

神经外科参与脑科学研究的机遇与挑战

余新光 张艳阳

【摘要】 解放军总医院第一医学中心神经外科团队从“STEM”即科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)和医学(Medicine)共四个层面积极参与“中国脑计划”,利用中枢神经系统肿瘤等疾病模型和神经影像学、术中电刺激和颅内脑电技术之优势进行脑科学研究;同时联合类脑学、材料学等领域的工程力量,研制新型微创或无创性脑机接口设备;以阿尔茨海默病等重大中枢神经系统疾病的诊治为临床导向,利用声、光、电、磁等物理调控技术以延缓脑疾病的进展,为我国脑科学的基础研究和临床转化贡献力量。

【关键词】 神经科学; 神经外科(学); 脑疾病; 综述

Opportunities and challenges for neurosurgeon in the brain research era

YU Xin-guang, ZHANG Yan-yang

Department of Neurosurgery, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: YU Xin-guang (Email: yuxinguang_301@163.com)

【Abstract】 The neurosurgeons of PLA General Hospital are making effort to participate in the China Brain Project from the aspects of Science, Technology, Engineering and Medicine, namely "STEM". We initiated the brain research by utilizing central nervous system tumor and other brain diseases as unique study models, and leveraging specific technologies such as neuroimaging, intraoperative electrical stimulation and intracranial electroencephalography. Moreover, we further combine engineering advances with brain-inspired intelligence as well as novel materials to develop minimally invasive or non-invasive brain-computer interface (BCI) devices. With the aim of diagnosis and intervention of Alzheimer's disease (AD) and other major brain diseases, we have used physical neuromodulation (such as sound, light, electricity, magnetism, etc.) for therapeutic treatments of these brain disorders, so as to contribute to the brain research and clinical translation in China in a significant way.

【Key words】 Neurosciences; Neurosurgery; Brain diseases; Review

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 81871087).

Conflicts of interest: none declared

人脑是自然界中最复杂的系统之一,对其结构和功能的理解被认为是人类认识自身和自然的“最后疆域(last frontier)”,以阐明脑和神经系统的工作原理和机制为终极目标的脑科学已成为生命科学乃至所有自然科学中最重要的前沿学科之一^[1]。脑科学的发展提升了人类对大脑认知原理的理解和重大脑疾病的诊治水平,同时也推动了类脑智能技

术和新型信息化产业的迅猛发展^[2]。近年来,脑科学在相关技术开发、脑连接图谱绘制、记忆操控,以及类脑智能等方面取得了重大突破,美国、日本、欧盟等发达国家或组织相继推出各自的脑研究计划,力图抢占脑科学研究的制高点。面对当前激烈的国际竞争和迫切的社会需求,我国也在酝酿启动“中国脑计划:脑科学与类脑研究”这一重大科技专项:以理解人脑认知原理的神经基础为核心、以发展重大脑疾病的诊疗手段和脑启发智能技术为应用导向^[3]。在政策的支持和技术的推动下,脑科学研究迎来了前所未有的发展机遇,神经外科作为唯一能够接触和操作活体人脑的学科,应积极主动站位“中国脑计划”,在脑科学的研究中发挥主力军作

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2019.12.002

基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号:81871087)

作者单位:100853 北京,解放军总医院第一医学中心神经外科

通讯作者:余新光,Email:yuxinguang_301@163.com

用。值得注意的是,由于人脑的高度复杂性,探索脑的奥秘注定是一个漫长的征程,并非一蹴而就,需要面对一系列巨大的挑战,需要从基因、细胞、神经环路、全脑和认知行为等不同时间和空间尺度进行研究,脑科学研究开始迈入跨学科、多层次研究时代^[4]。在当前的机遇与挑战面前,笔者首先提出神经外科参与脑科学研究的主线,结合解放军总医院第一医学中心神经外科近年来参与脑科学研究的初步经验对该主线进行阐述,然后指出当前神经外科参与脑科学研究存在的不足及可能的解决方案,期待我国神经外科能在脑科学的基础研究和临床应用方面取得重大突破。

一、神经外科参与脑科学研究的主线

脑科学研究具有综合交叉和科学前沿的双重特点,因此,神经外科参与脑科学研究需要逐渐从基于研究相关脑疾病转变为更加关注多学科的交叉和融合。借鉴教育学的概念,我们思考神经外科需要从“STEM”即科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、医学(Medicine)共四个层面全方位进行脑科学研究。下面将具体介绍解放军总医院第一医学中心神经外科近年来按照 STEM 主线进行脑科学研究的初步经验。

