

重复经颅磁刺激对脑卒中后认知障碍及脂代谢的影响

张俊^{1,2}, 马将², 李红², 梅浩男¹, 陶晓琳²

【摘要】 目的:观察低频重复经颅磁刺激(rTMS)对脑卒中后认知障碍(PSCI)及脂代谢的影响。**方法:**43例PSCI患者随机分为rTMS组21例和假刺激组(Sham组)22例。2组患者均给予常规康复治疗及认知功能训练,rTMS组在此基础上给予健侧背外侧前额叶(DLPFC)1Hz、90%运动阈值的rTMS治疗,Sham组给予假刺激,治疗4周。于治疗前、治疗4周后采用简易精神状态量表(MMSE)和蒙特利尔认知量表(MoCA)对患者认知功能进行评估,并检测患者甲状腺激素和血脂水平。**结果:**治疗后2组患者MMSE评分、MoCA评分较治疗前均显著提高($P<0.05$),且rTMS组患者MMSE评分、MoCA评分均显著高于Sham组($P<0.05$)。rTMS组患者治疗后血清三碘甲状腺原氨酸(T₃)、促甲状腺激素水平(TSH)较治疗前显著升高($P<0.05$),总胆固醇(TCHO)水平较治疗前显著下降($P<0.05$)。**结论:**低频rTMS能改善PSCI患者的认知功能,并且能够升高血清T₃、TSH水平,同时降低TCHO水平。

【关键词】 重复经颅磁刺激;脑卒中;认知障碍;甲状腺激素;脂代谢

【中图分类号】 R49;R743.3 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2021.10.002

Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on post-stroke cognitive impairment and lipid metabolism

Zhang Jun, Ma Jiang, Li Hong, et al. College of Nursing and Rehabilitation, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China

【Abstract】 Objective: To observe the effects of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) on post-stroke cognitive impairment (PSCI) and lipid metabolism. **Methods:** Forty-three PSCI patients were randomly divided into rTMS group ($n=21$) and Sham rTMS group ($n=22$). Both groups were given conventional rehabilitation therapy. The rTMS group was given the contralateral dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) 1Hz, 90% motor threshold rTMS treatment, and the Sham group was given false stimulation for 4 weeks. Before and 4 weeks after treatment, the patient's cognitive function was assessed with the Mini Mental State Scale (MMSE) and Montreal Cognitive Scale (MoCA), and the patient's thyroid hormone and blood lipid levels were measured. **Results:** After treatment, the MMSE score and MoCA score in the two groups were significantly higher than those before treatment ($P<0.05$), and the MMSE score and MoCA score in the rTMS group were significantly higher than those in the Sham group ($P<0.05$). After treatment in the rTMS group, serum triiodothyronine (T₃) and thyroid-stimulating hormone (TSH) levels were significantly higher than those before treatment ($P<0.05$); total cholesterol (TCHO) levels were significantly lower than those before treatment ($P<0.05$). **Conclusion:** Low-frequency rTMS can improve the cognitive function of PSCI patients, and can increase serum T₃ and TSH levels, while reducing TCHO levels.

【Key words】 repetitive transcranial magnetic stimulation; stroke; cognitive impairment; thyroid hormones; lipid metabolism

脑卒中后认知障碍(post-stroke cognitive impairment, PSCI)的发生率高达80.97%^[1],严重影响患者

的日常生活^[2],是当前研究的热点。目前,缺少针对PSCI特异性的药物,效果不理想。非药物治疗中重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为一种无创、无痛的神经调控技术对脑卒中后记忆、言语、视空间结构等认知障碍域具有较好的效果^[3-4],以往研究显示高频rTMS能够改善PSCI患者的认知功能,但是低频rTMS改善PSCI患者认知功能的证据尚不明确。多项研究表明,血脂及

基金项目:河北省“三三三人才工程”资助项目(A202002023);河北省科技计划项目(2037727D);河北省医学科学研究重点课题(20201399)

