

运动网络与神经系统疾病相关性研究进展

暴洪博 方晟宇 王引言

【摘要】 运动网络是中枢神经系统负责运动控制与协调的关键脑网络,其功能异常与多种神经系统疾病密切相关。本文综述运动网络的生理学基础,重点探讨其在神经系统疾病中的结构和功能变化,并展望其在精准医学和数据整合领域的潜在发展方向。

【关键词】 运动皮质; 神经网络; 神经元可塑性; 神经系统疾病; 综述

Research progress on the association between motor network and nervous system diseases

BAO Hong-bo, FANG Sheng-yu, WANG Yin-yan

Department of Neurosurgery, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China

Corresponding author: WANG Yin-yan (Email: tiantanyinyan@126.com)

【Abstract】 The motor network is a key system in the central nervous system responsible for motor control and coordination, and its dysfunction is closely associated with various nervous system diseases. This review summarizes the physiological and pathological characteristics of the motor network, with a focus on its structural and functional changes in nervous system diseases. Additionally, the potential future developments in precision medicine and data integration are discussed.

【Key words】 Motor cortex; Nerve net; Neuronal plasticity; Nervous system diseases; Review

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China for Young Scientists (No. 82203170), and Beijing Natural Science Foundation for Outstanding Young Scientists (No. JQ23040).

Conflicts of interest: none declared

运动网络是中枢神经系统复杂且高度协调的脑网络,其功能涵盖运动计划、执行、调整及学习等多方面^[1]。作为控制人体运动的核心,运动网络由多个关键脑区及其之间的连接构成,包括初级运动皮质(M1)、运动前区(PMA)、辅助运动区(SMA)、基底节、小脑及相关感觉和认知区域。生理状态下运动网络通过精细的区域协作实现复杂动作的执行;病理状态下如帕金森病(PD)、胶质瘤和脑卒中等,运动网络损伤往往导致运动障碍和行为异常^[2]。近年来,随着神经影像学技术和神经网络分析方法的快速发展,对运动网络结构及其动态特性的理解更加深入,尤其是多模态影像学和人工智能(AI)的引

入,更全面地揭示运动网络在神经系统疾病中的变化特点^[3]。本文拟从运动网络生理学基础、运动网络与神经系统疾病,以及临床应用进展和展望三方面进行综述,以为深入研究运动网络在神经系统疾病发生发展中的作用以及开发新的治疗方法提供参考。

一、运动网络生理学基础

运动网络是由多个运动相关脑区组成的复杂连接网络,各脑区相互协作,共同参与运动的产生与调控。初级运动皮质位于中央沟前方,是运动网络的核心,主要负责运动信号的生成与执行,并通过与基底节和小脑的交互作用,实现精细运动的控制与适应性学习;初级运动皮质 Betz 细胞直接与脊髓运动神经元相连,为快速精准的运动调节提供解剖学基础^[4]。运动前区和辅助运动区分别位于初级运动皮质前方和内侧,前者主要负责运动准备,包括基于目标和环境的运动规划;后者则与自主运动计划和协调密切相关,尤其在序列性动作的生成和

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2025.02.004

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(项目编号:82203170);北京市自然科学基金杰出青年科学基金资助项目(项目编号:JQ23040)

作者单位:100070 首都医科大学附属北京天坛医院神经外科

通讯作者:王引言, Email: tiantanyinyan@126.com

执行中发挥关键作用。基底节可通过直接和间接通路与大脑皮质和丘脑形成闭环回路,对运动启动和抑制具有重要作用^[5]。运动网络的神经可塑性在运动学习中发挥核心作用,其功能紊乱可导致运动障碍。

