

# 首次急进高原对军人认知功能影响的计算机神经心理学测试研究

禹智波 吕艳冰 宋凌恒 兰晓川 陈晓 刘涛 张杨 李锦青

400020 中国人民解放军陆军第九五八医院医学影像科(禹智波、宋凌恒、兰晓川、陈晓、刘涛、张杨、李锦青), 普通外科(吕艳冰)

通信作者: 李锦青, Email: lj200255@163.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2019.04.015

**【摘要】** **目的** 探讨首次急进高原环境对军人认知功能的影响。**方法** 对 20 名首次急进高原海拔 4 500 m 驻训战士(急进高原组)和 20 名驻地海拔 200 m 的战士(低海拔驻地组)采用计算机神经心理学测试, 测试包括语言记忆、视觉记忆、手指敲击、符号数字编码、Stroop 测验、位移注意测试和连续性能测试 7 个部分, 计算机基于正确响应、错误响应、响应次数和反应时间生成复合记忆、言语记忆、视觉记忆、精神运动速度、反应时间、复合注意、认知灵活性、处理速度、执行功能、简单注意、精细运动速度和整体神经认知指数等反映军人认知功能的标准分数, 用于统计分析。**结果** 与低海拔驻地组比较, 急进高原组的所有神经认知领域评分均明显降低, 其中整体神经认知指数、复合记忆、言语记忆、精神运动速度、反应时间、处理速度、执行功能差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 且整体神经认知指数, 反应时间、处理速度、执行功能与指氧饱和度呈正相关。**结论** 急性高原低压低氧环境暴露引起的神经心理性能多个指标下降, 与轻度创伤性脑损伤受损导致的认知领域功能影响相当。

**【关键词】** 认知功能; 执行功能; 高原

**基金项目:** 中国人民解放军陆军后勤科研面上项目(CLJ17J018)

**Impact of the first-time acute plateau experience on soldiers' cognitive function: a computer-based neuropsychological test** Yu Zhibo, Lyu Yanbing, Song Lingheng, Lan Xiaochuan, Chen Xiao, Liu Tao, Zhang Yang, Li Jinqing

Department of Medical Imaging, 958 Hospital of PLA Army, Chongqing 400020, China (Yu ZB, Song LH, Lan XC, Chen X, Liu T, Zhang Y, Li JQ); Department of General Surgery, 958 Hospital of PLA Army, Chongqing 400020, China (Lyu YB)

Corresponding author: Li Jinqing, Email: lj200255@163.com

**【Abstract】** **Objectives** To investigate the impact of the first time plateau experience on soldiers' cognitive function. **Methods** The computer neuropsychological tests were carried out on 20 soldiers who stationed and trained at 4 500 m above the sea level for the first time (acute plateau group) and 20 soldiers who stationed at 200 m above the sea level (low-altitude group). The tests included language memory, visual memory, finger tapping, symbolic digital coding, Stroop test, displacement attention test and continuous performance test. Based on correct responses, error responses, the number of responses and reaction time, the computer generates indicators that reflect military cognitive functions and can be used for statistical analysis, such as complex memory, speech memory, visual memory, psychomotor speed, reaction time, complex attention, cognitive flexibility, processing speed, executive function, simple attention, fine motor speed, and overall neurocognitive index. **Results** Compared with the low-altitude group, the scores of all neurocognitive fields in the acute plateau group were significantly reduced, and the overall neurocognitive index, complex memory, speech memory, psychomotor speed, reaction time, processing speed, and executive function were statistically different ( $P < 0.05$ ). The overall neurocognitive index, reaction time, processing speed, executive function and positive oxygen saturation were positively correlated. **Conclusions** The exposure to acute high-altitude hypobaric hypoxia can lower a few aspects of neuropsychological performance, which is equivalent to the impaired cognitive function caused by mild brain injury.