收稿日期:2021-01-30

作者单位:1. 华北理工大学护理与康复学院,河北唐山063210;2. 石家庄市人民医院,石家庄050030

作者简介:张俊(1995-),男,硕士研究生,主要从事神经康复方面的研究。

通讯作者:马将,17603119315@163.com

甲状腺功能异常与认知功能障碍密切相关^[5-6],甲状腺激素受下丘脑-垂体-甲状腺(hypothalamo-pituitary-thyroid, HPT)轴调控,而血脂又受到甲状腺激素分泌的影响。之前 Ren 等^[7]研究发现 rTMS 能够调节正常老年人的脂代谢,同时 Wang 等^[8]发现 rTMS 能够降低老化小鼠脑内的胆固醇水平。脂代谢紊乱是脑卒中的重要因素之一,同时也是脑卒中患者二级预防的重点,如何通过简便易行的方法来干预脂代谢紊乱是关键。但是目前关于 rTMS 对于脑卒中患者脂代谢影响的相关研究较少。基于此,本研究旨在探讨低频 rTMS 对 PSCI 患者认知功能、甲状腺激素和血脂水平的影响,为临床治疗 PSCI 提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2019 年 7 月~2020 年 12 月在石家庄市人民医院康复医学科住院且符合纳入标准和排除标准的 PSCI 患者 43 例为研究对象。纳入标准:首次发病,均符合 1995 年第四届全国脑血管病学术会议通过的脑卒中诊断标准,并经 MRI 或 CT 扫描证实;年龄<80 岁,右利手;病程在 14 d~6 个月;生命体征稳定,意识清楚,能配合完成认知测试及临床检查;医师查体发现或患者主诉有认知障碍,蒙特利尔认知量表(Montreal Cognitive Assessment, MoCA)评分 10~26 分,但不符合《美国精神障碍与统计手册》第 4 版的痴呆诊断标准^[9];发病前认知正常,且不存在任何精神类疾病影响认知测试;不存在甲状腺相关疾病;所有患者均知情同意,并签署知情同意书,该研究经我院伦理委员会审批通过。排除标准:既往有脑卒中病史;生命体征不稳定,存在严重心、肝、肺等重要脏器损伤;颅内金属植入物或心脏支架等;有严重听力障碍及失语不能配合完成试验者;存在癫痫病史;患有精神类疾病或情绪不稳定者。将纳入的患者按照随机数字表法分成 rTMS 组 21 例和假刺激组(Sham 组)22 例。2 组患者性别、年龄、卒中类型、卒中病程、受教育年限和 MoCA 评分等一般资料比较差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。见表 1。

1.2 方法 2 组患者均进行常规康复治疗及认知功能训练,rTMS 组额外增加 rTMS 治疗,Sham 组进行

假刺激。①常规康复治疗:针对患者的基础性疾病给予相应的药物治疗,同时给予对应的常规康复训练。②认知功能训练:由专业的康复治疗师根据患者的 MoCA 评分及对应的各个维度损害设计相应的认知训练方案,主要包括执行功能训练、记忆力训练、注意力和计算力训练、视空间结构能力训练、语言能力训练、定向能力训练等,每日 1 次,每天 30min,每周 5d,治疗 4 周。③rTMS 治疗:rTMS 组患者在上述常规康复治疗基础上予以 rTMS 治疗,采用 M100-Uti-mate 型号的经颅磁刺激仪,“8”字线圈,线圈平面与患者头皮水平安置;Sham 组接受相同的刺激参数,不同之处为线圈平面与患者头皮表面垂直 90°放置。刺激参数如下:刺激部位为健侧背外侧额叶皮质(dorso-lateral prefrontal cortex, DLPFC),按照国际脑电记录系统将线圈置于 F3/F4 点,线圈中心与患者头皮表面相切,刺激频率为 1Hz,刺激强度为 90%运动阈值,刺激时间 10s,间隔时间为 3s;每日刺激 20min,共 1000 脉冲,每日 1 次,5d/周,共刺激 4 周。告知患者在治疗过程中保持放松,避免移动,每次标记刺激部位,增加刺激部位的精确性。