近年研究进一步拓展对小脑功能的理解,其作用远不止传统意义上的运动协调和运动学习。小脑广泛的功能连接使其可以影响多个皮质区域,包括运动皮质、前额皮质和顶叶皮质,在运动规划和预测性控制中发挥关键作用^[6]。最近研究显示,小脑在运动执行、观察和想象过程中均可被激活,揭示其在运动相关动作规划和协调中的潜在作用^[7];此外,小脑与基底节的交互作用在运动选择和调整中亦发挥重要作用。不同小脑分区与大脑皮质的投射形成多个闭环回路,使小脑可在运动控制的不同阶段进行精细调控^[8]。小脑在内部模型形成中的作用也得到进一步证实^[8]。小脑通过预测运动结果,并与实际感觉反馈比较,调整运动指令,这一预测性机制在运动学习中至关重要,使机体能够适应环境变化,提高运动精确性和稳定性;此外,小脑的可塑性机制包括长时程增强(LTP)和长时程抑制(LTD),在运动学习中亦发挥重要作用,进一步支持其在神经可塑性过程中的核心地位^[8]。目前关于小脑在运动和认知过程中的作用尚存争议,有研究认为,小脑主要通过其影响皮质活动的间接作用调控运动^[6],有研究则强调小脑自身即具有独立的信息处理能力^[9],尚待更精细的研究方法探究其在运动控制中的具体作用机制。

二、运动网络与神经系统疾病

运动网络在多种神经系统疾病中表现出显著的结构和功能异常(图1),这些异常不仅揭示疾病的病理生理学机制,而且为精准诊断与个性化治疗提供新的思路。

1. 神经系统变性疾病 (1)帕金森病:帕金森病的主要病理改变为黑质多巴胺能神经元丢失,导致基底神经节-皮质回路功能紊乱,表现为初级运动皮质和辅助运动区过度同步化以及运动相关皮质异常激活^[10]。近年研究显示,帕金森病非运动症状如抑郁、焦虑也与运动网络异常密切相关,任务态fMRI发现,其可能源于基底节与额叶皮质之间的功能连接改变^[11];此外,高场强MRI和脑深部电刺激术(DBS)的应用,使得帕金森病相关更精细的运动

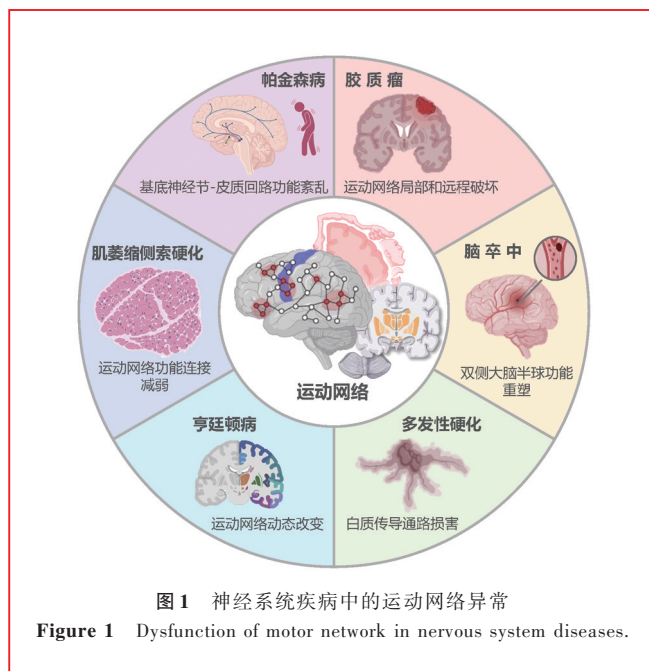


图1 神经系统疾病中的运动网络异常
Figure 1 Dysfunction of motor network in nervous system diseases.

