery, K-WAB);额颞叶变性临床痴呆评定量表语言子表(clinical dementia rating scale language subscale for frontotemporal lobar degeneration, FTLD-CDR);西方失语症成套测试(western aphasia battery, WAB)。N/A表示文献中未提及此部分信息。

未来研究可从以下方面进一步拓展:①建立标准化分析流程,开发简化的临床应用方案,提升技术可及性;②开展大样本多中心验证研究,明确不同疗法的适应症,提高研究结果的普适性与可推广性;③整合多模态影像技术,结合DTI等结构影像与功能影像,解析治疗对脑结构-功能耦合的长期影响;④探索个体化治疗预测模型,利用大规模数据构建

精准预测模型,以优化个性化治疗方案;⑤深入解析神经可塑性机制,采用动态因果模型、滑动窗口等方法,探讨不同疗法的作用通路及脑网络的时变特征;⑥拓展临床应用,结合可穿戴脑影像设备,实现床旁实时监测,助力远程康复与智能化干预。这些研究方向的推进将进一步深化对失语症康复机制的理解,并促进精准治疗策略的发展。以上工作将推动

脑功能网络分析从实验室走向临床,为失语症的精准康复提供科学依据。

## 5 结语与展望

本研究系统综述了脑功能网络分析方法在失语症研究中的应用,揭示了其在病理机制解析、类别诊断、严重程度诊断、治疗方法效果评价中的广阔应用潜力。通过整合静态与动态分析方法,结合多种神经影像技术,研究发现失语症患者的脑功能网络呈现显著异常,包括拓扑结构改变、功能连接重塑及频率带特异性变化。这些发现不仅深化了对失语症病理机制的理解,还为临床诊断与个性化干预提供了科学依据。本综述主要结论如下:①失语症患者的脑功能网络存在显著病理性改变。相比健康个体,失语症患者的小世界属性和局部效率显著下降,功能连接在右脑背侧通路增强而腹侧通路减弱,同时 $\theta$ 频带半球间连通性增强而低 $\gamma$ 频带子网络减弱,尤其在左侧语言相关脑区(如颞叶、额叶)表现出明显的拓扑结构异常。动态分析进一步揭示患者左侧颞叶与额叶的动态整合能力下降,而跨半球交互增强,反映出脑功能重组特征。这些变化与患者的语言能力(如复述、命名及听理解)密切相关,可作为严重程度量化的神经影像学指标。②脑功能网络分析方法可辅助提升失语症的诊断精度。相比传统诊断方法,该技术能揭示更精细的脑网络损伤模式,辅助精准亚型分类。结合机器学习方法,可从海量神经影像数据中提取关键特征,实现快速、精准的亚型分类,提高自动化诊断的准确性。此外,脑功能网络的节点强度与失语症严重程度高度相关,前额叶相位同步指数与失语症评分呈正相关,表明该方法在疾病严重程度诊断中的应用价值。③脑功能网络分析方法可有效评价不同治疗方法的疗效。通过静态与动态脑功能网络分析,可量化不同疗法对失语症患者脑功能网络的影响,从神经影像学角度为临床医生提供治疗效果的客观评价依据。④脑功能网络分析方法的临床应用仍面临挑战。尽管该方法在失语症研究中取得了重要进展,但其临床推广仍受多种因素制约。例如,当前研究主要依赖fMRI和EEG,而MEG及fNIRS的应用较少;研究多采用单模态神经影像技术,而多模态数据整合的相关研究尚不充分。此外,动态功能连接分析计算复杂度较高,限制其临床推广。此外,基于脑功能网络的亚型分类研究较少,未来需加强探索,以推动精准医学应用。

