

# Processing of Prefrontal Cortex (PFC) to Different Emotion-Induced Materials: Progress of Research on fNIRS

Song Zhou\*, Haibo Yang, Ying Liu, Fang Li, Zhixin Wei, Xuejun Bai#

Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin  
Email: [bxuejun@126.com](mailto:bxuejun@126.com)

Received: Sep. 12<sup>th</sup>, 2014; revised: Sep. 23<sup>rd</sup>, 2014; accepted: Oct. 20<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

As a new technology of functional brain imaging, Functional Near-Infrared Spectroscopy Technology (fNIRS) has been developing for years. In the past twenty years, many researchers have been studying emotion with fNIRS. This paper firstly introduced its feasibility and availability of investigating emotion processing in the prefrontal area, then summarized the progress in the field of emotion processing in the prefrontal area with fNIRS in the perspective of emotion-induced materials, including visual, auditory, tactile, multi-channel and context-induced materials etc. Finally, based on previous studies, a few problems and suggestions for the development of emotion processing with fNIRS were proposed.

## Keywords

Functional Near-Infrared Spectroscopy Technology (fNIRS), Emotion Processing, Prefrontal Cortex (PFC), Brain Mechanism

# 大脑前额叶对不同诱发情绪材料的加工： fNIRS研究的进展

周 菘\*, 杨海波, 刘 颖, 李 芳, 魏芷鑫, 白学军#

天津师范大学心理与行为研究院, 天津

\*第一作者。

#通讯作者。

Email: #[bxuejun@126.com](mailto:bxuejun@126.com)

收稿日期：2014年9月12日；修回日期：2014年9月23日；录用日期：2014年10月20日

## 摘要

近红外脑功能成像技术(fNIRS)是近年来兴起的一种用于研究脑机制的新手段。在过去的二十多年中,许多研究者使用fNIRS开展了对情绪情感的研究。本文首先简要介绍利用fNIRS技术研究大脑前额叶在情绪加工方面的可行性,然后从不同诱发情绪材料的角度总结了大脑前额叶对情绪加工的fNIRS研究进展,其中包括视觉、听觉、触觉、多通道诱发材料和情境诱发等内容,最后基于已有成果与研究现状,对fNIRS在前额情绪加工方面所面临的问题进行了总结,并对未来提出了展望。

## 关键词

近红外脑功能成像技术(fNIRS), 情绪加工, 前额叶, 脑机制

## 1. 引言

近红外脑功能成像技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)是一种脑机制研究工具。fNIRS通过测量氧合血红蛋白浓度(HbO)、脱氧血红蛋白浓度(HbR)、总含氧量(HbT)等指标来衡量脑区的激活。在过去的二十多年中,许多研究者使用fNIRS开展了对情绪情感的研究(Herrmann, Ehlis, & Fallgatter, 2003; Matsubara et al., 2014)。因fNIRS探测大脑皮层的深度有限(Ferrari & Quaresima, 2012; Quaresima, Bisconti, & Ferrari, 2012; Scholkmann et al., 2014),所以研究者多关注前额叶皮层在情绪加工中的作用(Doi, Nishitani, & Shinohara, 2013)。

前额叶皮质是情绪诱导和调节的关键区域。前额叶皮质在情绪加工中的作用有三种观点(Dalgleish, 2004):第一,前额叶的眶额区与奖励处理和强化学习有关。具体来说,该区域的神经细胞可检测到刺激的变化或逆转刺激的奖励价值,并相应地做出调整,改变反应。前额叶皮质似乎在关联外源性刺激与奖励强化物方面有重要作用。第二,腹内侧前额叶可作为内脏反应和高级认知功能之间的交流平台,即“体细胞标志物假说”,体细胞标志物是对刺激的外周反应,在腹内侧前额叶,它被作为引导高级认知系统的一部分来加工。第三,前额叶皮层的“效价不对称假说”,即一个生物体的动机倾向可以通过趋近-回避维度来定义。当趋近动机被激活时,生物体有强烈的动机来追求奖励目标。相反,回避动机激活强调避免有害的情况,而不是获得奖励。效价不对称假说的核心命题是,右侧前额叶激活回避动机,左侧前额叶激活趋近动机,从而产生适应性行为。