网络特征被发现,为进一步优化个性化治疗提供支持^[11]。(2)亨廷顿病(HD):亨廷顿病是一种基因变异导致的遗传性神经系统变性疾病,临床主要表现为运动障碍、认知功能障碍和精神行为异常。相关研究显示,亨廷顿病早期即出现功能连接异常,尤其是运动网络与基底神经节-皮质回路之间的功能连接^[12]。静息态fMRI研究显示,亨廷顿病早期运动网络功能连接增强可能是代偿性机制,至疾病进展后期则功能连接显著减弱^[13]。(3)多发性硬化(MS):多发性硬化的脱髓鞘改变对运动网络的影响主要体现为白质传导通路损害。研究显示,多发性硬化患者运动网络功能连接显著减弱,尤其是皮质下结构,但部分患者可通过代偿机制实现功能部分恢复,为进一步研究运动网络可塑性提供线索^[14];此外,通过基于扩散张量成像(DTI)的各向异性分数(FA)和平均扩散率(MD),可以早期检出多发性硬化相关运动网络损害并预测长期预后^[15]。(4)肌萎缩侧索硬化(ALS):肌萎缩侧索硬化患者运动网络功能连接逐渐减弱,尤其是初级运动皮质与脊髓运动神经元之间的功能连接,脑电图和肌电图可以早期检出上述运动网络异常^[3]。

2. 累及运动网络的颅内占位性病变 (1)胶质瘤:胶质瘤对运动网络的影响复杂且深远,不仅局限于局部侵袭,还通过远程连接影响整个运动网络的功能协调。静息态fMRI研究显示,胶质瘤患者运动网络显著减弱,表现为初级运动皮质与辅助运动

区之间功能连接减弱,尤其在高级别胶质瘤患者中更为显著,表明肿瘤病理分级与运动网络功能连接具有一定的关联性,且功能连接减弱与肿瘤侵袭范围和肿瘤对白质纤维束的破坏程度相关^[16]。此外,位于感觉运动区的胶质瘤可引起辅助运动区结构重组以适应和补偿运动功能缺失,运动皮质结构重组过程中的体积变化与肌力损害程度密切相关^[17]。累及辅助运动区的胶质瘤手术后常出现辅助运动区综合征,特征性表现为短暂性运动迟缓和言语障碍,术后恢复主要依靠未受损的辅助运动区及其与对侧初级运动皮质功能连接的增强,这种代偿性机制对术后运动功能恢复具有重要作用^[18]。胶质瘤解剖部位是手术前后运动功能保留和恢复的重要影响因素。位于手结区(hand knob area)的低级别胶质瘤常干扰术前fMRI的定位精度,当肿瘤距离手结区最短距离<4 mm时,术前定位的准确性显著下降^[19]。胶质瘤手术中结合运动皮质电刺激术(MCS)的实时技术可以显著提高运动功能区定位的准确性^[19]。术中静息态fMRI可实时监测和评估运动网络动态变化。相较于传统任务态fMRI,术中静息态fMRI显示出更高的灵敏度(61.7%)和特异度(93.7%),不仅降低术后运动功能损伤风险,而且为复杂的手术中决策提供证据支持^[20]。胶质瘤手术切除范围也与运动网络功能恢复存在复杂联系。全切除和大部切除虽可提高肿瘤控制率,但同时也导致功能区永久性损伤。研究显示,术后运动网络节点效率提高与功能恢复时间呈显著负相关,表明节点效率可以作为评估术后功能恢复潜力的重要指标^[21]。此外,术后运动网络重塑也与长期预后密切相关^[22]。应注意的是,功能影像学技术与术中导航技术的结合正在为胶质瘤患者提供更个性化的治疗选择,例如,基于功能影像学的非侵入性神经调控技术如经颅磁刺激(TMS)可通过调节运动网络兴奋性以促进术后运动功能恢复;同时,结合运动网络的多模态影像学分析技术可进一步优化手术策略,最大程度保护功能区,提高术后生活质量^[23]。未来研究尚待进一步探究胶质瘤与运动网络之间的相互作用机制,同时优化影像学技术和手术方法,以实现更精准的诊断和更个性化的治疗,为患者提供更好的预后保障。(2)脑膜瘤:脑膜瘤是常见的中枢神经系统肿瘤,通常为良性,但位于运动区或压迫关键运动网络时,可以导致显著的运动障碍。既往研究显示,脑膜瘤对运动网络的影响主要