1.3 评定标准 ①简易精神状态量表(Mini-Mental State Examination, MMSE)^[10]:是国内外应用最为广泛的认知筛查量表。主要包括:时间/地点定向力、即刻记忆、注意力及计算力、延迟记忆、语言、视空间结构共 7 个方面,共 30 道题,每题 1 分,共计 30 分,分数越高代表认知功能越好。②MoCA 量表^[11]:包括注意与集中、执行功能、记忆、语言、视空间结构、抽象思维、计算力和定向力等 8 个认知域的 11 个检查项目,分值范围为 0~30 分。当受教育年限≤12 年时总分加 1 分,得分 26 分及以上为认知功能正常。③血液学指标检测^[8]:所有患者在治疗开始前一天和治疗结束后一天晨起 8:00 空腹抽血,以 3000r/min 离心 10min 分离血清,置于-80℃冰箱保存,以待测定各项指标。用酶法测定血脂四项:总胆固醇(total cholesterol, TCHO)、甘油三酯(triglyceride, TG)、高密度脂蛋白(high-density lipoprotein, HDL)和低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)。采用电化学发光法测定甲状腺相关激素五项:三碘甲状腺原氨酸(triiodothyronine,

表 1 2 组患者一般资料比较

组别	n	性别(例)		卒中类型(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	受教育年限 (年, $\bar{x} \pm s$)	MoCA 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)
		男	女	梗死	出血				
rTMS 组	21	15	6	11	10	60.67±9.53	51.90±21.90	7.48±4.19	15.90±4.33
Sham 组	22	14	8	14	8	58.95±7.88	49.50±29.39	9.45±3.07	15.64±3.90
t/χ^2		0.279		0.559		0.644	0.303	-1.773	0.214
P		0.586		0.455		0.523	0.763	0.084	0.832

T3)、甲状腺素(thyroxine, T4)、游离三碘甲状腺原氨酸(free triiodothyronine, FT3)、游离甲状腺素(free thyroxine, FT4)和促甲状腺激素(thyroid stimulating hormone, TSH)。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 25.0 统计软件包进行统计分析,计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验,组内前后比较采用配对样本 t 检验, $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组患者治疗前后 MMSE 评分、MoCA 评分比较 治疗前,2 组患者 MMSE 评分、MoCA 评分组间比较差异无统计学意义;治疗后,2 组患者 MMSE 评分、MoCA 评分均显著高于治疗前($P < 0.05$),且 rTMS 组患者 MMSE 评分、MoCA 评分均显著高于 Sham 组($P < 0.05$)。见表 2。

2.2 2 组患者治疗前后甲状腺相关激素水平比较 治疗前,2 组患者血清 T3、T4、FT3、FT4、TSH 水平组

间比较差异无统计学意义;治疗后,rTMS 组血清 T3、TSH 水平较治疗前明显升高,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。其余指标组间及组内比较差异均无统计学意义。见表 3。

2.3 2 组患者治疗前后血脂水平比较 治疗前,2 组患者血清 TCHO、TG、HDL、LDL 水平组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,rTMS 组血清 TCHO 水平较治疗前显著下降,差异具有统计学意义($P < 0.05$),其余指标组间及组内比较差异无统计学意义。见表 4。

3 讨论

脑卒中患者常出现不同程度的认知损害,影响着整体功能的恢复,并且最新专家共识指出 PSCI 是可防可治的,因此早期发现及干预 PSCI 具有重要意义^[12]。DLPFC 与认知控制过程密切相关,参与多种认知任务^[13],同时也是 rTMS 刺激脑区易到达的部位,目前大多数有关 rTMS 改善认知的研究都集中在

表 2 2 组患者治疗前后 MMSE、MoCA 评分比较

分, $\bar{x} \pm s$

指标	组别	n	治疗前	治疗后	t	P
MMSE 评分	rTMS 组	21	18.05±4.63	24.43±3.03	-5.286	<0.001
	Sham 组	22	18.45±4.89	22.27±3.48	-2.985	0.005
	t		-0.280	2.163		
	P		0.781	0.036		
MoCA 评分	rTMS 组	21	15.90±4.33	21.19±3.59	-4.305	<0.001
	Sham 组	22	15.64±3.90	18.95±3.64	-2.916	0.006
	t		0.214	2.027		
	P		0.832	0.049		