1. 科学(Science)层面 对人脑工作机制的理解是脑科学研究中最基础的科学问题,包括脑基本功能(运动、视觉、听觉等)和高级认知功能(认知、学习、情绪、意识等)的神经基础等底层的科学问题。首先,神经外科的脑疾病患者常伴有神经功能和高级认知功能的改变,这些为研究不同状态脑功能改变机制提供了疾病模型,为研究人脑的工作机制提供了因果关系的证据,可以检验动物研究及其他学科的脑研究准确与否^[5]。我们的研究团队近年来关注人脑情绪的表达及调节机制这一深层次科学问题。首先,探讨神经内分泌系统对人脑情绪表达的调节机制。在临床上,Cushing 病患者普遍存在抑郁、焦虑等精神症状,为研究情绪障碍的神经内分泌机制提供了很好的疾病模型,我们利用神经影像学技术对内分泌轴影响情绪表达特征的脑机制进行探讨^[6],发现 Cushing 病存在广泛性脑灰质萎缩,包括脑默认网络(DMN)的扣带回、内侧前额叶、海马等脑区,以及额顶叶网络的背外侧前额叶,表明长期高浓度的皮质醇治疗可能通过脑内广泛分布的受体影响这些认知网络内脑区的结构,间接证明这些脑区与情绪表达相关。此外,我们还利用三

叉神经痛这一疾病模型研究疼痛和负面情绪耦合的脑机制,发现脑内杏仁核接受疼痛信号后向情绪相关眶额回等脑区传递,进而出现“不愉快”的情绪体验^[7]。其次,在神经外科手术中需切除部分脑组织达到治疗的目的,在这个过程中,可以结合基础研究成果,对脑工作原理进行验证与再认识。例如,胼胝体是人脑中最大的连合纤维,维系额顶枕颞叶和皮质下核团的半球间连接,在经胼胝体入路切除中枢神经细胞瘤的过程中,我们分析部分切开前 1/3 胼胝体对认知功能的影响,发现双侧背外侧前额叶的半球间连接在执行功能的表达中发挥至关重要的作用。因此我们认为,神经外科在参与脑科学的研究过程中应充分发挥在认知功能研究中的临床优势,围绕深层次的科学问题,实现对基础科学研究成果的补充和强化^[8]。

2. 技术(Technology)层面 脑科学相关新技术的研发对于推进脑研究是必不可少的,这些技术包括特异性脑功能光控技术、病毒示踪技术、超高分辨力成像技术、高维度大数据分析技术等。美国在 2013 年开启的“推动创新神经技术脑研究计划”(简称“脑计划”)则更加重视脑科学研究的新工具和新技术的开发^[9]。虽然当前技术层面的研究已经取得巨大成功,但是人脑由 1000 亿个神经元及 100 万亿以上的突触连接组成,对这些神经元活动的监测仍然缺乏行之有效的技术手段。神经外科可以利用神经影像学、术中电刺激和颅内脑电等技术优势从多空间进行脑功能研究,成为当前脑科学研究的新方向。首先,就宏观研究而言,可以利用多模态神经影像学技术对人脑结构、功能、代谢、灌注等进行勾划,以了解正常生理和病理状态下不同脑区及其连接的特征属性。例如,Papez 环路主要由海马、丘脑前核、乳头体、扣带回及其连接构成,与情景记忆和空间记忆有关系。我们与中国科学院生物物理研究所陈霖院士团队合作,利用扩散谱成像首次完成活体人脑 Papez 记忆环路的描绘,显示出乳头丘脑束等精细神经纤维^[10]。随着 7.0T 和 9.4T 高场强 MRI 的临床应用,关键核团和神经环路的可视化进一步得以实现。其次,在神经外科清醒开颅手术中,利用电生理技术,对大脑皮质和皮质下传导束进行电刺激,根据术中患者的反应,描绘脑皮质和传导束的功能,目前被认为是脑功能验证的“金标准”。另外,神经外科特有的颅内脑电技术包括皮质电极和脑深部电极,具有精细的空间分辨力,每