在具体研究中,情绪诱发的方法有两类:1)材料诱发,即给被试呈现的带有情绪色彩的材料诱发被试情绪的方法。根据呈现感觉通道的不同,诱发材料分为视觉、听觉、触觉、嗅觉和多通道刺激材料;2)情境诱发,即通过对情境的操控来诱发改变被试的情绪体验。情境通常包括游戏/任务、表情/姿势、回忆/想象情境等(蒋军,陈雪飞,陈安涛,2011;郑璞,刘聪慧,俞国良,2012)。

## 2. 大脑前额叶加工不同诱发情绪材料的fNIRS研究

### 2.1. 视觉材料

#### 2.1.1. 文字材料

Matsubara等人(2014)采用情绪斯特鲁普任务(Stroop Task),给双相情感障碍患者、重度抑郁症患者与

健康被试分别呈现快乐、悲伤和威胁的情绪词汇。结果发现：呈现威胁词汇时，相比于健康被试，双相情感障碍患者左脑额下回的 HbO 显著增加，重度抑郁症患者左额区 HbO 显著增加。在呈现快乐词汇时，与健康被试相比，双相情感障碍患者两半球额中回的 HbO 显著降低。与重度抑郁症患者相比，双相情感障碍患者的额上回和额中回 HbO 减少，HbR 增加了。

### 2.1.2. 图片材料

Kreplin 等人(2013)以正性与负性艺术绘画图片为材料，要求他们完成找差异任务(the spot-the-difference task)与情绪内省任务(the emotional introspection task)。记录被试的布罗德曼 10 区(内侧前额区)活动。结果发现：正情绪图片比负情绪图片更能引起布罗德曼 10 区的 HbO 升高，而两种任务条件下无显著差异。说明该区域可能与对愉悦感信息的判断有关，刺激的情绪效应与两任务无关。还有一项研究(Ikeuchi et al., 2014)以成年女性为被试，研究人员要求被试观看自己化妆的图片与自己不化妆的图片。结果发现：被试在观看自己化妆的图片时，相比自己不化妆的图片，额叶区域 HbO 有显著增加。

有人(Ernst et al., 2013)使用积极与消极图片，研究了趋近 - 回避任务时前额叶皮层的脑血流变化情况。趋近 - 回避任务采用控制杆趋近 - 回避任务版本，该任务要求被试坐在电脑屏幕前操控一个控制杆，来调节屏幕呈现图片的大小，当操作控制杆靠近被试自己的身体一侧时，图片会变大，表示趋近行为；当操作控制杆远离被试身体的方向时，图片会缩小，表示回避行为。如果趋近积极图片，回避消极图片为相容且自动反应，趋近消极图片、回避积极图片为不相容且受意识调节的行为，研究结果发现：不相容的，受调节的反应相比于兼容的，自动的反应，更能引起右脑背外侧前额叶皮层的激活(HbR 显著降低)。这也得到了 fNIRS 相关研究结论的支持(Koseki et al., 2013; Liu et al., 2014)，而相比于回避图片，趋近图片引发了左脑外侧眶额区更强的激活(HbO 的显著增加)，这个区域通常被看作是奖励系统的一部分，所以出现偏左侧半球的加工(Bunce et al., 2013)。

Oonishi 等人(2014)将被试区分为主观幸福感高与主观幸福感低的人，监测他们观看积极与消极类型图片时的前额叶反应情况，测量指标为 HbO，结果发现：主观幸福感高的人在观看宜人的图片时，其左侧前额区活动增多，在观看令人厌烦的图片的时，其右侧前额区活动增多，而主观幸福感低的人却没有发现该趋势，说明左侧前额叶与积极情绪加工有关，右侧前额叶与消极情绪加工有关，主观幸福感水平影响前额的情绪加工状况。

Ozawa 等人(2014)以 n-back 任务，探讨了在工作记忆任务前所诱发的情绪工作记忆容量的作用。被试在完成 1-back 或 3-back 任务之前，连续呈现两张消极图片或两张中性图片。结果发现：在 n-back 任务中，图片的情绪效价影响了内侧前额叶皮质以及左侧额下回的 HbO 的变化，消极刺激比中性刺激引起的 HbO 的变化更大。

### 2.1.3. 视频材料

Minagawa-Kawai 等人(2009)用 fNIRS 探测了母亲及其婴儿在被动观看自己或别人母子笑脸视频时的脑部血氧活动情况。结果发现，与其他人的笑脸相比，母亲看到自己婴儿笑脸时，其眶额区的 HbO 显著升高，而婴儿也表现出同样的活动模式。