为推动脑功能网络分析方法在失语症研究中的应用,未来研究可在以下方面深化探索:①加强纵向研究与多模态数据整合。当前研究多集中于横断面分析,缺乏对失语症患者脑功能网络动态变化的长期追踪。未来应加强纵向设计,追踪患者从急性期到慢性期的脑网络重组过程,揭示语言功能恢复的神经机制。同时,整合fMRI、EEG、MEG、fNIRS等多模态影像数据,以提供更全面的脑网络图谱。②推动人工智能在临床诊治中的应用。机器学习(如深度学习、图神经网络)可用于自动提取失语症相关生物标志物,提高个性化治疗方案的精准性。同时,可开发基于脑功能网络的预测模型,量化康复潜力与疗效,为临床决策提供支持。③优化动态功能连接分析方法。动态功能连接分析能够捕捉脑网络的时变特性,但其计算复杂、解释难度高。未来应开发更高效、稳定的分析方法,结合任务态和静息态数据,揭示失语症患者的脑网络重组机制。④加强失语症亚型类别诊断研究。当前研究多关注整体脑功能网络异常,对不同亚型的脑网络特征探索较少。未来应利用更精细的分析策略,精准识别失语症亚型特征,以优化个性化诊断和治疗。⑤推动临床转化与个性化智能康复。脑功能网络分析方法的最终目标是服务于临床实践。未来研究可探索基于脑功能网络的生物标志物,将其应用于失语症的早期诊断和预后预测,并结合脑网络分析结果制定个性化神经调控方案。此外,可探索远程医疗和家庭康复应用,开发智能化康复系统,实现个性化实时监测与反馈。

脑功能网络分析方法为失语症的研究提供了全新视角,显著推动了对其病理机制解析和临床诊疗优化。然而,该方法的广泛应用仍需解决多模态数据整合、计算复杂度、临床可及性等挑战。未来,通过加强纵向研究、优化分析方法、推动人工智能应用,脑功能网络分析有望在精准诊断与个性化治疗中发挥更大作用,最终改善患者生活质量和社会参与度。

## 参考文献:

- [1] Sherratt S. Aphasia and dysphasia on the internet [J]. *Aphasiology*, 2021, 35(9): 1227-1237.
- [2] de Kleine N, Rose ML, Weinborn M, et al. Does gesture improve the communication success of people with aphasia: a systematic review [J]. *Aphasiology*, 2024, 38(3): 462-486.
- [3] Klingbeil J, Wawrzyniak M, Stockert A, et al. Resting-