为局部占位效应、白质纤维束压迫和远程功能连接改变^[24]。运动皮质邻近脑膜瘤可直接影响运动网络的功能连接,而肿瘤切除后部分患者的功能连接可逐步恢复,运动功能亦随之得以改善^[25]。

3. 运动网络相关脑卒中 脑卒中后运动网络呈现双侧大脑半球功能重塑趋势,急性脑卒中后运动功能恢复与运动网络动态变化密切相关^[26]。任务态fMRI研究显示,运动网络的功能恢复依靠健侧大脑半球功能的代偿性增强^[3]。脑卒中后康复训练可进一步强化运动网络的重塑过程。一项基于脑电图的运动网络分析研究显示,脑卒中恢复早期患侧运动皮质的低频脑电活动(α 波和 β 波)不稳定,随着康复进程的推进,脑电信号逐渐趋于稳定,与运动功能改善密切相关^[27],为个性化康复治疗提供新的理论依据,即通过监测运动网络的脑电变化模式评估脑卒中患者康复潜力,并优化康复策略,以促进运动网络重塑和运动功能恢复。此外,通过结合脑机接口(BCI)技术,患者可以在康复训练中直接控制虚拟设备或机械外骨骼,不仅促进运动功能恢复,还拓宽神经网络可塑性的研究领域。

4. 其他 肌张力障碍亦是一种累及运动网络的疾病,其病理改变为基底神经节-皮质回路异常。基于任务态fMRI的研究显示,肌张力障碍患者基底神经节-皮质回路过度激活,提示该运动网络是潜在治疗靶点^[28]。此外,运动网络在其他疾病如脑性瘫痪、脊髓损伤和癫痫中的作用也逐渐受到重视。脑性瘫痪患者发育早期即表现出运动网络的异常连接模式,影响后续运动功能的发展。通过神经调控技术和康复治疗可以恢复部分运动功能^[3]。功能影像学研究显示,脊髓损伤患者存在皮质水平的功能重塑,从而为康复治疗提供潜在靶点^[29]。

三、基于运动网络的临床应用进展与展望

随着临床应用研究的逐步深入,运动网络在运动功能保护、修复和增强中的作用日益突显。(1)运动功能保护:术前影像学评估可以指导手术策略的制定,降低术后运动功能损伤风险,通过fMRI和DTI等技术,神经外科医师可以精准定位功能区和白质纤维束,优化手术路径,最大程度保护运动功能^[30];此外,术中实时监测如脑磁图(MEG)和直接皮质电刺激(DCS)等,可提供即时反馈,特别是处理胶质瘤等运动网络相关病变时避免对运动区的损伤。(2)运动功能修复:神经调控技术在运动网络重塑和恢复方面展示出巨大潜力,重复经颅磁刺激

(rTMS)已广泛应用于脑卒中后运动功能恢复,该项技术通过调节运动网络功能连接,使患侧运动皮质活动增强,同时抑制健侧运动皮质过度补偿,进而促进运动功能恢复^[31];此外,经颅直流电刺激(tDCS)在多发性硬化患者的运动功能改善中也显示出积极作用,其可能机制包括增强突触可塑性、增加局部脑血流量和调节运动网络功能连接^[32]。(3)运动功能增强:运动网络研究为个性化治疗提供新的方向。功能连接的动态监测不仅可评估运动功能恢复,还可作为精准治疗的参考依据。例如,采用丘脑切开术治疗帕金森病,术后运动网络功能连接显著变化,这种变化模式可用于预测术后恢复并优化术后康复治疗方^[33]。