有趣的是祖母与孙子的相关研究(Kida et al., 2014)也存在一致的结论，研究组探测了祖母在被动观看自己或别人的孙儿带有积极情绪和中性情绪视频时的脑部血氧活动情况，检测指标为氧合血红蛋白，位置在前额皮层前部(the anterior prefrontal cortex, APFC)。结果发现观看自己孙儿的视频时，无论情绪为积极还是中性，都激活了 APFC 区的中部和下部，而带有积极情绪的视频还激活了 APFC 区的上部，这些激活的区域与奖励、认知和注意控制有关，该研究发现了与祖母之爱有关的神经机制。

有人(Leon-Carrion et al., 2006)研究男性与女性被试在观看不同类型情绪视频材料时的前额叶皮层的

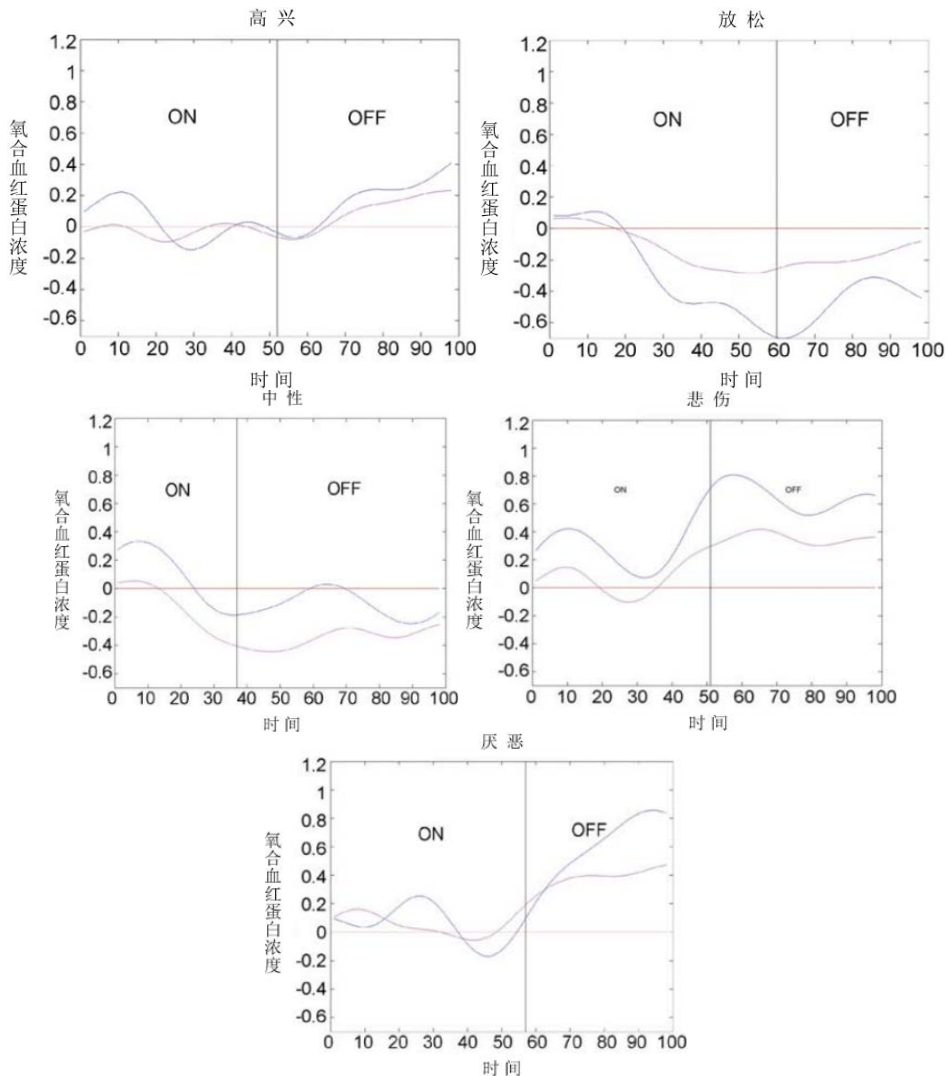
激活差异。视频材料根据效价与唤醒度不同，分为高兴、放松、中性、厌恶、悲伤五种类型，指标为 HbO。刺激呈现结果如图 1(Leon-Carrion et al., 2006)所示，发现在时程的特征上与激活强度上各种刺激类型都存在着性别差异。