**【Key words】** Cognitive function; Executive function; Plateau

**Fund program:** PLA Army Logistics Research Program (CLJ17J018)

大脑的有效运作需要连续不断的氧气和能量供应。脑神经元仅具有最小的储存能力,在执行复杂的认知功能时所需的高能量和波动能量依赖于恒定的氧气供应。高原环境中气压低、空气中氧气含量低,急进高原时这些因素极易导致机体缺氧,神经细胞短时缺氧和缺血情况下也极易发生功能障碍和损伤。研究表明高原环境会导致军人的心理功能下降,影响军人的作业绩效<sup>[1-2]</sup>,新时代部队遂行高原训练和执行任务成为新的常态。极端环境下军人的认知适应和应激作业能力,是未来战争中决定胜负的重要因素之一。因此,研究高原环境对军人认知功能的影响规律和机制有重要意义。

### 一、对象与方法

1. 研究对象: (1) 急进高原组: 2018年7月随机选取某部急进海拔4 500 m高原驻训战士20人, 男性, 所有受试者均为首次进入海拔4 000 m以上高原, 由驻地平原地区列车机动直接达到海拔4 500 m驻训地, 未进行高原习服, 未服用任何预防高原反应药物。(2) 低海拔驻地组: 随机选取海拔200 m驻训某部战士20人, 男性, 所有受试者均未有高原生活史。所有受试者心肺功能正常, 无神经系统、精神和心理疾病史, 均为右利手, 对本研究知情, 并签署知情同意书, 本研究依据赫尔辛基宣言进行, 并获本院伦理委员会批准。

2. 方法: 本研究认知功能评估采用基于计算机标准化的神经心理学测试系统CNS Vital Signs(<http://www.cnsvs.com/>)4.0.88版进行, 一次测试约30 min, 在测试之前系统会给出如何完成每项测试和标准化计算说明以及必要的练习。急进高原组在部队进驻高原后的第2天开始进行, 低海拔驻地组在正常训练日进行, 测试在一个相对独立的房间或帐篷进行, 避免外界干扰, 测试开始前采用指氧监测仪(Heal Force POD-3)检测中指的指氧饱和度, 采用电子腕式血压计(OMRON HEM-8612)测量血压和心率。每个CNS测试包括言语记忆、视觉记忆、手指敲击、符号数字编码、Stroop测试、移位注意测试和连续性能测试7个部分。每个测试的详细描述由Gualtieri和Johnson<sup>[3]</sup>给出。所有测试均由一名实验员启动和监督完成, 每个测试由受试者连续、独立、不间断完成, 以确保数据的连续性和一致性。测试结束后, 系统会生成一个评分报表, 测试全程均是自动化的, 消除了人为因素和主管因素导致的评估偏差。CNS测试系统评分是基于大样本数据库在计算原始测试分数基础上, 计算出经年龄、性别和受教育年限

校正规范后的各个领域的标准分和总体神经认知指数。根据测试的正确率、错误率、反应次数和反应时间, 得到12个反映神经认知功能的基本的心理功能的标准分数用于统计分析。12个领域分别是: 整体神经认知指数、复合记忆、言语记忆、视觉记忆、精神运动速度、反应时间、复合注意、认知灵活性、处理速度、执行功能、简单注意和精细运动速度。

3. 统计学方法: 采用SPSS 20.0和GraphPad Prism 6版本进行数据统计学分析, 计量资料以均数 ± 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 采用两独立样本 $t$ 检验, 相关性分析采用Pearson相关性检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

### 二、结果

1. 一般临床资料: 见表1。两组战士的年龄和受教育年限差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 急进高原组指氧饱和度显著低于低海拔驻地组, 心率、血压收缩压、舒张压急进高原组显著高于低海拔驻地组, 两组间差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

表1 两组战士一般临床资料情况比较( $\bar{x} \pm s$ )

项目	急进高原组 (n=20)	低海拔驻地组 (n=20)	$t$ 值	$P$ 值
年龄(岁)	19.95 ± 1.47	19.60 ± 0.88	1.10	0.286
受教育年限(年)	13.50 ± 1.54	13.20 ± 1.51	0.81	0.428
指氧饱和度(%)	82.80 ± 4.90	98.65 ± 0.75	-14.07	< 0.001
心率(次/min)	103.40 ± 8.52	77.45 ± 6.09	10.56	< 0.001
收缩压(mmHg)	126.45 ± 11.55	116.20 ± 7.91	18.98	< 0.001
舒张压(mmHg)	83.50 ± 4.20	73.40 ± 4.90	-27.64	< 0.001

注: 1 mmHg=0.133 kPa

2. 神经心理学评估结果: 见表2。12个反映认知功能的基本心理学指标的标准分数急进高原组均低于低海拔驻地组, 其中整体神经认知指数、复合记忆、言语记忆、精神运动速度、反应时间、处理速度、执行功能7个领域两组评分比较差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 而视觉记忆、复合注意、认知灵活性、简单注意和精细运动速度的评分差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