个颅内脑电的电极点可测量 20~50 万神经元集群的场电位,能从介观层面分析大脑的工作机制,同时兼具高时间分辨率(毫秒)^[11]。电极持续记录脑电信号可长达 1~2 周,为脑研究提供了时机。最近,Sani 等^[12]利用颅内脑电技术对 7 例癫痫患者的颅内脑电信号及情绪变化进行监测,发现通过解码眶额回、扣带回、杏仁核等边缘系统的脑电信号可以预判个体的情绪状态。基于颅内脑电技术的高时间和空间分辨率,我们团队较早地提出了描绘“四维脑功能图谱”,这也是神经外科医师在脑图谱研究中的优势^[13]。更有意义的是,还可以利用颅内脑电技术对电极点进行电刺激,判断不同电极点所对应脑区的功能。随着脑深部电极技术的发展,神经外科医师可以利用微电极记录脑深部核团的单个神经元电信号活动,从微观层面对神经元的功能进行阐述。如何巧妙地将神经外科临床中的技术转化为脑科学研究中的利器,是我们下一步思考及探索的方向。最后,需要指出的是,如何将基础脑科学研究中的革新技术如光遗传学、类脑计算、纳米技术、新型神经调控技术、合成生物学技术等应用于神经外科领域,推动神经外科在脑科学研究中的原创性发现,也是我们未来关注的重点。

3. 工程(Engineering)层面 脑科学研究中的新技术和新设备应用于临床前需要工程上的革新,此节重点阐述神经外科参与脑机接口(BCI)的工程研发。脑机接口通过解码人脑神经活动信息,构建大脑与外部世界的直接信息传输通路。在现有的技术条件下,诸多神经外科脑疾病患者的神经功能障碍均无法得到有效康复,发展脑机接口技术可能为这些患者带来福音。神经外科可以利用自身优势,打开颅骨为脑机接口提供除头皮脑电信号外的高信噪比颅内脑电信号。因此,神经外科应以临床需求为导向,联合类脑技术领域、工程学领域的技术力量,研发新型的微创甚至无创的脑机接口设备,提高脑机接口设备的精准度、易操控性和抗干扰能力,赋予脑机接口设备深度学习、人机协同、自主操控等新特征,以满足临床需求^[14]。最近,美国 Neuralink 公司在脑机接口的柔性电极、手术机器人,以及脑电信号处理元件上进行工程上的更新,期待进一步推动脑机接口的临床应用。解放军总医院第一医学中心神经外科团队与清华大学医学院洪波教授团队合作,利用癫痫患者植入的颅内脑电获取颞中回后部脑区的电信号,在接受视觉运动

任务时(屏幕上 26 个字母对应的闪烁光标),颞中回后部脑区会产生低频诱发电位和高频 γ 振荡,基于该原理实现在癫痫患者进行“意念”汉化打字,并具有极高的准确性和较快的打字速度^[15]。在下一步的工作中,我们拟通过工程学的升级来实现微创无线脑机接口打字系统的临床转化,改变将电极植入硬脑膜,通过植入体内的无线放大传输系统传输脑电信号,外部接收并解析信号后呈现打字结果。然而,当前脑机接口的临床应用仍处于初级阶段,脑机接口的可操控性和设备工艺需进一步优化,而优化的过程依赖于脑功能神经环路的解析和工程设备的升级。

4. 医学(Medicine)层面 根据世界卫生组织(WHO)报告,脑疾病所带来的社会经济负担已超过心血管病和肿瘤,脑疾病已成为广为关注的社会问题。其中,备受关注的脑疾病包括幼年期的神经发育性疾病(如自闭症)、青年至中年期的精神性疾病(如抑郁症)和老年期的神经退行性病变(如帕金森病和阿尔茨海默病等)。目前医学界对这些重大脑疾病的发生发展机制仍不了解,并且缺乏有效的治疗措施。因此,神经外科在参与脑科学研究的过程中,以这些重大脑疾病的诊治为临床导向,一方面争取寻找重大脑疾病预警和早期诊断的生物学标志物,包括基因检测、血液和脑脊液等生物学标本的分子检测、神经影像学特征等;另一方面,在临床转化上利用新型药理、生理和物理调控技术(如声、光、电、磁等)进行治疗或延缓脑疾病之进展^[2]。近期,我们研究团队业已完成国内前 10 例重度阿尔茨海默病患者的脑深部电刺激术(DBS),发现电刺激下丘脑和(或)穹窿可以提高患者注意力,改善其日常行为能力,缓解患者家属的照料困难程度^[16]。基于脑深部电刺激术下丘脑和(或)穹窿治疗痴呆的前期工作基础,我们拟进一步从功能、结构、代谢等多方面探讨脑深部电刺激术下丘脑和(或)穹窿对痴呆患者脑网络的特征性影响及其与记忆等多维度认知功能改善的关系,期待最终在临床转化方面推进阿尔茨海默病的有效个体化临床治疗。此外,在精神类脑疾病的诊治研究中,基于神经影像学的人脑连接组学表明,包括抑郁症、强迫症等精神性疾病患者大脑内存在广泛的神经环路“失连接”,这些失连接可能会导致大脑的拓扑属性改变,进而影响其认知功能表达,这为诊断和监测精神性疾病的发生发展提供了新型、有意义的生物学标志物^[17]。