展望未来,基于运动网络的临床应用研究仍面临诸多挑战。如何通过运动网络的长期动态监测准确预测运动功能恢复轨迹,并制定更精准的治疗策略,是亟待解决的问题。未来研究可进一步结合人工智能技术,通过深度学习(DL)算法分析影像学大数据,探究不同疾病的运动网络特征,优化个性化康复治疗方^[34]。此外,随着神经调控技术的发展,非侵入性神经调控技术应用前景广阔,未来或可与脑机接口技术相结合,为运动障碍患者提供更精准和更个性化的治疗。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Economo MN, Komiyama T, Kubota Y, Schiller J. Learning and control in motor cortex across cell types and scales [J]. J Neurosci, 2024, 44:e1233242024.
- [2] Andersen AG, Riparbelli AC, Siebner HR, Konge L, Bjerrum F. Using neuroimaging to assess brain activity and areas associated with surgical skills: a systematic review [J]. Surg Endosc, 2024, 38:3004-3026.
- [3] Ellis EG, Meyer GM, Kaasinen V, Corp DT, Pavese N, Reich MM, Joutsa J. Multimodal neuroimaging to characterize symptom-specific networks in movement disorders [J]. NPJ Parkinsons Dis, 2024, 10: 154.
- [4] Nolan M, Scott C, Hof PR, Ansoorge O. Betz cells of the primary motor cortex [J]. J Comp Neurol, 2024, 532:e25567.
- [5] Roth RH, Ding JB. Cortico-basal ganglia plasticity in motor learning [J]. Neuron, 2024, 112:2486-2502.
- [6] Spampinato DA, Casula EP, Koch G. The cerebellum and the motor cortex: multiple networks controlling multiple aspects of behavior [J]. Neuroscientist, 2024, 30:723-743.
- [7] Henschke JU, Pakan JMP. Engaging distributed cortical and cerebellar networks through motor execution, observation, and imagery [J]. Front Syst Neurosci, 2023, 17:1165307.
- [8] Prati JM, Pontes-Silva A, Gianlorenço ACL. The cerebellum and its connections to other brain structures involved in motor and non-motor functions: a comprehensive review [J]. Behav Brain Res, 2024, 465:114933.
- [9] Ul-Ain Q, Ilyas S, Ali H, Ali I, Ullah R, Arshad H, Khalid S, Azim ME, Liu T, Wang J. Exploring the differential effects of transcranial direct current stimulation: a comparative analysis of motor cortex and cerebellar stimulation [J]. Heliyon, 2024, 10: e26838.
- [10] Zhou W, Chu HY. Progressive noradrenergic degeneration and motor cortical dysfunction in Parkinson's disease [J]. Acta Pharmacol Sin, 2024.[Epub ahead of print]
- [11] Chen Thomsen BL, Vinding MC, Meder D, Marner L, Løkkegaard A, Siebner HR. Functional motor network abnormalities associated with levodopa-induced dyskinesia in Parkinson's disease: a systematic review [J]. Neuroimage Clin, 2024, 44:103705.
- [12] Pini L, Jacquemot C, Cagnin A, Meneghello F, Semenza C, Mantini D, Vallesi A. Aberrant brain network connectivity in presymptomatic and manifest Huntington's disease: a systematic review [J]. Hum Brain Mapp, 2020, 41:256-269.
- [13] Aracil-Bolaños I, Pérez-Pérez J, Martínez-Horta S, Horta-Barba A, Puig-Davi A, García-Cornet J, Olmedo-Saura G, Campolongo A, Pagonabarraga J, Kulisevsky J. Baseline large-scale network dynamics associated with disease progression in Huntington's disease [J]. Mov Disord, 2024, 39:197-203.
- [14] Rocca MA, Schoonheim MM, Valsasina P, Geurts JGG, Filippi M. Task- and resting-state fMRI studies in multiple sclerosis: from regions to systems and time-varying analysis. Current status and future perspective [J]. Neuroimage Clin, 2022, 35: 103076.
- [15] Ropele S, Fazekas F. Quantification of cortical damage in multiple sclerosis using DTI remains a challenge [J]. Brain, 2019, 142:1848-1850.
- [16] Mallela AN, Peck KK, Petrovich-Brennan NM, Zhang Z, Lou W, Holodny AI. Altered resting-state functional connectivity in the hand motor network in glioma patients [J]. Brain Connect, 2016, 6:587-595.
- [17] Wang X, Zhou C, Wang L, Wang Y, Jiang T. Motor cortex gliomas induces microstructural changes of large fiber tracts revealed by TBSS [J]. Sci Rep, 2020, 10:16900.
- [18] Pinson H, Van Lerbeirghe J, Vanhauwaert D, Van Damme O, Hallaert G, Kalala JP. The supplementary motor area syndrome: a neurosurgical review [J]. Neurosurg Rev, 2022, 45:81-90.
- [19] Fang S, Liang J, Qian T, Wang Y, Liu X, Fan X, Li S, Wang Y, Jiang T. Anatomic location of tumor predicts the accuracy of motor function localization in diffuse lower-grade gliomas involving the hand knob area [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38:1990-1997.
- [20] Qiu TM, Gong FY, Gong X, Wu JS, Lin CP, Biswal BB, Zhuang DX, Yao CJ, Zhang XL, Lu JF, Zhu FP, Mao Y, Zhou LF. Real-time motor cortex mapping for the safe resection of glioma: an intraoperative resting-state fMRI study [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38:2146-2152.
- [21] Weng S, Meng Z, Li L, Li J, Fan X, Zhang Z, Wang Y, Jiang T, Fang S. Postoperative nodal efficiency of the lesional-hemispheric hand motor area increasing potentially facilitated motor recovery for SMA syndrome [J]. CNS Neurosci Ther, 2024, 30:e70112.
- [22] Stålnacke M, Eriksson J, Salami A, Andersson M, Nyberg L, Sjöberg RL. Functional connectivity of sensorimotor network before and after surgery in the supplementary motor area [J]. Neuropsychologia, 2024, 204:109004.
- [23] Tuncer MS, Fekonja LS, Ott S, Pfnür A, Karbe AG, Engelhardt M, Faust K, Picht T, Coburger J, Dühsen L, Vajkoczy P, Onken J. Role of interhemispheric connectivity in recovery from postoperative supplementary motor area syndrome in glioma