## 2.2. 听觉材料

### 2.2.1. 声音

Asano 等人(2013)使用不同舒适程度的声音作为刺激材料，测量 5 名年轻被试前额叶的 HbO 的变化情况。结果发现两种声音刺激存在不同的大脑激活模式。研究人员对结果进行了处理，使用贝叶斯网络进行了模型建构，并进行了不同类型声音(舒适、中性、不舒适)的识别测试，最终成功识别率达到 67%。

Nagai 等人(2014)研究了电子书阅读器中声音效果的情感应用。实验中采用的电子书文本是两种被认



横坐标表示时间，纵坐标表示氧合血红蛋白浓度，on 代表刺激呈现时的变化情况，off 表示刺激后休息时的变化情况。图中两条曲线表示男女性被试在观看不同类型情绪视频片段材料时的氧合血红蛋白浓度的变化情况，其中除了厌恶刺激外，其他四种类型的氧合血红蛋白浓度在时间轴 0 点位置处于领先的曲线为男性被试曲线。

**Figure 1.** The difference of the activation of the PFC between men and women when watching different kinds of video clips about emotion

**图 1.** 男女性被试在观看不同类型情绪视频片段材料时的前额叶皮层的激活差异

为带有积极内容和消极内容的文字，而与文字内容相配的音效分为情感匹配音效和不匹配音效两种，结果发现当声音效果和阅读内容匹配时，读者大脑血液中的 HbO 增加。这表明提供与内容相匹配的声音效果的电子书可能会使得读者的情绪体验更加强烈。

### 2.2.2. 音乐刺激

Moghimi 等人(2012)研究了不同情绪类型音乐的额叶活动表征。从而达到区分不同情绪的目的。测量指标使用的是 HbO 与 HbR。有 10 名被试参与了实验，刺激为 78 段不同效价和唤醒度的音乐片段，以布朗噪声刺激作为控制条件，结果发现通过算法把积极效价与消极效价区分开的准确率能达到 72% 左右，中性与高唤醒试次的区分准确率也达到 72% 左右。

有人(Moghimi, Chau, & Geurguerian, 2013)与神经反馈仪反馈的自主神经反应指标结合做 fNIRS 情绪识别的研究，自主神经系统反应指标选用心率、皮温和皮电，fNIRS 记录中枢神经系统的脑血氧变化，实验中，两仪器同时触发并记录被试反应，实验材料为 144 个试次的噪声与音乐片段，测量指标使用的同样是 HbO 与 HbR。实验后使用算法对两仪器数据结合分析，结果发现：唤醒度识别准确率为 68.3%，效价识别准确率为 58.5%，与前文(Moghimi et al., 2012)相比自主和中枢神经系统结合分析导致区分精度降低了，区分精度还有待进一步完善。

### 2.3. 触觉材料

触觉也能给人带来情绪体验(Fisher, Rytting, & Heslin, 1976)。有研究(Kida & Shinohara, 2013a)探测使用三种材料(木头，丝绒织物，画笔)轻扫被试的手掌或前臂时的前额叶皮层激活状况。结果发现：相比于中性触摸，丝绒织物的轻扫使的前额前端 HbO 增加了，而且天鹅绒比木材带来的主观愉悦度更高。

该作者(Kida & Shinohara, 2013b)还做了触觉体验的发展性研究，研究人员把被试分为 3 月大、6 月大和 10 月大婴儿组，刺激材料分为两种，一种为圆柱行木棒，一种为棉花包裹的木棒，使用两种材料分别触碰婴儿的左手掌，结果发现 10 月大的婴儿双侧前额前端的 HbO 在棉棒条件下会有显著增加，3 月和 6 月组均未发现，这说明在前额区触觉情感系统的发展中，6 月到 10 月是一个重要的发展期。