- state functional connectivity: an emerging method for the study of language networks in post-stroke aphasia [J]. *Brain Cogn*, 2019, 131: 22-33. doi:10.1016/j.bandc.2017.08.005
- [4] 刘佳, 范琳. 汉语失语症研究: 回顾与展望[J]. *山东外语教学*, 2024, 45(3): 23-33.
- LIU Jia, FAN Lin. Studies on Chinese Aphasia: Retrospect and Prospect [J]. *Shandong Foreign Language Teaching*, 2024, 45(3): 23-33.
- [5] Adikari A, Hernandez N, Alahakoon D, et al. From concept to practice: a scoping review of the application of AI to aphasia diagnosis and management [J]. *Disabil Rehabil*, 2024, 46(7): 1288-1297.
- [6] Baldassarre A, Metcalf NV, Shulman GL, et al. Brain networks' functional connectivity separates aphasic deficits in stroke [J]. *Neurology*, 2019, 92(2): 125-135.
- [7] Wang Y, Yin J, Desai RH. Topological inference on brain networks across subtypes of post-stroke aphasia [EB/OL]. 2023: 2311.01625. <https://arxiv.org/abs/2311.01625v1>
- [8] 李国华, 陆艺, 王胜秋. 不同频率重复经颅磁刺激治疗脑梗死后失语症的疗效[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2023, 61(7): 83-89.
- LI Guohua, LU Yi, WANG Shengqiu. Observation of the effects of different frequencies of repetitive transcranial magnetic stimulation on aphasia in postcerebral infarction patients [J]. *Journal of Shandong University (Health Sciences)*, 2023, 61(7): 83-89.
- [9] Hersh D, Williamson C, Brogan E, et al. "It's day to day problems:" Experiences of people with aphasia who live alone [J]. *Int J Speech Lang Pathol*, 2024, 26(3): 367-379.
- [10] Kao SK, Chan CT. Increased risk of depression and associated symptoms in poststroke aphasia [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 21352. doi:10.1038/s41598-024-72742-z
- [11] Burfein P, Roxbury T, Doig EJ, et al. Return to work for stroke survivors with aphasia: a quantitative scoping review [J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2024: 1-35. doi:10.1080/09602011.2024.2381874
- [12] Mehraram R, Kries J, De Clercq P, et al. EEG reveals brain network alterations in chronic aphasia during natural speech listening [J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 2441. doi:10.1038/s41598-025-86192-8
- [13] 李笑仙, 苏薇洁, 俞璐, 等. 针刺治疗缺血性卒中后失语的机制研究 [J]. *上海针灸杂志*, 2025, 44(6): 660-666.
- LI Xiaoxian, SU Weijie, YU Lu, et al. 2024. Mechanism study of acupuncture treatment for post-ischemic stroke aphasia [J]. *Shanghai Journal of Acupuncture and Moxibustion*, 2025, 44(6): 660-666.
- [14] 姜小梅, 王萍芝. 基于静息态功能磁共振成像的慢性意识障碍脑功能网络研究进展 [J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2024, 22(11): 1981-1984.
- [15] Venkadesh S, Van Horn JD. Integrative models of brain structure and dynamics: concepts, challenges, and methods [J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 752332. doi:10.3389/fnins.2021.752332
- [16] Candemir C, Akram VK, Gonul AS. The impact of mental activities and age on brain network: an analysis from complex network perspective [J]. *IEEE Trans Emerg Top Comput Intell*, 2024, 8(4): 2791-2803.
- [17] Sunil G, Gowtham S, Bose A, et al. Graph neural network and machine learning analysis of functional neuroimaging for understanding schizophrenia [J]. *BMC Neurosci*, 2024, 25(1): 2. doi:10.1186/s12868-023-00841-0
- [18] 张斌龙, 常静玲, 韩奕, 等. 基于脑功能网络分析技术下: "益髓醒神" 针刺治疗不同部位卒中后失语的案例分析 [J]. *环球中医药*, 2019, 12(6): 929-932.
- [19] 吕天丽, 马佳骏, 刘璐, 等. 卒中后基底节失语症患者针刺联合语言康复训练前后静息态脑功能网络连通性变化分析 [J]. *中国医师杂志*, 2023, 25(9): 1313-1318.
- LYU Tianli, MA Jiajun, LIU Lu, et al. Analysis of changes in connectivity of resting brain functional network before and after acupuncture combined with language rehabilitation training in patients with basal ganglia aphasia after stroke [J]. *Chinese Journal of Physicians*, 2023, 25(9): 1313-1318.
- [20] 尹涛, 何昭璇, 马培宏, 等. 针刺功能磁共振成像研究任务设计方法述评 [J]. *中华中医药学刊*, 2019, 37(7): 1657-1660.
- YIN Tao, HE Zhaoxuan, MA Peihong, et al. A narrative review of task design in acupuncture-fMRI researches [J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, 2019, 37(7): 1657-1660.
- [21] Tang JP, Xiang XL, Cheng XL. The progress of functional magnetic resonance imaging in patients with poststroke aphasia [J]. *J Healthc Eng*, 2022, 2022: 3270534. doi:10.1155/2022/3270534
- [22] Babaeghazvini P, Rueda-Delgado LM, Gooijers J, et al. Brain structural and functional connectivity: a review of combined works of diffusion magnetic resonance imaging and electro-encephalography [J]. *Front Hum Neurosci*, 2021, 15: 721206. doi:10.3389/fnhum.2021.721206
- [23] Sarmukadam K, Behroozmand R. Aberrant beta-band brain connectivity predicts speech motor planning deficits in post-stroke aphasia [J]. *Cortex*, 2022, 155: 75-89. doi:10.1016/j.cortex.2022.07.001
- [24] 徐桂芝, 于洪丽, 杨硕, 等. 基于 EEG 的脑源定位与脑功能网络 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2021: 1-207.
- [25] Du YH, Fang SK, He XY, et al. A survey of brain