3. 相关性分析: 见图1。对神经心理学评估有统计学意义的7个领域的急进高原组标准分数与指氧含量做相关性分析发现, 整体神经认知指数、反应时间、处理速度和执行功能与指氧含量呈正相关( $R^2 > 0.4$ ); 复合记忆、言语记忆、精神运动速度与指氧含量相关性较小( $R^2 < 0.3$ )。血压、心率与神经心理学评估指标无相关性。

表2 两组战士CNS测试结果比较(分,  $\bar{x} \pm s$ )

项目	急进高原组 (n=20)	低海拔驻地组 (n=20)	t值	P值
整体神经认知指数	100.75 ± 7.84	105.95 ± 8.37	-2.32	0.033
复合记忆	97.40 ± 11.48	103.60 ± 9.40	-3.12	0.006
言语记忆	97.80 ± 10.73	104.55 ± 7.52	-3.16	0.005
视觉记忆	99.55 ± 11.24	101.65 ± 10.57	-0.73	0.474
精神运动速度	114.65 ± 7.80	124.75 ± 17.99	-3.12	0.005
反应时间	95.00 ± 10.28	103.75 ± 7.45	-4.01	0.001
复合注意	96.55 ± 11.67	100.00 ± 7.48	-1.10	0.286
认知灵活性	102.95 ± 13.07	106.55 ± 10.80	-1.35	0.193
处理速度	127.90 ± 16.64	136.90 ± 16.20	-2.62	0.017
执行功能	101.20 ± 10.74	109.20 ± 9.89	-2.39	0.008
简单注意	108.20 ± 9.69	108.90 ± 12.88	-0.445	0.660
精细运动速度	106.55 ± 10.80	106.40 ± 7.55	0.11	0.915

**讨论** 研究表明,急进高原低氧环境对神经认知功能测试有明显影响,缺氧影响了涉及许多高级认知功能的测试结果。与年龄、年龄、受教育年限相匹配的低海拔对照组相比,急进高原低氧组的12个反映认知功能的基本心理学指标的标准分数均有不同程度的下降。两组之间整体神经认知指数、复合记忆、言语记忆、精神运动速度、反应时间、处理速度、执行功能的标准分数差异有统计学意义,并且整体神经认知指数、反应时间、处理速度和执行功能的标准分数与指氧饱和度呈正相关。从本研

究来看,急进高原主要对大脑的记忆、处理速度和反应时间产生较大影响,最终导致整体神经认知指数下降。推测其主要原因可能是缺氧影响体内代谢平衡,并有可能导致分子损伤,进一步影响神经元的完整性,因此对这类过程的导致认知功能影响的探究,将有助于深入了解可能最容易缺氧的神经区域。

记忆包括学习、存储和检索信息的一系列过程,这些过程也依赖于来自额叶皮层的自顶向下的神经信号<sup>[4]</sup>。记忆障碍通常与神经损伤有关,包括缺氧和缺血机制<sup>[5-6]</sup>。涉及主动检索的记忆是由前额叶启动的,进一步激活颞叶的记忆表征,具体来说是激活了海马体的记忆功能<sup>[7-8]</sup>。本研究发现的复合记忆、言语记忆功能的下降与文献报道缺氧导致大脑功能改变的区域是一致的,急进高原时低氧导致海马体的CA1锥体神经元受损进而导致大脑记忆功能下降。

处理速度与注意力密切相关,是指在大脑中识别、解释和管理信息的速度。本研究发现急进高原受试者大脑处理速度下降,与暴露于高海拔<sup>[9-11]</sup>和对缺氧/缺血性脑损伤的幸存者的观察结果等文献报道基本一致,低氧导致注意力受损,特别是警惕或持续注意,进而造成处理速度下降<sup>[12-16]</sup>。注意力和处理速度都需要几个大型神经网络支持。这些