那么,能否通过调控脑网络来纠正脑连接的异常,从而治疗或延缓精神类疾病的病情进展?基于人脑连接组学的分析结果,个体地选择治疗靶点,对重度抑郁症等精神类疾病进行脑深部电刺激术等神经调控治疗,初步获得满意疗效^[18]。值得注意的是,基础研究的临床转化并非易事,需要依赖从科学、技术、工程等方面的探索和研发,需要多学科交叉融合和支持,才能获取对大脑的新认识、脑疾病治疗的新方法^[19]。

二、当前神经外科参与脑科学研究存在的不足

尽管当前我国神经外科医师参与脑科学研究迎来了前所未有的机遇,但是应充分认识到在脑科学研究过程中神经外科医师自身仍存在许多不足。首先,我国神经外科医师忙于应对日常繁琐的临床工作,对进行脑科学研究的重视程度不足,忽略了自身在脑科学研究中的优势;其次,当前仅有极少数的神经外科医师参与脑科学研究,由于神经科学基础知识的匮乏,这些前期研究过于简单化、非系统化,缺乏严谨的科学设计和对重大科学问题的探索;再者,脑科学研究涉及基因学、影像学、电生理学等多维度的海量数据,如何有效地解析这些数据更是神经外科医师参与脑科学研究的“拦路虎”;此外,目前仅有少数脑科学研究成果能够应用于脑疾病的诊治,临床转化依然困难重重;最后,尽管当前社会大众对脑疾病患者存在歧视以及人脑样本库建立困难重重,需要强调的是,神经外科医师在开展脑科学研究时,有责任尽一切努力避免对个人、社会造成任何潜在危害,应坚持遵守国际伦理准则^[20]。面对这些不足和挑战,笔者建议在未来的学科建设中应搭建医工联合的脑科学研究体系和人才培养平台,加强神经外科医师对人工智能(AI)等新技术在脑科学数据分析中的深入理解和应用。在符合伦理的前提下,围绕STEM主线,制定神经外科参与脑计划的相关发展目标和研究重点,逐渐从以下层次进行脑科学研究:(1)科学,围绕理解脑的工作原理和机制这一重大科学问题。(2)技术,脑科学相关新技术的研发及利用。(3)工程,脑机接口等智能设备的工程革新。(4)医学,对重大脑疾病发病机制的理解和诊治。通过这些脑科学基础研究与临床资源的有机结合,使得我国神经外科能在“中国脑计划”的研究工作中发挥引领作用。

总之,神经外科应该抓住当前脑科学与类脑研究的前所未有的发展机遇,发挥自身的学科优势,

围绕“科学、技术、工程、医学”的STEM研究主线重点布局,力争在“中国脑计划”研究中发挥主力军作用,为中国脑科学事业贡献力量!