表 3 2 组患者治疗前后甲状腺相关激素水平比较

$\bar{x} \pm s$

指标	组别	n	治疗前	治疗后	t	P
T3(nmol/L)	rTMS 组	21	1.13±0.24	1.30±0.26	-2.201	0.034
	Sham 组	22	1.24±0.23	1.29±0.27	-0.604	0.549
	t		-1.578	0.141		
	P		0.122	0.888		
T4(nmol/L)	rTMS 组	21	120.22±30.95	120.71±23.95	-0.057	0.955
	Sham 组	22	132.79±32.47	120.14±21.05	1.533	0.133
	t		-1.298	0.083		
	P		0.202	0.934		
FT3(pmol/L)	rTMS 组	21	4.81±0.70	4.71±0.56	0.584	0.562
	Sham 组	22	5.10±1.22	4.81±0.67	0.985	0.330
	t		-0.931	-0.566		
	P		0.357	0.574		
FT4(pmol/L)	rTMS 组	21	12.24±2.06	12.06±2.27	0.259	0.797
	Sham 组	22	12.45±1.77	11.93±1.58	1.040	0.304
	t		-0.368	0.232		
	P		0.715	0.817		
TSH(uIU/ml)	rTMS 组	21	1.74±1.01	2.58±1.21	-2.427	0.020
	Sham 组	22	2.35±1.62	2.22±1.63	0.278	0.782
	t		-1.468	0.827		
	P		0.150	0.413		

表4 2组患者治疗前后血脂水平比较

mmol/L, $\bar{x} \pm s$

指标	组别	n	治疗前	治疗后	t	P
TCHO	rTMS组	21	4.12±1.35	3.37±0.95	2.070	0.045
	Sham组	22	3.93±0.89	3.64±0.92	1.060	0.295
	t		0.545	-0.949		
	P		0.589	0.348		
TG	rTMS组	21	1.41±0.69	1.44±0.70	-0.148	0.883
	Sham组	22	1.43±0.78	1.35±0.67	0.378	0.708
	t		-0.080	0.462		
	P		0.937	0.646		
HDL	rTMS组	21	0.97±0.28	0.93±0.18	0.572	0.571
	Sham组	22	1.05±0.23	1.01±0.25	0.516	0.608
	t		-0.952	-1.190		
	P		0.347	0.241		
LDL	rTMS组	21	2.51±1.07	2.28±0.91	0.750	0.458
	Sham组	22	2.49±0.73	2.34±0.72	0.694	0.491
	t		0.058	-0.249		
	P		0.954	0.804		

此区域。在本研究中,依据“半球间竞争性抑制模型”选择低频 rTMS 作用于健侧 DLPFC 抑制脑区神经兴奋性,调整脑卒中后导致的左右大脑半球抑制失衡^[14],结果表明低频 rTMS 刺激健侧 DLPFC 能提高 PSCI 患者认知功能评分,改善认知功能。其可能的机制为:增加突触之间传递效能,促进突触的可塑性变化^[15],提高整体认知功能;调控刺激部位局部及远隔区域的大脑兴奋性,促进细胞间信号传递,增加脑区功能连接^[16];加快大脑皮层脑血流速度,增加脑血流量,促进脑细胞物质代谢,清除有害物质,减少缺血导致的继发性损害^[17];抑制凋亡相关蛋白表达,减少细胞凋亡,促进大脑损伤区域神经网络的重组等^[18]。

