

# 基于功能性近红外光谱探究中文书写和其他形式书写脑区激活异同的研究

## Study on the similarities and differences of brain activation between Chinese writing and other forms of writing based on functional near-infrared spectroscopy

**【摘要】目的：**利用近红外光谱成像技术（fNIRS），探究中文书写与其他形式书写激活脑区的异同。**方法：**通过 fNIRS 扫描受试者对组块设计的刺激内容进行抄写的情况，对实验数据进行单样本 t 检验得出任务相应的激活通道和脑区。**结果：**六项不同的书写任务，中文书写任务主要激活缘上回、岛盖部、上外额叶皮层、额下回顶部的延髓区等脑区；英文书写任务主要激活枕叶扣带皮层后端、初级运动皮层、岛盖部、上外额叶皮层、额叶额下回顶部的延髓区等脑区；VMI 图形书写任务主要激活中央前回前端区、后外侧前额叶皮层等被脑区；画圈书写主要激活顶叶皮质顶部、缘上回、初级运动皮层、中央前回前端区、后外侧前额叶皮层、岛盖部、上外额叶皮层、额下回顶部的延髓区等脑区；抄写句子书写任务主要激活岛叶皮质、中央前回前端区、Broca's area、岛盖部等脑区；参与“创造性写作”的言语创造力大脑激活区域表现为一个左额颞网络，由左额叶下回和左颞极组，在本研究中并未显著观察，可能与实验的差异性有关。**结论：**书写活动涉及多个不同脑区，在不同任务中，额叶、颞叶、顶叶和枕叶脑区激活情况是存在差异的。

**关键词：**书写；中文书写；书写功能脑区；脑功能成像；近红外光谱成像技术

### 引言

书写作为语言功能的一种表达形式，通过书写，我们可以将字义一字形信息转化为字形—运动轨迹，并且将其映射到 2D 空间上<sup>[1]</sup>。先前的研究利用各种功能性脑成像技术，尤其是功能性核磁共振技术探索了书写功能的神经机制，而近红外光谱成像技术（fNIRS）作为一种新型成像技术，相较于功能性核磁共振，更具有安全，便携等优点<sup>[1]</sup>。因此，我们采用 fNIRS，探究中文书写与其他形式书写激活脑区的异同，揭示书写语言与其他形式在神经网络激活情况的异同。

### 1 材料和方法

#### 1.1 材料

1.1.1 受试者 健康志愿者 5 名，右利手，母语为汉语，听力正常，视力正常或矫正到正常，自愿参加实验。试验前 3 个月未服用任何药物，受试者均于实验前进行有关实验步骤及操作的培训，以保证正确配合。其中男 1 名、女 4 名，年龄 19~21（平均 20）岁，均为在读大学生。排除心脑血管、精神障碍、神经障碍等方面疾病，药物和乙醇滥用者，无语言功能障碍或发育性言语功能缺陷。执行实验前，确保不会摄入过含咖啡因的饮料或食品。

1.1.2 实验设备 本研究使用日本岛津公司的 LABNIRS 系统，24 个测量通道。其采样率约为 13Hz，空间分辨率约为 3cm。

1.1.3 实验材料（表 1）

#### 1.2 实验方法

1.2.1 实验任务 采用组块设计<sup>[2]</sup>即“基线—任务刺激”模式。每个被试者完成 VMI 图形、英文、中文、抄写句子、创造句子 5 个任务。每次扫描总时间 1560s 由 3 个循环构成。每个循环 520 s，任务开始和结束时，先采集 60s 受试者处于安静状态下的脑皮层血氧水平，每个循环又分 5 个不同任务组块和 5 个重复控制任务组块，每个任务组块 60s，重复控制任务组块每个 20s，中文、英文任务组块在屏幕上持续呈现 2 s，VMI 图形、抄写句子、创作句子任务组块在屏幕上持续呈现 4s。