- functional network extraction methods using fMRI data [J]. *Trends Neurosci*, 2024, 47(8): 608-621.
- [26] 于春水, 马林, 张伟国. 颅脑影像诊断学[M]. 3版. 北京: 人民卫生出版社, 2019: 1-688.
- [27] Liu JY, Yang WX, Ma YL, et al. Effective hyper-connectivity network construction and learning: application to major depressive disorder identification[J]. *Comput Biol Med*, 2024, 171: 108069. doi: 10.1016/j.combiomed.2024.108069
- [28] Schulze J, Sinke C, Neumann I, et al. Effects of glabellar botulinum toxin injections on resting-state functional connectivity in borderline personality disorder [J]. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*, 2024, 274(1): 97-107.
- [29] Parker AJ, Walker JC, Jordan LS, et al. Neural mechanisms of inhibitory control in preadolescent irritability: Insights from the ABCD study[J]. *Biol Psychol*, 2024, 192: 108856.
- [30] Safari M, Shalhaf R, Bagherzadeh S, et al. Classification of mental workload using brain connectivity and machine learning on electroencephalogram data [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 9153. doi: 10.1038/s41598-024-59652-w
- [31] Xie JP, Zhang WD, Yu C, et al. Abnormal static and dynamic brain network connectivity associated with chronic tinnitus[J]. *Neuroscience*, 2024, 554: 26-33. doi: 10.1016/j.neuroscience.2024.06.034
- [32] Gonzalez-Burgos L, Pereira JB, Mohanty R, et al. Cortical networks underpinning compensation of verbal fluency in normal aging[J]. *Cereb Cortex*, 2021, 31(8): 3832-3845.
- [33] Riccardi N, Zhao XP, den Ouden DB, et al. Network-based statistics distinguish anomia and Broca's aphasia [J]. *Brain Struct Funct*, 2024, 229(9): 2237-2253.
- [34] Guo J, Biswal BB, Han SQ, et al. Altered dynamics of brain segregation and integration in poststroke aphasia [J]. *Hum Brain Mapp*, 2019, 40(11): 3398-3409.
- [35] Tao W, Lu X, Yuan S, et al. Unstable functional brain states and reduced cerebro-cerebellar modularity in elderly individuals with subjective cognitive decline[J]. *Neuroimage*, 2025, 305: 120969. doi:10.1016/j.neuroimage.2024.120969
- [36] 陈芷涵, 王容, 李郁欣, 等. 功能磁共振成像动态脑功能连接网络分析方法及其在脑疾病中的应用[J]. *中国临床神经科学*, 2020, 28(5): 571-578.  
CHEN Zhihan, WANG Rong, LI Yuxin, et al. Dynamic function connectivity network analysis methods of functional magnetic resonance image and its application in brain diseases [J]. *Chinese Journal of Clinical Neurosciences*, 2020, 28(5): 571-578.
- [37] Truzman T, Rochon E, Meltzer J, et al. Simultaneous normalization and compensatory changes in right hemisphere connectivity during aphasia therapy[J]. *Brain Sci*, 2021, 11(10): 1330. doi:10.3390/brainsci11101330
- [38] Gonzalez-Burgos L, Pereira JB, Mohanty R, et al. Cortical networks underpinning compensation of verbal fluency in normal aging [J]. *Cereb Cortex*, 2021, 31(8): 3832-3845.
- [39] Chen XY, Chen LT, Zheng SN, et al. Disrupted brain connectivity networks in aphasia revealed by resting-state fMRI[J]. *Front Aging Neurosci*, 2021, 13: 666301. doi:10.3389/fnagi.2021.666301
- [40] 樊瑞文, 李晓琳, 黄幸, 等. 基于语言双流模型的卒中后失语右脑功能网络研究[J]. *中国康复理论与实践*, 2020, 26(5): 572-578.  
FAN Ruiwen, LI Xiaolin, HUANG Xing, et al. Functional connectivities in right hemisphere for post-stroke aphasia: based on dual stream model[J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice*, 2020, 26(5): 572-578.
- [41] Utianski RL, Botha H, Caviness JN, et al. A preliminary report of network electroencephalographic measures in primary progressive apraxia of speech and aphasia [J]. *Brain Sci*, 2022, 12(3): 378. doi: 10.3390/brainsci12030378
- [42] Li HZ, Zhang H, Xu S, et al. Altered spontaneous brain activity in poststroke aphasia: a resting-state fMRI study [J]. *Brain Sci*, 2023, 13(2): 300. doi:10.3390/brainsci13020300
- [43] Mehraram R, Kries J, De Clercq P, et al. EEG reveals brain network alterations in chronic aphasia during natural speech listening[J]. *Sci Rep*, 2025, 15: 2441. doi: 10.1038/s41598-025-86192-8
- [44] Lin F, Cheng SQ, Qi DQ, et al. Brain hothubs and dark functional networks: correlation analysis between amplitude and connectivity for Broca's aphasia [J]. *PeerJ*, 2020, 8: e10057. doi:10.7717/peerj.10057
- [45] 林枫, 江钟立, 程少强, 等. 非流畅性失语症脑功能网络分析[J]. *中国康复医学杂志*, 2017, 32(3): 269-274.  
LIN Feng, JIANG Zhongli, CHENG Shaoqiang, et al. Functional brain network analyses of language functions in non-fluent aphasics[J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, 2017, 32(3): 269-274.
- [46] Griffis JC, Nenert R, Allendorfer JB, et al. Parallel ICA reveals linked patterns of structural damage and fMRI language task activation in chronic post-stroke aphasia [J]. *arXiv E Prints*, 2016; arXiv: 1610.04201. doi:10.48550/arXiv.1610.04201
- [47] López-Barroso D, Paredes-Pacheco J, Torres-Prioris MJ, et al. Brain structural and functional correlates of the