Morinaga 等人(2007)使用电击作为实验刺激，探讨了被试在面临预期焦虑时前额中部(medial prefrontal cortex, MPFC)右侧皮层的 HbO 变化情况。56 名被试参与了实验，被试需要把电圈套在自己的右手腕上，实验分三个阶段，第一阶段为静息监测，要求被试放松心态，第二阶段为测试被试能承受的最大电压，第三阶段为期待点击阶段，被试被告知在实验的某个时间点上会给予能承受的最大电压刺激，同时实验前后被试需要填写气质性格问卷(Temperature Character Inventory, TCI)和特质焦虑问卷(State-Trait Anxiety Inventory, STAI)，结果发现：在对电击的期待中，MPFC 区右侧增加的 HbO 显著多于左侧，而且 MPFC 区的 HbO 增长水平与 TCI 中避害倾向量表的强度显著呈正相关。结果说明 MPFC 区右侧 HbO 与焦虑、负性情感有关。

### 2.4. 多通道材料

多通道刺激材料诱发是指包括视觉、听觉、嗅觉、触觉等多个通道在内的多种通道刺激材料组合诱发情绪的方法。

Heger 等人(2014)通过视听两通道刺激材料使用脑机接口(brain-computer interface, BCI)技术研究连续情感状态的识别技术。通常的 fNIRS 情感识别研究只分析了固定时间下的情绪状态，而脑机接口技术可以帮助我们研究持续时间内的的情感状态。研究记录了八名被试在前额位置的 fNIRS 信号，指标为 HbO 和 HbR，被试需要对包括中性刺激在内的四类唤醒度与效价不同的情绪视听刺激做出反应。刺激材料由国际情绪图片系统(International Affective Picture System, IAPS)与国际情感数码声音系统(International Affec-

tive Digital Sounds, IADS)中选出。实验中以 5s 作为识别情绪状态的时间窗口长度, 研究发现识别率可在大多数时程中保持稳定, 并可以通过算法将中性刺激同情绪诱发刺激区分开, 也可以区分开具有不同情绪类型的刺激。

Rutkowski 等人(2011)使用 EEG 与 fNIRS 同时记录被试在观看演讲视频时的脑活动情况, 4 名被试参与了实验, 视频中演讲者表现出不同的情绪状态, 分别为高兴、思考、生气状态, 测量指标为 HbO, 结果发现两者同时记录具有可行性并在此基础上提出了一种新的基于情感反应的脑机接口新范式。

## 2.5. 情境诱发

fNIRS 研究的情境诱发方法主要有电脑游戏诱发与相关任务诱发。

Perlman 等人(2014)使用电脑游戏诱发儿童的挫折体验, 实验关注于儿童早期挫折经验的前额叶调节机制, 22 名 3~5 岁的小朋友参与了研究, 实验要求被试玩一个特殊设计的电脑游戏, 目的是为了诱导出被试的积极情绪与受挫情绪, 被试的父母需要填写儿童行为问卷(Child Behavior Questionnaire, CBQ), fNIRS 的记录指标为 HbO 和 HbR。研究结果发现: 在被试被诱导出积极情绪时, 前额叶中部的活动增加; 而在受挫折情况下, 外侧前额叶皮层的活动增加, 而且在挫折情况下, 外侧前额叶皮层的活动增加与父母报告的挫折耐受力呈正相关。结果说明外侧前额区可能参与了受挫情绪的调节。

Tanida 等人(2004)通过心算任务诱发压力情境, 以该情境下自主神经系统指标(心率)与前额叶 HbO 变化的偏侧化之间的关系。16 名女性被试参与了实验, 被试需要尽可能快地心算出一些减法算式, 通过心算任务心率的的不同, 将被试分成高心率组(8 个)与低心率组(8 个)两组, 高心率组的偏侧化指数为正值, 低心率组的偏侧化指数为负值, 偏侧化指数为(右脑 - 左脑)/(右脑 + 左脑), 单位为 HbO, 结果说明在高心率组中, 心算诱发的右侧前额叶 HbO 大于左侧, 右侧前额叶对于高心率组的脑活动调节扮演着更重要的作用。

此后该作者(Tanida, Katsuyama, & Sakatani, 2007)还使用心算任务分析了面部皮肤中的皮脂水平和痤疮丙酸杆菌含量与前额 HbO 偏侧化之间的关系, 结果发现: 在心算任务中, 被试额叶右侧 HbO 显著多于左侧, 而且面部皮肤中皮脂水平和痤疮丙酸杆菌含量高的人群右侧 HbO 相对活动量比正常人群大。