受试者在 fNIRS 扫描下通过旁边与其相连接的电脑看到屏幕上的刺激内容进行抄写，刺激由 5 个不同任务组块和 5 个重复控制任务组块组成：VMI 图形、画圈、英文、画圈、中文、画圈、抄写句子、画圈、创造句子、画圈。抄写时利手执黑色 0.5 签字圆珠笔，写在身边的纸板上。在书写期间要求被试者仅手腕以下部位运动。扫描之前对受试者进行一定的训练，使其准确配合实验任务的完成。

表 1 书写内容及材料

书写内容	材料形式或选自
中文	人教版小学语文课本
画圈	画连续、不中断且无规则的圈
英文的抄写	人教版小学英语课本
图形的抄写	VMI 九个图形测试
抄写句子	人教版小学语文课本
句子的创作	提示词选自人教版小学生语文课本，根据提示词进行创作



图 1 fNIRS 布局通道

1.2.2 探头布置 由 22 个探测器和 22 个发射器组成，构成了 73 个通道，各探头之间的间距为 3cm（详见图 1，红色为发射探头，蓝色为接收探头）。表 2 所示通道最大覆盖率的对应位置。

表 2 通道布局与 Brodmann 分区间的对应关系

Brodman 分区	对应通道
顶叶皮质顶部	ch1,ch2,ch3,ch4,ch5,ch6,ch7
缘上回	ch8,ch9,ch13,ch14,ch15,ch16,ch21,ch22,ch23
初级体感皮层	ch10,ch12,ch29,ch30
初级运动皮层	Ch11,ch17,ch18,ch19,ch20,ch24
中央前回前端区	ch25,ch26,ch27,ch28,ch31,ch32,ch33,ch34,ch35,ch36,ch39,ch40,ch42
额叶眼动区	ch37,ch38,ch43,ch44
后外侧前额叶皮层	ch41,ch45,ch46,ch48,ch49,ch50,ch51,ch54,ch55
三角部	ch47
岛盖部	ch52,ch53,ch56,ch57,ch58
上外额叶皮层	ch59,ch62,ch63,ch64,ch67,ch68,ch69
额下回顶部	ch60,ch61,ch65,ch66,ch70,ch71,ch72,ch73

1.2.3 数据分析 原始数据通过 NIRS-KIT 软件进行处理，首先对原始数据进行格式转换并通过软件中的 Topo-maker 模块定制光极配置文件。之后将转换格式后的文件导入数据查看模块并剔除质量较差的数据，剔除后在预处理模块对数据进行包括时间点剪切、去漂移、头动矫正、滤波、噪声回归和重采样的预处理。预处理后通过个体水平分析模块设计 GLM 模型，构建完成后进行模型估计，并产生每个被试所有通道在每个条件下对应的  $\beta$  值。最后，通过群组水平分析模块对每个任务的  $\beta$  值进行单样本 t 检验，可在结果中看到每个通道的激活状态，也可通过结果可视化模块进行 2d 可视化。

2 结果

2.1 受试者情况 信号采集中，本组五例受试者均完成书写任务的测验。每名受试者整体试验时间为 1560s。

2.2 各书写任务激活情况

2.2.1 独立样本 t 检验的 2d 可视化

使用光极配置文件进行 2d 可视化，把统计量对应的颜色值投射到该空白画布上，将二维的插值结果展示出来。在本次实验中，共有六项不同的书写任务，对各个任务进行独立样本 t 检验，并将各个任务的每个通道统计值的结果进行 2d 可视化。见图 2-7。