- heterogenous progression of mixed transcortical aphasia [J]. *Brain Struct Funct*, 2023, 228(5): 1347-1364.
- [48] Guo J, Yang M, Biswal BB, et al. Abnormal functional connectivity density in post-stroke aphasia [J]. *Brain Topogr*, 2019, 32(2): 271-282.
- [49] Han LY, Ke J, Zhang DW, et al. Altered functional connectivity in language and non-language brain networks in patients diagnosed with acute post-stroke aphasia [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2023, 235: 108044. doi:10.1016/j.clineuro.2023.108044
- [50] Engel AK, Fries P. Beta-band oscillations: signalling the status quo? [J]. *Curr Opin Neurobiol*, 2010, 20(2): 156-165.
- [51] Schomer DL, Lopes da Silva FH. Niedermeyer's electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields (7th ed.) [M]. Oxford: Oxford University Press, 2017: 1-1264.
- [52] Sarmukadam K, Behroozmand R. Aberrant beta-band brain connectivity predicts speech motor planning deficits in post-stroke aphasia [J]. *Cortex*, 2022, 155: 75-89. doi:10.1016/j.cortex.2022.07.001
- [53] Shah-Basak P, Sivaratnam G, Teti S, et al. Electrophysiological connectivity markers of preserved language functions in post-stroke aphasia [J]. *Neuroimage Clin*, 2022, 34: 103036. doi:10.1016/j.nicl.2022.103036
- [54] Sarmukadam K, Behroozmand R. Neural oscillations reveal disrupted functional connectivity associated with impaired speech auditory feedback control in post-stroke aphasia [J]. *Cortex*, 2023, 166: 258-274. doi:10.1016/j.cortex.2023.05.015
- [55] Wang Y, Yin J, Desai RH. Topological inference on brain networks across subtypes of post-stroke aphasia [J]. *ArXiv*, 2023: 2311.01625v1
- [56] John AA, Javali M, Mahale R, et al. Clinical impression and Western Aphasia Battery classification of aphasia in acute ischemic stroke: is there a discrepancy? [J]. *J Neurosci Rural Pract*, 2017, 8(1): 74-78.
- [57] Yang M, Li J, Li ZQ, et al. Whole-brain functional connectome-based multivariate classification of post-stroke aphasia [J]. *Neurocomputing*, 2017, 269: 199-205. doi:10.1016/j.neucom.2016.10.094
- [58] Landrigan JF, Zhang FQ, Mirman D. A data-driven approach to post-stroke aphasia classification and lesion-based prediction [J]. *Brain*, 2021, 144(5): 1372-1383.
- [59] Zhao Y, Cox CR, Lambon Ralph MA, et al. Using in vivo functional and structural connectivity to predict chronic stroke aphasia deficits [J]. *Brain*, 2023, 146(5): 1950-1962.
- [60] Zhu HZ, Fitzhugh MC, Keator LM, et al. How can graph theory inform the dual-stream model of speech processing? a resting-state fMRI study of post-stroke aphasia [J]. *bioRxiv*, 2023: 2023.04.17.537216. doi:10.1101/2023.04.17.537216
- [61] Mandelli ML, Vilaplana E, Brown JA, et al. Healthy brain connectivity predicts atrophy progression in non-fluent variant of primary progressive aphasia [J]. *Brain*, 2016, 139(10): 2778-2791.
- [62] Kawano T, Hattori N, Uno Y, et al. Association between aphasia severity and brain network alterations after stroke assessed using the electroencephalographic phase synchrony index [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 12469. doi:10.1038/s41598-021-91978-7
- [63] Katsumi Y, Quimby M, Hochberg D, et al. Association of regional cortical network atrophy with progression to dementia in patients with primary progressive aphasia [J]. *Neurology*, 2023, 100(3): 286-296.
- [64] Thiel A, Zumbansen A. The pathophysiology of post-stroke aphasia: a network approach [J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2016, 34(4): 507-518.
- [65] Baliki MN, Babbitt EM, Cherney LR. Brain network topology influences response to intensive comprehensive aphasia treatment [J]. *NeuroRehabilitation*, 2018, 43(1): 63-76.
- [66] Abel S, Weiller C, Huber W, et al. Therapy-induced brain reorganization patterns in aphasia [J]. *Brain*, 2015, 138(4): 1097-1112.
- [67] Johnson JP, Meier EL, Pan Y, et al. Pre-treatment graph measures of a functional semantic network are associated with Naming therapy outcomes in chronic aphasia [J]. *Brain Lang*, 2020, 207: 104809. doi:10.1016/j.bandl.2020.104809
- [68] Katsuno Y, Ueki Y, Ito K, et al. Effects of a new speech support application on intensive speech therapy and changes in functional brain connectivity in patients with post-stroke aphasia [J]. *Front Hum Neurosci*, 2022, 16: 870733. doi:10.3389/fnhum.2022.870733
- [69] Dreyer FR, Doppelbauer L, Büscher V, et al. Increased recruitment of domain-general neural networks in language processing following intensive language-action therapy: fMRI evidence from people with chronic aphasia [J]. *Am J Speech Lang Pathol*, 2021, 30(1): 455-465.
- [70] Song SE, Krishnamurthy LC, Rodriguez AD, et al. Methodologies for task-fMRI based prognostic biomarkers in response to aphasia treatment [J]. *Behav Brain Res*, 2023, 452: 114575. doi:10.1016/j.bbr.2023.114575
- [71] Susan Duncan E, Small SL. Changes in dynamic resting state network connectivity following aphasia therapy [J]. *Brain Imaging Behav*, 2018, 12(4): 1141-1149.