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Yang XL. Thoughts on Chinese brain research[J]. Ke Ji Dao Bao, 2013, 31:3.[杨雄里. 对中国脑科学研究的思考[J]. 科技导报, 2013, 31:3.]
- [2] Pu MM, Xu B, Tan TN. Brain science and brain-inspired intelligence technology: an overview[J]. Zhongguo Ke Xue Yuan Yuan Kan, 2016, 31:725-736.[蒲慕明, 徐波, 谭铁牛. 脑科学与类脑研究概述[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31:725-736.]
- [3] Poo MM, Du JL, Ip NY, Xiong ZQ, Xu B, Tan T. China Brain Project: basic neuroscience, brain diseases, and brain-inspired computing[J]. Neuron, 2016, 92:591-596.
- [4] Wang LW, Xu L, Xu P, Yu HC, Kong MH, Shen Y, Zhang YQ. Brain science and brain-like intelligence research in Chinese academy of sciences[J]. Zhongguo Ke Xue Yuan Yuan Kan, 2016, 31:747-754.[王力为, 许丽, 徐萍, 于汉超, 孔明辉, 沈毅, 张永清. 面向未来的中国科学院脑科学与类脑智能研究——强化基础研究, 推进深度融合[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31:747-754.]
- [5] Zhang LW, Li DL, Pan CC, Zhang P. Neurosurgery and brain science: an overview[J]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2013, 93:3091-3092.[张力伟, 李德岭, 泮长存, 张鹏. 神经外科与“脑科学研究”[J]. 中华医学杂志, 2013, 93:3091-3092.]
- [6] Wang X, Zhou T, Wang P, Zhang L, Feng S, Meng X, Yu X, Zhang Y. Dysregulation of resting-state functional connectivity in patients with Cushing's disease[J]. Neuroradiology, 2019, 61:911-920.
- [7] Zhang Y, Mao Z, Pan L, Ling Z, Liu X, Zhang J, Yu X. Dysregulation of pain- and emotion-related networks in trigeminal neuralgia[J]. Front Hum Neurosci, 2018, 12:107.
- [8] Zhang YY, Yu XG. Human connectome in neurosurgery[J]. Zhongguo Yi Xue Ying Xiang Xue Za Zhi, 2017, 25:789-793.[张艳阳, 余新光. 人脑连接组学在神经外科中的应用进展[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 25:789-793.]
- [9] Martin CL, Chun M. The BRAIN initiative: building, strengthening, and sustaining[J]. Neuron, 2016, 92:570-573.
- [10] Wei PH, Mao ZQ, Cong F, Yeh FC, Wang B, Ling ZP, Liang SL, Chen L, Yu XG. In vivo visualization of connections among revised Papez circuit hubs using full q-space diffusion spectrum imaging tractography[J]. Neuroscience, 2017, 357:400-410.
- [11] Parvizi J, Kastner S. Promises and limitations of human intracranial electroencephalography[J]. Nat Neurosci, 2018, 21:474-483.
- [12] Sani OG, Yang Y, Lee MB, Dawes HE, Chang EF, Shanechi MM. Mood variations decoded from multi-site intracranial human brain activity[J]. Nat Biotechnol, 2018, 36:954-961.
- [13] Yu XG. The Significance of human brain mapping for neurosurgery[J]. Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2016, 32:1081-1084.[余新光. 脑功能图谱绘制对神经外科发展的现实意义[J]. 中华神经外科杂志, 2016, 32:1081-1084.]
- [14] Zhang YZ. China brain project and neurosurgery[J]. Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2017, 33:1-3.[张亚卓. 中国脑计划与神经外科发展[J]. 中华神经外科杂志, 2017, 33:1-3.]
- [15] Zhang D, Song H, Xu R, Zhou W, Ling Z, Hong B. Toward a minimally invasive brain-computer interface using a single subdural channel: a visual speller study[J]. Neuroimage, 2013,

- 71:30-41.
- [16] Mao ZQ, Wang X, Xu X, Cui ZQ, Pan LS, Ning XJ, Xu BX, Ma L, Ling ZP, Jia JJ, Yu XG. Partial improvement in performance of patients with severe Alzheimer's disease at an early stage of fornix deep brain stimulation[J]. Neural Regen Res, 2018, 13: 2164-2172.
- [17] Dunlop BW, Rajendra JK, Craighead WE, Kelley ME, McGrath CL, Choi KS, Kinkead B, Nemeroff CB, Mayberg HS. Functional connectivity of the subcallosal cingulate cortex and differential outcomes to treatment with cognitive - behavioral therapy or antidepressant medication for major depressive disorder[J]. Am J Psychiatry, 2017, 174:533-545.
- [18] Riva-Posse P, Choi KS, Holtzheimer PE, Crowell AL, Garlow SJ, Rajendra JK, McIntyre CC, Gross RE, Mayberg HS. A connectomic approach for subcallosal cingulate deep brain stimulation surgery: prospective targeting in treatment-resistant depression[J]. Mol Psychiatry, 2018, 23:843-849.
- [19] Yu XG. New era of brain research: the role of neurosurgery in China Brain Project [J]. Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2014, 30:433-434.[余新光. 脑研究的新纪元: 推进神经外科参与脑研究计划[J]. 中华神经外科杂志, 2014, 30:433-434.]
- [20] Wang Y, Yin J, Wang G, Li P, Bi G, Li S, Xia X, Song J, Pei G, Zheng JC. Responsibility and sustainability in brain science, technology, and neuroethics in China: a culture - oriented perspective[J]. Neuron, 2019, 101:375-379.
- (收稿日期: 2019-11-07)