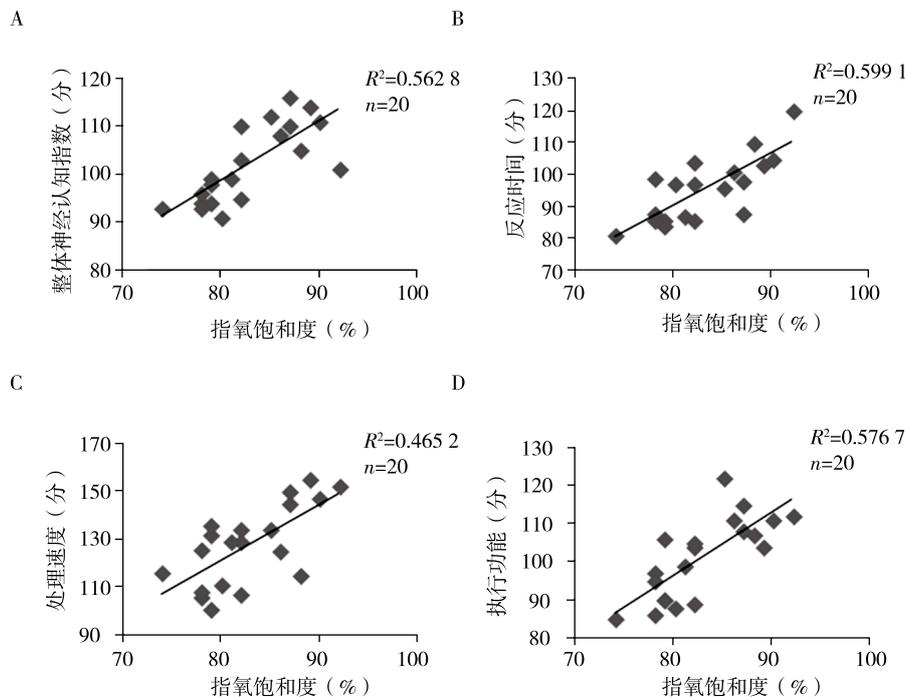


图1 整体神经认知功能指数、反应时间、处理速度和执行功能标准得分与指氧饱和度的线性关系图

神经网络包括初级和次级感觉皮质和一系列涉及连接、解释和组织信息的顶叶和额叶区域<sup>[4]</sup>。额叶-皮层下回路与高层次的注意力处理相关,多个轴突通路连接着这些皮质-皮层和皮质-皮层下区域。皮质区域的代谢中断会导致注意过程的中断,而轴突或皮层下元素的中断表现为处理速度的下降<sup>[4]</sup>。

执行功能包括一系列认知过程,包括判断、预期、见解、计划和组织<sup>[4]</sup>。除了以上功能外,它还负责注意力和记忆的执行控制,因此,由缺氧缺血性脑损伤和高海拔暴露引起的执行功能损伤通常与记忆障碍同时发生<sup>[9-11, 17-22]</sup>。执行功能由背侧前额叶皮层下回路(dorso-lateral-subcortical circuit)支持,这是一个复杂的皮层和皮层下网络,将额叶与多个皮层下结构和功能平行连接起来,并与眶额和前扣带回网络相连。本研究发现急进高原受试者大脑执行功能下降,表明背侧前额叶皮层下回路相关脑区功能受损。额叶皮层是认知功能的关键组成部分,急进高原低氧环境输送到额叶的能量和氧气不足,可能会导致额叶皮层功能受损,文献报道额叶皮质Ⅲ、Ⅴ和Ⅵ区最易受缺氧缺血的影响导致功能受损<sup>[23-24]</sup>。目前的研究结果证实,通过实验诱导缺氧或模拟高原环境,额叶皮质对缺氧十分敏感,前额叶皮层功能活动变化与低氧暴露有关<sup>[11, 25]</sup>。

综上所述,急进海拔4 500 m高原会导致军人认知部分功能下降,与轻度创伤性脑损伤导致的认知功能下降领域相当<sup>[15]</sup>,其原因与高原低氧导致记忆、注意和执行功能相关的脑区如前额叶、颞叶、海马等功能受损相关,目前,这些结论只是根据文献研究的推测,不能直观地反映这些脑区的受损和功能改变情况,随着检测技术的进一步发展,采用功能磁共振技术、PET-CT和PET-MR能直观的检测这些脑区的血流改变、能量摄取和血氧水平情况,这也是下一步研究的方向和重点。