## 3. 问题与展望

### 3.1. 问题

采用 fNIRS 研究情绪加工时还有需要进一步解决的问题。有研究者(Doi et al., 2013)提出用 fNIRS 研究前额皮层情绪加工存在的问题有: 1) 分析 fNIRS 光谱信号的标准化方法还有待确立, 分析方法的差异就可能造成结果的不同; 2) 情绪刺激的外周反应噪声很大, 这些噪声会干扰真正信号的采集; 3) 情绪刺激引起的主观体验和响应的神经活动可能存在延迟, 这样常规的数据处理方式可能会有消除重要结果的风险; 4) 大脑皮层激活分析的指标不同, 可能会造成定位结果的不同, 从而产生结论的不一致性。

### 3.2. 展望

第一, fNIRS 是一种非常有前景的技术。我们通过 google 检索, 关键词为 NIRS 或 fNIRS 分别与 emotion、prefrontal 配合, 检索到的有关前额叶情绪加工的文献数量结果见图 2。

从图 2 中可以看出, 近年来研究者采用 fNIRS 取得的成果逐年增加。

第二, 开展情绪加工的发展性的研究。与 fMRI 等相比, fNIRS 具有相对友好的特点(Boyer et al., 2012; Lee, Kim, Kim, Kim, & Sung, 2011), 从而便于开展情绪加工的发展性研究。可以从以下两个方面研究:

1) 目前关于情绪加工发展的脑机制研究较少, 可以对婴儿群体开展研究, 以揭示人类早期情绪加工的发

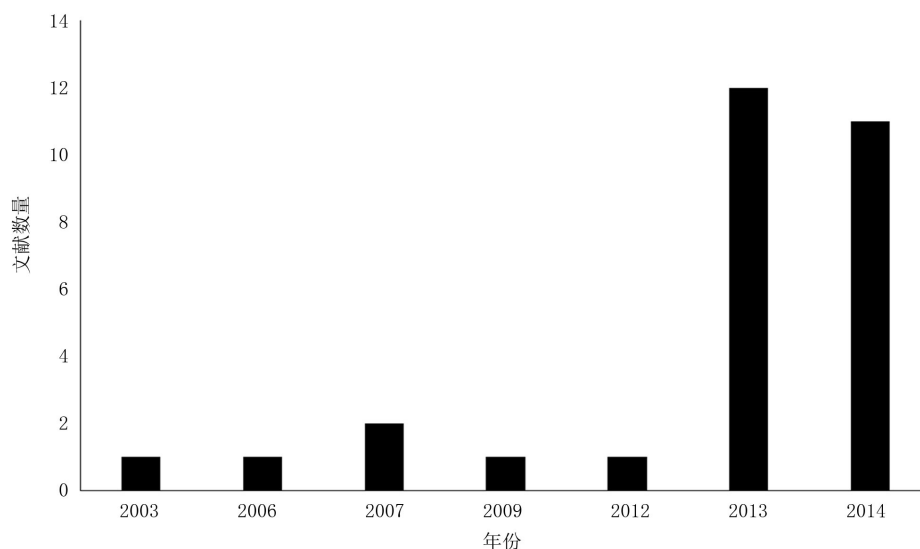


Figure 2. The quantity of published papers of fNIRS study on emotion processing in PFC

图 2. 前额皮层的情绪加工方面的 fNIRS 研究论文发表数量(截至 2014 年 7 月)

展特点(Kida & Shinohara, 2013b)。2) 利用 fNIRS 生态学效度高的特点(Cui, Bryant, & Reiss, 2012; Derosiè, Mandrick, Dray, Ward, & Perrey, 2013), 开展对重度抑郁症、焦虑症和强迫症患者的情绪发展特征与前额认知功能之间关系的研究(Liu et al., 2014), 揭示其症状的脑机制特征。

第三, 建立权威的情绪加工脑机制数据库。利用 fNIRS 的可移动性与成本相对低廉的优势(Irani, Platek, Bunce, Ruocco, & Chute, 2007; Kashou, Xu, Roberts, & Leguire, 2007), 多个实验室联合工作, 建立不同年龄人群在加工不同类型情绪时脑活动的神经影像学数据库。

## 致 谢

特此鸣谢《心理学进展》编辑部给予的支持与鼓励。

## 基金项目

本论文得到天津市高等学校心理健康与行为调控创新团队(39)、天津市科技计划项目“天津市民心理健康素质监测系统开发”(12 ZCZDSF07100)和国家自然科学基金项目(81471629)的资助。