- patients[J]. J Neurosurg, 2022, 139:324-333.
- [24] Stoecklein VM, Wunderlich S, Papazov B, Thon N, Schmutzer M, Schinner R, Zimmermann H, Liebig T, Ricke J, Liu H, Tonn JC, Schichor C, Stoecklein S. Perifocal edema in patients with meningioma is associated with impaired whole - brain connectivity as detected by resting-state fMRI[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2023, 44:814-819.
- [25] Liouta E, Katsaros VK, Stranjalis G, Leks E, Klose U, Bisdas S. Motor and language deficits correlate with resting state functional magnetic resonance imaging networks in patients with brain tumors[J]. J Neuroradiol, 2019, 46:199-206.
- [26] Yu P, Dong R, Wang X, Tang Y, Liu Y, Wang C, Zhao L. Neuroimaging of motor recovery after ischemic stroke: functional reorganization of motor network[J]. Neuroimage Clin, 2024, 43: 103636.
- [27] Delcamp C, Srinivasan R, Cramer SC. EEG provides insights into motor control and neuroplasticity during stroke recovery[J]. Stroke, 2024, 55:2579-2583.
- [28] Tomić A, Sarasso E, Basaia S, Dragašević-Misković N, Svetel M, Kostić VS, Filippi M, Agosta F. Structural brain heterogeneity underlying symptomatic and asymptomatic genetic dystonia: a multimodal MRI study[J]. J Neurol, 2024, 271:1767-1775.
- [29] Wang L, Yang B, Zheng W, Liang T, Chen X, Chen Q, Du J, Lu J, Li B, Chen N. Alterations in cortical thickness and volumes of subcortical structures in pediatric patients with complete spinal cord injury[J]. CNS Neurosci Ther, 2024, 30: e14810.
- [30] Silva NA, Barrios - Martinez J, Yeh FC, Hodaie M, Roque D, Boerwinkle VL, Krishna V. Diffusion and functional MRI in surgical neuromodulation [J]. Neurotherapeutics, 2024, 21: e00364.
- [31] Tang Z, Liu T, Han K, Liu Y, Su W, Wang R, Zhang H. The effects of rTMS on motor recovery after stroke: a systematic review of fMRI studies[J]. Neurol Sci, 2024, 45:897-909.
- [32] Chmiel J, Kurpas D, Stępień-Słodkowska M. The potential of transcranial direct current stimulation (tDCS) in improving quality of life in patients with multiple sclerosis: a review and discussion of mechanisms of action[J]. J Clin Med, 2025, 14: 373.
- [33] Nili MHK, Esfahan SM, Bagheri Y, Vahabie AH, Sanayei M, Ertiaei A, Shirani M, Dehaqani MA, Rezayat E. The variation of functional connectivity and activity before and after thalamotomy surgery (review)[J]. Front Hum Neurosci, 2023, 17:1108888.
- [34] Huynh N, Deshpande G. A review of the applications of generative adversarial networks to structural and functional MRI based diagnostic classification of brain disorders [J]. Front Neurosci, 2024, 18:1333712.