**利益冲突** 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

**作者贡献声明** 构思与设计、论文撰写为禹智波,资料收集为吕艳冰、兰晓川、刘涛、张杨,文献调研与整理为宋凌恒,数据统计分析为陈晓,论文指导、修订为李锦青

## 参 考 文 献

- [1] 杨国榆,冯正直,秦爱粉,等.高原训练期间军人认知功能的追踪研究[J].第四军医大学学报,2005,26(3):272-275. DOI: 10.3321/j.issn:1000-2790.2005.03.026.  
Yang GY, Feng ZZ, Qin AF, et al. A tracking investigation on cognitive function of training soldiers in high altitude area[J]. J Fourth Mil Med Univ, 2005, 26(3): 272-275.
- [2] 保宏翔,陈竺,陆小龙,等.急进高原对新兵认知功能的
- 影响[J].第三军医大学学报,2013,(14):1498-1500. DOI: 10.16016/j.1000-5404.2013.14.028.
- Bao HX, Chen Z, Lu XL, et al. Effects of rush entry into plateau on recruits' cognitive function[J]. J Third Mil Med Univ, 2013, (14): 1498-1500.
- [3] Gualtieri CT, Johnson LG. Reliability and validity of a computerized neurocognitive test battery, CNS Vital Signs[J]. Arch Clin Neuropsychol, 2006, 21(7): 623-643. DOI: 10.1016/j.acn.2006.05.007.
- [4] Anderson CA, Arciniegas DB. Cognitive sequelae of hypoxic-ischemic brain injury: a review[J]. NeuroRehabilitation, 2010, 26(1): 47-63. DOI: 10.3233/NRE-2010-0535.
- [5] Sauve MJ, Walker JA, Massa SM, et al. Patterns of cognitive recovery in sudden cardiac arrest survivors: the pilot study[J]. Heart Lung, 1996, 25(3): 172-181.
- [6] Wilson FC, Harpur J, Watson T, et al. Adult survivors of severe cerebral hypoxia-case series survey and comparative analysis[J]. NeuroRehabilitation, 2003, 18(4): 291-298.
- [7] Buckner RL, Wheeler ME. The cognitive neuroscience of remembering[J]. Nat Rev Neurosci, 2001, 2(9): 624-634. DOI: 10.1038/35090048.
- [8] Miyashita Y. Cognitive memory: cellular and network machineries and their top-down control[J]. Science, 2004, 306(5695): 435-440. DOI: 10.1126/science.1101864.
- [9] Bjursten H, Ederoth P, Sigurdsson E, et al. S100B protein and cognitive function at high altitude[J]. High Alt Med Biol, 2010, 11(1): 31-38. DOI: 10.1089/ham.2009.1041.
- [10] Lemos V. de Aquino, Antunes HK, dos Santos RV, et al. High altitude exposure impairs sleep patterns, mood, and cognitive functions[J]. Psychophysiology, 2012, 49(9): 1298-1306. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2012.01411.x.
- [11] Virues-Ortega J, Buela-Casal G, Garrido E, et al. Neuropsychological functioning associated with high-altitude exposure[J]. Neuropsychol Rev, 2004, 14(4): 197-224.
- [12] Armengol CG. Acute oxygen deprivation: neuropsychological profiles and implications for rehabilitation[J]. Brain Inj, 2000, 14(3): 237-250.
- [13] Debette S, Kozłowski O, Steinling M. Levodopa and bromocriptine in hypoxic brain injury[J]. J Neurol, 2002, 249(12): 1678-1682. DOI: 10.1007/s00415-002-0903-1.
- [14] Gale SD, Hopkins RO, Weaver LK. MRI, quantitative MRI, SPECT, and neuropsychological findings following carbon monoxide poisoning[J]. Brain Inj, 1999, 13(4): 229-243.
- [15] Hopkins RO, Tate DF, Bigler ED. Anoxic versus traumatic brain injury: amount of tissue loss, not etiology, alters cognitive and emotional function[J]. Neuropsychology, 2005, 19(2): 233-242. DOI: 10.1037/0894-4105.19.2.233.
- [16] Zabel TA, Slomine B, Brady K. Neuropsychological profile following suicide attempt by hanging: two adolescent case reports[J]. Child Neuropsychol, 2005, 11(4): 373-388. DOI: 10.1080/09297040490916965.
- [17] Ochi G, Yamada Y, Hyodo K, et al. Neural basis for reduced executive performance with hypoxic exercise[J]. Neuroimage, 2018, 171(5): 75-83. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2017.12.091.
- [18] McMorris T, Hale BJ, Barwood M, et al. Effect of acute hypoxia on cognition: A systematic review and meta-regression analysis[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2017, 74(4): 225-232.

DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.01.019.

[ 19 ] Lim C, Alexander MP, LaFleche G, et al. The neurological and cognitive sequelae of cardiac arrest[ J ]. Neurology, 2004, 63(10): 1774-1778.

[ 20 ] Bickler PE, Feiner JR, Lipnick MS, et al. Effects of Acute, Profound Hypoxia on Healthy Humans: Implications for Safety of Tests Evaluating[ J ]. Anesth Analg, 2017, 124(1): 146-153. DOI: 10.1213/ANE.0000000000001421.

[ 21 ] Peskine A, Rosso C, Picq C, et al. Neurological sequelae after cerebral anoxia[ J ]. Brain Inj, 2010, 24(5): 755-761. DOI: 10.3109/02699051003709581.

[ 22 ] Ochi G, Kanazawa Y, Hyodo K, et al. Hypoxia induced lowered executive function depends on arterial oxygen desaturation[ J ]. J Physiol Sci, 2018, 68(6): 847-853. DOI: 10.1007/s12576-018-0603-y.

[ 23 ] Greer DM. Mechanisms of injury in hypoxic-ischemic encephalopathy: implications to therapy[ J ]. Semin Neurol, 2006, 26(4): 373-379. DOI: 10.1055/s-2006-948317.

[ 24 ] Immink RV, Pott FC, Secher NH, et al. Hyperventilation, cerebral perfusion, and syncope[ J ]. J Appl Physiol (1985), 2014, 116(7): 844-851. DOI: 10.1152/jappphysiol.00637.2013.

[ 25 ] Schneider S, Strüder HK. Monitoring effects of acute hypoxia on brain cortical activity by using electromagnetic tomography [ J ]. Behav Brain Res, 2009, 197(2): 476-480. DOI: 10.1016/j.bbr.2008.10.020.

(收稿日期: 2019-01-22)  
(本文编辑: 赵金鑫)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

### 本刊文稿中缩略语的书写要求

在本刊发表的学术论文中,已被公知公认的缩略语在摘要和正文中可以不加注释直接使用(表1);不常用的和尚未被公知公认的缩略语以及原词过长、在文中多次出现者,若为中文可于文中第1次出现时写明全称,在圆括号内写出缩略语,如:流行性脑脊髓膜炎(流脑);若为外文可于文中第1次出现时写出中文全称,在圆括号内写出外文全称及其缩略语,如:阿尔茨海默病(Alzheimer disease, AD)。若该缩略语已经公知,也可不注出其英文全称。不超过4个汉字的名词不宜使用缩略语,以免影响论文的可读性。西文缩略语不得拆开转行。

表1 《神经疾病与精神卫生》杂志常用缩略语

缩略语	中文全称	缩略语	中文全称	缩略语	中文全称
CNS	中枢神经系统	CSF	脑脊液	GABA	γ-氨基丁酸
IL	白细胞介素	AD	老年痴呆症(阿尔茨海默病)	PD	帕金森病
MRI	磁共振成像	CT	电子计算机体层扫描	DSA	数字减影血管造影
PCR	聚合酶链式反应	EEG	脑电图	MR	磁共振
HE	苏木素-伊红	BDNF	脑源性神经营养因子	PET	正电子发射计算机断层显像
SOD	超氧化物歧化酶	ELISA	酶联免疫吸附剂测定	CRP	C反应蛋白
MMSE	简易精神状态检查	NIHSS	美国国立卫生研究院卒中评分	TIA	短暂性脑缺血发作
TNF	肿瘤坏死因子	WHO	世界卫生组织	HAMD	汉密尔顿抑郁量表
HAMA	汉密尔顿焦虑量表	PANSS	阳性与阴性症状量表	rTMS	重复经颅磁刺激
5-HT	5-羟色胺	SSRIs	选择性5-羟色胺再摄取抑制剂	MoCA	蒙特利尔认知评估量表
PTSD	创伤后应激障碍	ICD-10	国际疾病分类第十版	DSM	美国精神障碍诊断与统计手册
CCMD-3	中国精神障碍分类与诊断标准 第3版				