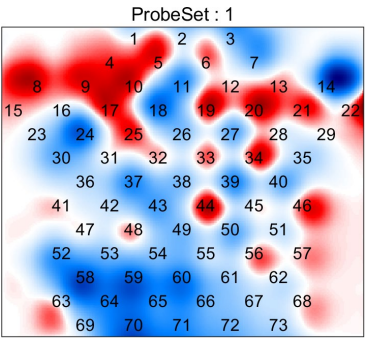


图 2 抄写中文

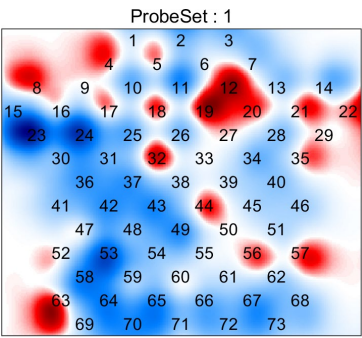


图 3 抄写英文

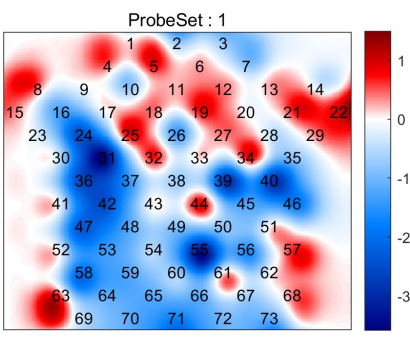


图 4 抄写 VMI 图形

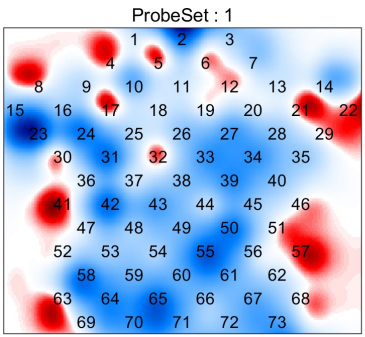


图 5 无意义的画圈

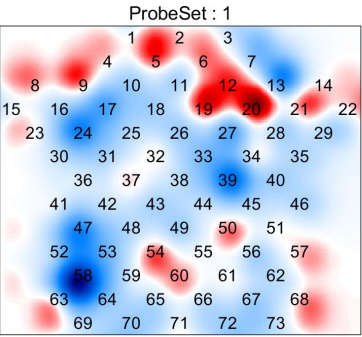


图 6 抄写句子

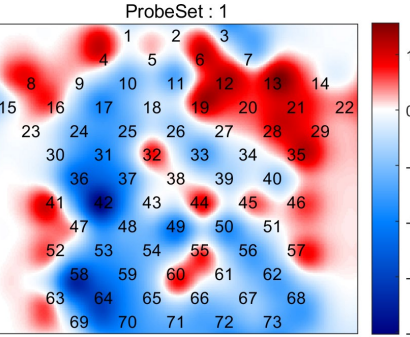


图 7 创造句子

2.2.2 各书写任务及显著激活通道（表 3）

表 3 书写任务与显著激活通道

书写任务		显著激活的通道
中文	ch14、ch58、ch59、ch70	
英文的抄写	ch23、ch24、ch53、ch58、ch64、ch65	
VMI 图形的抄写	ch31、ch39、ch40、ch55	
画圈	ch2、ch23、ch24、ch31、ch33、ch39、ch42、ch50、ch55、ch58、ch64、ch65、ch73	
抄写句子	ch13、ch24、ch39、ch47、ch58	
句子的创作	ch42、ch58、ch64	

2.2.2 书写任务及显著激活脑区

根据通道布局与 Brodmann 分区间的对应关系以及各个书写任务对应的激活通道，本研究结果显示：受试者进行①中文书写任务时，缘上回、岛盖部、上外额叶皮层、额下回顶部的延髓区等被激活。②英文书写任务时，枕叶扣带皮层后端、初级运动皮层、岛盖部、上外额叶皮层、额叶额下回顶部的延髓区等被激活。③VMI 图形书写任务时，中央前回前端区、后外侧前额叶皮层等被激活。④画圈书写任务时，顶叶皮质顶部、缘上回、初级运动皮层、中央前回前端区、后外侧前额叶皮层、岛盖部、上外额叶皮层、额下回顶部的延髓区等被激活。⑤抄写句子书写任务时，岛叶皮质、中央前回前端区、Broca's area、岛盖部等被激活。⑥创造句子书写任务时，中央前回前端区、岛盖部、上外额叶皮层等被激活。