甲状腺激素在大脑发育及脑功能中具有重要作用。急性脑卒中常导致甲状腺功能紊乱,且以低 T3 综合征为主要表现^[19]。研究表明随着脑卒中本身疾病的恢复,患者身体状况好转,血清 T3 水平有升高趋势。本研究发现,经过 4 周 rTMS 治疗后 PSCI 患者血清 T3、TSH 水平出现显著升高。rTMS 促进血清甲状腺激素的分泌,加快了脑卒中患者疾病恢复的进程,对患者整体功能恢复具有重要意义。Trojak 等^[20]研究发现低频 rTMS 作用于抑郁症患者左侧 DLPFC,血清 TSH 水平显著增高,并且认为血清 TSH 的改变可能是由于 rTMS 作用于 DLPFC 影响到了 HPT 轴。但是目前关于 rTMS 对血清 TSH 影响的研究较少,具体途径尚不清楚。Zikopoulos 等^[21]利用组织化学荧光和电子显微镜技术,证实了大脑额叶皮层和下丘脑之间存在密切联系。由此,分析可能的机制为:rTMS 作用于 DLPFC 促进神经连接,信号传递,使下丘脑分泌促甲状腺激素释放激素从而升高 TSH,进而促进 T3 释放。

高脂血症是影响脑卒中患者认知功能的一个可控危险因素,较高的血脂水平通常预示着患认知障碍的高风险^[22],在 PSCI 患者中增高的血脂水平会加重认知损害的程度。最近的一项 Meta 分析显示脑卒中后降低血脂水平能减少患认知障碍的风险^[22],因此对于 PSCI 患者降低血脂水平可能有益于认知功能的改善。研究表明甲状腺激素对血脂具有较强的分解作用。同时有研究显示^[23],TSH 水平增高能降低老年人患心血管疾病的风险,减少卒中和冠心病的发生,提示甲状腺激素水平的升高会增加血脂代谢从而降低血脂水平。这与本研究中经过 rTMS 治疗后血清 T3、TSH 水平升高,TCHO 含量下降相一致。推测 rTMS 干预后血脂的改变可能是由于甲状腺激素水平的改变而间接引起的。

rTMS 通过脉冲磁场作用于大脑皮层产生感应电流,能够兴奋刺激位点和远隔区域的神经细胞,促进解剖功能区之间的连接^[24]。前额叶皮质与丘脑之间具有相互连通性,增加内侧丘脑的兴奋性能够增加认知任务^[25]。因此,推测在本研究中 rTMS 作用于 DLPFC 能够增强丘脑的神经细胞活动,并且对下丘脑产生作用,将信号通过 HPT 轴传递到甲状腺从而引起 T3 水平增加,影响脂代谢。在接下来的工作中,本课题组将借助功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)进一步证实前额叶皮质与丘脑之间的连接信号通路,为本研究的推测提供客观的证据支持。

综上所述,低频 rTMS 刺激能够改善 PSCI 患者的认知功能,并且能够升高血清 T3、TSH 水平,同时降低 TCHO 水平。可能是因为 rTMS 作用于大脑皮层,通过调节 HPT 轴的活性,进而调节脂代谢水平。