- [72] Song YC, Liu FH, Kang LQ, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on graph Naming function and brain connectivity in postinfarction aphasia patients: an fMRI study [J]. *Folia Phoniatr Logop*, 2024, 76(3): 264-272.
- [73] Fenner AS, Webster KT, Ficek BN, et al. Written verb Naming improves after tDCS over the left IFG in primary progressive aphasia[J]. *Front Psychol*, 2019, 10: 1396. doi:10.3389/fpsyg.2019.01396
- [74] Xu S, Yang Q, Chen MY, et al. Capturing neuroplastic changes after iTBS in patients with post-stroke aphasia: a pilot fMRI study[J]. *Brain Sci*, 2021, 11(11): 1451. doi:10.3390/brainsci11111451
- [75] Xu MJ, Gao Y, Zhang H, et al. Modulations of static and dynamic functional connectivity among brain networks by electroacupuncture in post-stroke aphasia [J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 956931. doi: 10.3389/fneur.2022.956931
- [76] Chang WK, Park J, Lee JY, et al. Functional network changes after high-frequency rTMS over the most activated speech-related area combined with speech therapy in chronic stroke with non-fluent aphasia[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 690048. doi:10.3389/fneur.2022.690048
- [77] Tao Y, Ficek B, Wang ZY, et al. Selective functional network changes following tDCS-augmented language treatment in primary progressive aphasia [J]. *Front Aging Neurosci*, 2021, 13: 681043. doi:10.3389/fnagi.2021.681043
- [78] Dattola S, La Foresta F. Effect of rehabilitation on brain functional connectivity in a stroke patient affected by conduction aphasia[J]. *Appl Sci*, 2022, 12(12): 5991. doi:10.3390/app12125991