(收稿日期:2025-01-23)

(本文编辑:彭一帆)

· 小词典 ·

中英文对照名词词汇(一)

阿尔茨海默病神经影像学计划

Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative(ADNI)

案例推理 case-based reasoning(CBR)

背侧前扣带回 dorsal anterior cingulate cortex(dACC)

背外侧前额皮质 dorsolateral prefrontal cortex(DLPFC)

闭环脑深部电刺激术

closed-loop deep brain stimulation(cl-DBS)

表皮生长因子受体 epidermal growth factor receptor(EGFR)

丙酮酸激酶 M2 pyruvate kinase M2(PKM2)

彩色多普勒超声 color Doppler ultrasonography(CDUS)

长短时记忆 long short-term memory(LSTM)

长时程抑制 long-term depression(LTD)

长时程增强 long-term potentiation(LTP)

超高效液相色谱

ultra performance liquid chromatography(UPLC)

成簇的规律间隔的短回文重复序列

clustered regularly interspaced short palindromic repeats (CRISPR)

重复经颅磁刺激

repetitive transcranial magnetic stimulation(rTMS)

WD 重复域蛋白 1 WD repeat domain 1(WDR1)

初级运动皮质 primary motor cortex(M1)

创伤后应激障碍 posttraumatic stress disorder(PTSD)

磁共振引导激光间质热疗法

magnetic resonance-guided laser interstitial thermal therapy

(MRgLITT)

大语言模型 large language model(LLM)

低级别胶质瘤 low-grade glioma(LGG)

 β -淀粉样蛋白 amyloid β -protein(A β)

儿童高级别胶质瘤 pediatric high-grade glioma(pHGG)

分布式文件系统 distributed file system(DFS)

辅助运动区 supplementary motor area(SMA)

感兴趣区 region of interest(ROI)

高级别胶质瘤 high-grade glioma(HGG)

高性能计算 high performance computing(HPC)

各向异性分数 fraction anisotropy(FA)

功能性近红外光谱成像

functional near-infrared spectroscopy(fNIRS)

Karnofsky 功能状态评分

Karnofsky Performance Status(KPS)

孤独症谱系障碍 autism spectrum disorder(ASD)

规则推理 rule-based reasoning(RBR)

国际脑实验室 International Brain Laboratory(IBL)

核磁共振波谱

nuclear magnetic resonance spectroscopy(NMR)

核因子- κ B nuclear factor- κ B(NF- κ B)

患者来源胶质瘤细胞系

patient-derived glioma cells(PDGCs)

Logistic 回归 Logistic regression(LR)