### 3 讨论

人脑处理汉字信息时,需要一般的语音编码和形态编码的方式<sup>[3]</sup>,结合日本学者对汉字与假名失语的研究<sup>[4]</sup>,推测大脑处理汉字与拼音的部位与机制不同。一般来说,书写中文涉及主要脑区包括前额叶、颞叶、顶叶和枕叶。前额叶主要负责规划和执行书写动作,左侧更为活跃<sup>[5]</sup>;颞叶主要负责语言处理;顶叶和枕叶则负责视觉信息的处理。先前的实验中,中文书写任务时左顶叶上小叶、左额上回均参与字母的手动运动<sup>[6]</sup>,本实验中,主要激活缘上回、岛盖部、上外额叶皮层、额下回顶部的延髓区等区域。缘上回是经典的听觉中枢,可以进行读音加工,提取词汇的记忆和转换听觉;岛盖部被认为是汉语词汇读音判断任务激活的脑区;右额叶下回参与抑制控制和运动序列的信息处理<sup>[7]</sup>;梭状体在书写过程中也持续被激活<sup>[8]</sup>。

进行英文书写任务时,枕叶扣带皮层后端、初级运动皮层、岛盖部、上外额叶皮层、额叶额下回顶部的延髓区等被激活。枕叶扣带皮层后端,主要参与受试者情绪系统的调节。初级运动皮层、上外额叶皮层等书写英文时运动功能脑区被显著激活。在先前的研究中,中英文抄写时激活的共同脑区有:双侧运动区。

受试者在进行 VMI 图形书写任务时,中央前回前端区、后外侧前额叶皮层等被激活。绘制图形是一项需要复杂认知能力的活动,被观察到和与动作相关的皮质区域可能被招募,尽管程度不同,不仅是手写,还包括这些非语言的、高阶的运动任务。

受试者在进行画圈书写任务时,顶叶皮质顶部、缘上回、初级运动皮层、中央前回前端区、后外侧前额叶皮层、岛盖部、上外额叶皮层、额下回顶部的延髓区等被激活。顶叶皮质顶部激活提示具有视觉-运动协调功能。画圈比书写中文更强烈地调动初级运动皮层、中央前回前端区、后外侧前额叶皮层等,表明画圈系统和书写中文系统的特征差异导致了行为和大脑层面上不同的运动组织。在绘制无意义的符号实验中,男性在左后额叶中回表现出更大的大脑激活<sup>[9]</sup>,在此次任务中并未讨论性别差异,无明显激活。

受试者在进行抄写句子书写任务时,岛叶皮质、中央前回前端区、Broca's area、岛盖部等被激活。岛叶被认为是处理情绪相关的信号传导,可能与任务顺序和时长相关。Broca's area 是已被证实的语言运动的中枢,可能由于整个过程更加涉及正字法(文字符号使用规则)的使用使得句子与中文比较更显著激活<sup>[10]</sup>。

受试者在进行创造句子书写任务时,中央前回前端区、岛盖部、上外额叶皮层等被激活。前额叶和顶叶是大脑皮层的主要激活脑区,空间记忆的基本特征是顶叶和前额叶外侧的协同作用<sup>[11]</sup>。近年来也有许多研究提示皮质下基底神经节与学习、记忆、口语、阅读等高级神经功能有关<sup>[13][14]</sup>,参与“创造性写作”的言语创造力大脑激活区域表现为一个左额颞网络<sup>[15-18]</sup>,在本研究中并未显著观察,可能与实验的差异性有关。

总之,在不同任务中,额叶、颞叶、顶叶和枕叶脑区激活情况是存在差异的,书写中文更重视提取记忆,中文语音、语义的判断,但运动相关的脑区激活在本实验中未被显著观察到。书写英文时,动作和情绪相关脑区被显著观察到。VMI 图形更加重视认知阶段的,完成运动水平,画圈时更注重运动参与的激活。抄写句子更多情绪皮质的激活,创造句子则需要认知、运动皮质的相应激活。