· 小词典 ·

中英文对照名词词汇(一)

- 阿尔茨海默病 Alzheimer's disease(AD)
- 白细胞介素-10 interleukin-10(IL-10)
- 表观扩散系数 apparent diffusion coefficient(ADC)
- 表皮生长因子 epidermal growth factor(EGF)
- 表皮生长因子受体 epidermal growth factor receptor(EGFR)
- 波形蛋白 vimentin(Vim)
- 部分各向异性 fractional anisotropy(FA)
- 彩色多普勒超声 color Doppler ultrasonography(CDUS)
- 常染色体隐性遗传性脑动脉病伴皮质下脑梗死和白质脑病 cerebral autosomal recessive arteriopathy with subcortical infarcts and leukoencephalopathy(CARASIL)
- 超敏C-反应蛋白 high-sensitivity C-reactive protein(hs-CRP)
- 重组组织型纤溶酶原激活物 recombinant tissue-type plasminogen activator(rt-PA)
- 出血性转化 hemorrhagic transformation(HT)
- 创伤性凝血病 trauma-induced coagulopathy(TIC)
- 磁敏感加权成像 susceptibility-weighted imaging(SWI)
- 大动脉粥样硬化 large artery atherosclerosis(LAA)
- S-100蛋白 S-100 protein(S-100)
- 蛋白激酶B protein kinase B(PKB)
[丝氨酸/苏氨酸激酶 serine/threonine kinase(AKT)]
- 导航经颅磁刺激 navigated transcranial magnetic stimulation(nTMS)
- 第二代测序技术 next-generation sequencing(NGS)
- β -淀粉样蛋白 amyloid β -protein(A β)
- 淀粉样脑血管病 cerebral amyloid angiopathy(CAA)
- β -淀粉样前体蛋白 amyloid β -protein precursor(APP)
- 动-静脉畸形 arteriovenous malformation(AVM)
- 短暂性脑缺血发作 transient ischemic attack(TIA)
- 多靶点酪氨酸激酶抑制剂 tyrosine kinase inhibitors(TKI)
- 多形性黄色星形细胞瘤 pleomorphic xanthoastrocytoma(PXA)
- 多学科诊疗模式 multi-disciplinary team(MDT)
- 二氨基联苯胺 diaminobenzidine(DAB)
- 4',6-二脒基-2-苯基吲哚 4',6-diamidino-2-phenylindole(DAPI)
- 放射免疫沉淀法 radioimmunoprecipitation assay(RIPA)
- 放射治疗肿瘤学组 Radiation Therapy Oncology Group(RTOG)
- 非典型畸胎样/横纹肌样肿瘤 atypical teratoid/rhabdoid tumor(AT/RT)
- 非甾体抗炎药 non-steroid anti-inflammatory drug(NSAID)
- 辅助性T细胞 helper T cell(Th)
- 钆-二乙三胺五醋酸 gadolinium-diethylene triamine pentetic acid(Gd-DTPA)
- 改良Rankin量表 modified Rankin Scale(mRS)
- 甘油醛-3-磷酸脱氢酶 glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase(GAPDH)
- 骨形态发生蛋白 bone morphogenetic protein(BMP)
- 光密度 optical density(OD)
- 广谱细胞角蛋白 pan cytokeratin(PCK)
- 国际标准化比值 international normalized ratio(INR)
- 核仁小RNA small nucleolar RNA(snoRNA)
- 核因子- κ B nuclear factor- κ B(NF- κ B)
- 红细胞沉降率 erythrocyte sedimentation rate(ESR)
- 活化部分凝血活酶时间 activated partial thromboplastin time(APTT)
- 活化蛋白C抵抗 active protein C resistant(APCR)
- Glasgow昏迷量表 Glasgow Coma Scale(GCS)
- 基质金属蛋白酶 matrix metalloproteinases(MMPs)
- 急性创伤性凝血病 acute traumatic coagulopathy(ATC)
- 剂量体积直方图 dose volume histogram(DVH)