## 参考文献 (References)

- 蒋军, 陈雪飞, 陈安涛(2011). 情绪诱发方法及其新进展. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 1 期, 209-214.
- 郑璞, 刘聪慧, 俞国良(2012). 情绪诱发方法述评. *心理科学进展*, 1 期, 45-55.
- Asano, H., Sagami, T., & Ide, H. (2013). The evaluation of the emotion by near-infrared spectroscopy. *Artificial Life and Robotics*, 17, 452-456.
- Boyer, C., Gaudin, K., Kauss, T., Gaubert, A., Boudis, A., Verschelden, J., & Olliaro, P. (2012). Development of NIRS method for quality control of drug combination artesunate-azithromycin for the treatment of severe malaria. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 67, 10-15.
- Bunce, S. C., Harris, J., Izzetoglu, K., Ayaz, H., Izzetoglu, M., Pourrezaei, K., & Onaral, B. (2013). Functional near-infrared spectroscopy in addiction treatment: Preliminary evidence as a biomarker of treatment response. In: *Foundations of augmented cognition* (pp. 250-258). Berlin: Springer.
- Cui, X., Bryant, D. M., & Reiss, A. L. (2012). NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *Neuroimage*, 59, 2430-2437.
- Dalgleish, T. (2004). The emotional brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 583-589.

- Derosière, G., Mandrick, K., Dray, G., Ward, T. E., & Perrey, S. (2013). NIRS-measured prefrontal cortex activity in neuroergonomics: Strengths and weaknesses. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
- Doi, H., Nishitani, S., & Shinohara, K. (2013). NIRS as a tool for assaying emotional function in the prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
- Ernst, L. H., Plichta, M. M., Lutz, E., Zesewitz, A. K., Tupak, S. V., Dresler, T., & Fallgatter, A. J. (2013). Prefrontal activation patterns of automatic and regulated approach-avoidance reactions—A functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Cortex*, 49, 131-142.
- Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage*, 63, 921-935.
- Fisher, J. D., Rytting, M., & Heslin, R. (1976). Hands touching hands: Affective and evaluative effects of an interpersonal touch. *Sociometry*, 39, 416-421.
- Heger, D., Herff, C., Putze, F., Mutter, R., & Schultz, T. (2014). Continuous affective states recognition using functional near infrared spectroscopy. *Brain-Computer Interfaces*, 1, 113-125.
- Herrmann, M., Ehlis, A. C., & Fallgatter, A. (2003). Prefrontal activation through task requirements of emotional induction measured with NIRS. *Biological Psychology*, 64, 255-263.
- Ikeuchi, M., Saruwatari, K., Takada, Y., Shimoda, M., Nakashima, A., Inoue, M., et al. (2014). Evaluating “cosmetic therapy” by using near-infrared spectroscopy. *World Journal of Neuroscience*, 4, 194-201.
- Irani, F., Platek, S. M., Bunce, S., Ruocco, A. C., & Chute, D. (2007). Functional near infrared spectroscopy (fNIRS): An emerging neuroimaging technology with important applications for the study of brain disorders. *The Clinical Neuropsychologist*, 21, 9-37.
- Kashou, N. H., Xu, R., Roberts, C. J., & Leguire, L. E. (2007). Using FMRI and FNIRS for localization and monitoring of visual cortex activities. *29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS 2007*.
- Kida, T., Nishitani, S., Tanaka, M., Takamura, T., Sugawara, M., & Shinohara, K. (2014). I love my grandkid! An NIRS study of grandmaternal love in Japan. *Brain Research*, 1542, 131-137.
- Kida, T., & Shinohara, K. (2013a). Gentle touch activates the anterior prefrontal cortex: An NIRS study. *Neuroscience Research*, 76, 76-82.
- Kida, T., & Shinohara, K. (2013b). Gentle touch activates the prefrontal cortex in infancy: An NIRS study. *Neuroscience Letters*, 541, 63-66.
- Koseki, S., Noda, T., Yokoyama, S., Kunisato, Y., Ito, D., Suyama, H., et al. (2013). The relationship between positive and negative automatic thought and activity in the prefrontal and temporal cortices: A multi-channel near-infrared spectroscopy (NIRS) study. *Journal of Affective Disorders*, 151, 352-359.
- Kreplin, U., & Fairclough, S. H. (2013). Activation of the rostromedial prefrontal cortex during the experience of positive emotion in the context of esthetic experience. An fNIRS study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 879.
- Lee, D. Y., Kim, S. H., Kim, Y. C., Kim, H. J., & Sung, S. H. (2011). Discrimination of scrophulariae radix according to geographical origin and determination of active constituents by near infrared spectroscopy (NIRS). *Microchemical Journal*, 99, 213-217.
- Leon-Carrion, J., Damas, J., Izzetoglu, K., Pourrezai, K., Martín-Rodríguez, J. F., & Dominguez-Morales, M. R. (2006). Differential time course and intensity of PFC activation for men and women in response to emotional stimuli: A functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Neuroscience Letters*, 403, 90-95.
- Liu, X., Sun, G., Zhang, X., Xu, B., Shen, C., Shi, L., et al. (2014). Relationship between the prefrontal function and the severity of the emotional symptoms during a verbal fluency task in patients with major depressive disorder: A multi-channel NIRS study. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 54, 114-121.
- Matsubara, T., Matsuo, K., Nakashima, M., Nakano, M., Harada, K., Watanuki, T., et al. (2014). Prefrontal activation in response to emotional words in patients with bipolar disorder and major depressive disorder. *Neuroimage*, 85, 489-497.
- Minagawa-Kawai, Y., Matsuoka, S., Dan, I., Naoi, N., Nakamura, K., & Kojima, S. (2009). Prefrontal activation associated with social attachment: Facial-emotion recognition in mothers and infants. *Cerebral Cortex*, 19, 284-292.
- Moghimi, S., Chau, T., & Geurguerian, A. M. (2013). Using prefrontal cortex near-infrared spectroscopy and autonomic nervous system activity for identifying music-induced emotions. *2013 6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*.
- Moghimi, S., Kushki, A., Power, S., Guerguerian, A. M., & Chau, T. (2012). Automatic detection of a prefrontal cortical response to emotionally rated music using multi-channel near-infrared spectroscopy. *Journal of Neural Engineering*, 9, 026022.
- Morinaga, K., Akiyoshi, J., Matsushita, H., Ichioka, S., Tanaka, Y., Tsuru, J., & Hanada, H. (2007). Anticipatory anxiety-in-