### 4 展望与不足

综上所述,我们利用近红外光谱成像技术(FNIRS)<sup>[19]</sup>研究各类型式书写动作的脑区协同工作,发现不同形式书写激活的脑区存在异同。然而,由于设备、场所限制,时间仓促,受试者数量过少,可能影响结果的可靠性。实验设计也存在不足,如控制变量不严谨、时间设计需调整等。由于缺乏系统研究,对书写困难人群的认识停留在现象层面。未来研究应更注重实验设计的严谨性和方法论完备性。因此,我们谨慎解释发现,并强调限制对结果的影响。期待未来增加样本规模,揭示书写形式与神经网络激活的差异,为书写困难人群提供指导。

## 【参考文献】

- [1] 梁毅博.基于近红外光学成像技术的汉字书写功能激活模式研究[D].天津医科大学,2018.
- [2] Soltysik DA,Hyde JS High spatial resolution increases the specificity of block-design BOLD fMRI studies of overt vowel production[J].Neuroimage 2008,41(2):389-397.
- [3] 徐德宽, 裴晓真.从语言信息理论看汉字与英文的编码方式[J], 山东省青年管理干部学院学报, 2002 (95) : 102—103.
- [4] Jincho N,Lachmann T,van Leeuwen C.Dissociating congruence effects in letters versus shapes:Kanji and kana[J].Acta Psychol 2008,129(1):138-146.
- [5] Eden, G.F. and T.A. Zeffiro, Neural systems affected in developmental dyslexia revealed by functional neuroimaging. Neuron, 1998. 21(2): p. 279-82.
- [6] Exner, S. (1881). Untersuchungen über die Localisation der Functionen in der Grosshirnrinde des Menschen. Braumüll
- [7] Zhang Z, Yuan Q, Liu Z, Zhang M, Wu J, Lu C, Ding G, Guo T. The cortical organization of writing sequence: evidence from observing Chinese characters in motion. Brain Struct Funct. 2021 Jun;226(5):1627-1639. doi: 10.1007/s00429-021-02276-x. Epub 2021 Apr 18. PMID: 33866405.
- [8] Purcell, J. J., Turkeltaub, P. E., Eden, G. F., & Rapp, B. (2011a). Examining the central and peripheral processes of written word production through meta-analysis. Frontiers in Psychology, 2, 239.
- [9] Yang Y, Tam F, Graham SJ, Sun G, Li J, Gu C, Tao R, Wang N, Bi HY, Zuo Z. Men and women differ in the neural basis of handwriting. Hum Brain Mapp. 2020 Jul
- [10] 李辉,王晶颖.汉字加工神经机制的特异性与一般性问题[J].当代语言学,2016,18(04):568-580
- [11] .Diwadkar VA,Carpenter PA,Just MA.Collaborative activity between parietal and dorso-lateral prefrontal cortex in dynamic spatial working memory revealed by fMRI Neuroimage 2000;12:85-99
- [12] 刘晓加,金梅,吴湖炳,等.基底神经节的书写功能[J].中国行为医学科学,2006,(04):294-296.
- [13] Youg KA,Mana KF,Liang CL.etal Reduced number of mediodorsal and anterior thalamus neurons in schizophrenia[J].Biol Psychiatry,2000,47:944-953.
- [14] Skeel RL,Crosson B,Nadeau SE,etal Vasal ganglia dysfunction,working memory,and sentence comprehension in patients with Parkinson's
- [15] Katanoda K,Yoshikawa K,Sugisguta M.A functional MRI study on the neural substrates for writing.Humen-Brain-Mapping 2001;13;34~ 42
- [16] Menon V, Desmond JE。Tex superior cortex involvement in writing:integrating fMRI with lesion evidence.Cognitive Brain Research 2001;12:337~340
- [17] Matsuo K,Nakai T,Kato C,et al.Dissociation of writing process:functional magnetic resonance imaging during writing of Japanese ideographic characters.Brain Reserch cognitive Reserch 2000;9;281~286
- [18] Matsuo K,Kato C,Tanaka S,et al/Visual language and hand-writing movement:Functional magnetic resonance imaging at 3 T during generation of ideigraphic characters.Brain research bulletin 2001;4;549~554
- [19] 吴毅.近红外光学技术在脑功能成像和神经调控中的应用[J].中国康复医学杂志,2024,39(02):153-156.