(编辑:李伟)

(上接第 102 页)

- [23] 陈英, 张之福, 陈炜, 等. 高血糖对脑卒中预后的影响分析[J]. *中国医药科学*, 2012, 2(21): 70-71.  
CHEN Ying, ZHANG Zhifu, CHEN Wei, et al. Influence analysis of hyperglycemia and cerebral apoplexy prognosis[J]. *China Medicine and Pharmacy*, 2012, 2(21): 70-71.
- [24] 胡耀凯, 韩雄. 前后循环动脉粥样硬化性脑卒中危险因素的比较[J]. *中国实用医刊*, 2014, 41(9): 70-71.
- [25] 孔伟. 前循环与后循环缺血性卒中的危险因素比较[D]. 青岛: 青岛大学, 2012.
- [26] 朱秋荣, 徐惠庆, 骆田斌, 等. 2型糖尿病患者慢性并发症与脑卒中发病的关系[J]. *预防医学*, 2017, 29(4): 351-354.  
ZHU Qiurong, XU Huiqing, LUO Tianbin, et al. A study on the relationship between chronic complications of type 2 diabetic and stroke incidence [J]. *Preventive Medicine*, 2017, 29(4): 351-354.
- [27] 高尚艳. 血糖波动对急性脑卒中合并糖尿病患者神经功能预后影响[J]. *糖尿病新世界*, 2018, 21(10): 41-42.  
GAO Shangyan. Effect of blood glucose fluctuation on that prognosis of neurological function in patient with acute stroke complicated with diabetes mellitus [J]. *Diabetes New World*, 2018, 21(10): 41-42.
- [28] Huang YS, Lee CC, Chang TS, et al. Increased risk of stroke in young head and neck cancer patients treated with radiotherapy or chemotherapy [J]. *Oral Oncol*, 2011, 47(11): 1092-1097.
- [29] Guo YJ, Chang MH, Chen PL, et al. Predictive value of plasma (D)-dimer levels for cancer-related stroke: a 3-year retrospective study[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2014, 23(4): e249-54.
- [30] Kim JM, Jung KH, Park KH, et al. Clinical manifestation of cancer related stroke: retrospective case-control study[J]. *J Neurooncol*, 2013, 111(3): 295-301.
- [31] Lanterna LA, Galliani S, Zangari R, et al. Thyroid autoantibodies and the clinical presentation of moyamoya disease: a prospective study[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(5): 1194-1199.
- [32] 潘建丹, 林芝, 赵秋, 等. 中老年急性出血性脑卒中并发认知功能障碍调查及相关因素分析[J]. *实用预防医学*, 2022, 29(2): 245-248.  
PAN Jiandan, LIN Zhi, ZHAO Qiu, et al. Investigation on cognitive dysfunction and analysis of its correlative factors in middle-aged and elderly patients with acute hemorrhagic stroke [J]. *Practical Preventive Medicine*, 2022, 29(2): 245-248.
- [33] Bergman M, Buyschaert M, Medina JL, et al. Remission of T2DM requires early diagnosis and substantial weight reduction [J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2022, 18(6): 329-330.

(编辑:相峰)