- duced changes in human lateral prefrontal cortex activity. *Biological Psychology*, 74, 34-38.
- Nagai, A., Cooper, E. W., & Kamei, K. (2014). Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) Analysis of emotion when reading e-books with sound effects. In *Industrial applications of affective engineering* (pp. 123-132). Berlin: Springer.
- Oonishi, S., Hori, S., Hoshi, Y., & Seiyama, A. (2014). Influence of subjective happiness on the prefrontal brain activity: An fNIRS study. In *Oxygen transport to tissue XXXVI* (pp. 287-293). Berlin: Springer.
- Ozawa, S., Matsuda, G., & Hiraki, K. (2014). Negative emotion modulates prefrontal cortex activity during a working memory task: A NIRS study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 46.
- Perlman, S. B., Luna, B., Hein, T. C., & Huppert, T. J. (2014). fNIRS evidence of prefrontal regulation of frustration in early childhood. *Neuroimage*, 85, 326-334.
- Quaresima, V., Bisconti, S., & Ferrari, M. (2012). A brief review on the use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for language imaging studies in human newborns and adults. *Brain and Language*, 121, 79-89.
- Rutkowski, T. M., Zhao, Q., Cichocki, A., Tanaka, T., & Mandic, D. P. (2011). Towards Affective BCI/BMI Paradigms—Analysis of fEEG and fNIRS Brain Responses to Emotional Speech and Facial Videos. In *Advances in cognitive neuro-dynamics (II)* (pp. 671-675). Berlin: Springer.
- Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A. J., Zimmermann, R., Pavia, J. M., Wolf, U., & Wolf, M. (2014). A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *Neuroimage*, 85, 6-27.
- Tanida, M., Katsuyama, M., & Sakatani, K. (2007). Relation between mental stress-induced prefrontal cortex activity and skin conditions: A near-infrared spectroscopy study. *Brain Research*, 1184, 210-216.
- Tanida, M., Sakatani, K., Takano, R., & Tagai, K. (2004). Relation between asymmetry of prefrontal cortex activities and the autonomic nervous system during a mental arithmetic task: Near infrared spectroscopy study. *Neuroscience Letters*, 369, 69-74.