但是该研究的样本量较小,且干预时间仅有4周,在接下来的研究中应扩大样本量、增加干预时长进行进一步研究。

【参考文献】

- [1] Qu YJ, Zhuo L, Li N, et al. Prevalence of post-stroke cognitive impairment in china: a community-based, cross-sectional study [J]. PLoS ONE, 2015, 10(4):e0122864.
- [2] 李雅薇, 吕星, 李旭晖, 等. 重复经颅磁刺激结合计算机认知训练对脑卒中患者认知功能评估和日常生活能力分析[J]. 中国康复, 2020, 35(2):95-98.
- [3] Hara T, Shanmugalingam A, McIntyre A, et al. The Effect of Non-Invasive Brain Stimulation (NIBS) on Attention and Memory Function in Stroke Rehabilitation Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Diagnostics (Basel), 2021, 11(2):227.
- [4] 丁巧方, 李哲, 郭钢花, 等. 不同频率重复经颅磁刺激对脑卒中后认知障碍患者的影响[J]. 中国康复, 2019, 34(10):513-517.
- [5] Chaker L, Wolters FJ, Bos D, et al. Thyroid function and the risk of dementia: The Rotterdam Study[J]. Neurology, 2016, 87(16):1688-1695.
- [6] He Q, Li Q, Zhao J, et al. Relationship between plasma lipids and mild cognitive impairment in the elderly Chinese: a case-control study[J]. Lipids in Health & Disease, 2016, 15(1):146.
- [7] Ren W, Ma J, Li J, et al. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) Modulates Lipid Metabolism in Aging Adults[J]. Frontiers in Aging Neurosci, 2017, 9:334.
- [8] Wang HL, Wang YY, Liu XG, et al. Cholesterol, 24-Hydroxycholesterol, and 27-Hydroxycholesterol as Surrogate Biomarkers in Cerebrospinal Fluid in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease: A Meta-Analysis[J]. J Alzheimers Dis, 2016, 51(1):45-55.
- [9] Guha M. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-5 (5th edition)[J]. Australian & New Zealand Journal of Psychiatry, 2009, 29(3):36-37.
- [10] 高明月, 杨珉, 况伟宏, 等. 简易精神状态量表得分的影响因素和正常值的筛查效度评价[J]. 北京大学学报(医学版), 2015, 47(3):443-449.
- [11] 甘露, 刘涛, 王淑华, 等. 中文版简明精神状态量表与蒙特利尔认知评估量表临床应用进展[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(7):842-845.
- [12] 王俊. 中国卒中后认知障碍防治研究专家共识[J]. 中国卒中杂志, 2020, 15(2):158-166.
- [13] Miller EK. The prefrontal cortex and cognitive control[J]. Nat Rev Neurosci, 2000, 1(1):59-65.
- [14] Di PG, Pellegrino G, Assenza G, et al. Modulation of brain plasticity in stroke: a novel model for neurorehabilitation[J]. Nat Rev Neurol, 2014, 10(10):597-608.
- [15] Lenz M, Galanis C, Müller-Dahlhaus F, et al. Repetitive magnetic stimulation induces plasticity of inhibitory synapses[J]. Nat Commun, 2016, 7(10020):10020.
- [16] Eshel N, Keller CJ, Wu W, et al. Global connectivity and local excitability changes underlie antidepressant effects of repetitive transcranial magnetic stimulation[J]. Neuropsychopharmacology, 2020, 45(6):1018-1025.
- [17] Iyer PC, Madhavan S. Non-invasive brain stimulation in the modulation of cerebral blood flow after stroke: A systematic review of Transcranial Doppler studies[J]. Clin Neurophysiol, 2018, 129(12):2544-2551.
- [18] Luo J, Zheng H, Zhang L, et al. High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) Improves Functional Recovery by Enhancing Neurogenesis and Activating BDNF/TrkB Signaling in Ischemic Rats[J]. Int J Mol Sci, 2017, 18(2):455.
- [19] Chen HJ, Wu YM, Huang GQ, et al. Low Tri-iodothyronine Syndrome Is Associated With Cognitive Impairment in Patients With Acute Ischemic Stroke: A Prospective Cohort Study[J]. Am J Geriatr Psychiatry, 2018, 26(12):1222-1230.
- [20] Trojak B, Chauvet-Gelinier JC, Vergès B, et al. Significant increase in plasma thyroid-stimulating hormone during low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation[J]. J Neuropsychiatry Clin Neurosci, 2011, 23(1):E12.
- [21] Zikopoulos B, Barbas H. Parallel driving and modulatory pathways link the prefrontal cortex and thalamus[J]. PLoS One, 2007, 2(9):e848.
- [22] Chu CS, Tseng PT, Stubbs B, et al. Use of statins and the risk of dementia and mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis[J]. Sci Rep, 2018, 8(1):5804.
- [23] Floriani C, Gencer B, Collet TH, et al. Subclinical thyroid dysfunction and cardiovascular diseases: 2016 update[J]. Eur Heart J, 2018, 39(7):503-507.
- [24] Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014-2018)[J]. Clin Neurophysiol, 2020, 131(2):474-528.
- [25] Bolkan SS, Stujenske JM, Parnaudeau S, et al. Thalamic projections sustain prefrontal activity during working memory maintenance[J]. Nat Neurosci, 2017, 20(7):987-996.

欢 迎 投 稿