

早期高级认知发展与前额叶功能发育的 fNIRS 研究*

邹雨晨¹ 李燕芳^{1,2} 丁颖^{1,2}

(1. 北京师范大学脑与认知科学研究院, 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875; 2. 中国基础教育质量监测协同创新中心, 北京 100875)

摘要: 儿童早期阶段是各项认知能力和脑发育的关键阶段。近红外光谱成像技术(fNIRS)凭借其非侵害性、便捷操作以及对头动容忍度高等特点,在早期阶段儿童认知发展与脑发育的研究中得到越来越多的应用。从早期高级认知发展与前额叶功能的单侧优势变化、对应前额叶脑区逐渐专门化、发展关键期与前额叶功能的可塑性,以及前额叶功能异常与早期发展障碍的关系等四个方面对基于fNIRS技术开展的早期认知发展与脑发育的研究进展进行了梳理和分析。指出未来研究应探究儿童早期认知能力发展和脑发育的轨迹及关键期,探讨有发展性障碍家族风险儿童的早期大脑发育特点,为早期教育和发展障碍的早期预警提供依据。

关键词: 早期;高级认知发展;前额叶功能发育;近红外光谱成像技术

分类号: B844

近年来,随着发展认知神经科学的兴起,越来越多的研究开始关注个体认知能力发展与大脑发育之间的关系。近二十年来,研究者采用各种大脑探测技术,对8-14岁年龄阶段儿童认知发展与脑发育的关系进行了研究(Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002; Karama et al., 2009)。然而,研究者对于早期儿童的关注却依然较少。儿童早期阶段(early childhood)通常指从生命之初到8岁的阶段(Shonkoff & Phillips, 2000),这一阶段是个体毕生发展的奠基阶段,其可塑性强,具有不可逆性,不仅是各项认知能力发展的关键期(陈帼眉,姜勇,2007),也出现了大脑发育的第一个高峰期(刘世熠,邬勤娥,孙文龙,1962),这一时期个体认知发展和脑发育的成熟水平为之后的发展起到了奠基作用。

高级认知能力是个体较为复杂和高级的认知能力,主要包括注意、记忆、语言、执行功能等。已有研究发现,这些高级认知能力的发展与前额叶皮层(Prefrontal Cortex, PFC)的发育密切相关(邓园,丁国盛,彭聘龄,2003;韩济生,2009)。前额叶区域占到个体大脑皮层的1/3,是发育进程最长、成熟时间最晚的一个大脑区域,主要负责对各项认知活动进行控制和调节(邓园等,2003;王益文,林崇德,陆祖

宏,2006)。已有的行为研究和神经科学研究均表示,在儿童早期阶段,前额叶以及与其相关的高级认知能力发展迅速(Moriguchi & Hiraki, 2011)。因此,探索早期儿童认知能力发展与前额叶发育之间的关系成为发展认知神经科学中的重要研究方向(周昊天,傅小兰,2005)。

近些年来,近红外光谱成像技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)的兴起,为研究儿童早期认知发展与前额叶的关系提供了适宜的技术支持。本文首先介绍fNIRS技术的特点和优势,进而对基于fNIRS的儿童早期认知发展与前额叶发育的研究进行述评,最后对未来的研究方向提出建议。

1 fNIRS 技术的特点和优势

九十年代以来,近红外光谱成像技术逐渐被引入神经影像研究领域,几十年来不断发展改进使得其应用越来越广泛。fNIRS的原理是基于近红外线的不同波长用于表示含氧血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度变化,得到大脑区域神经皮层的反应情况,从而对个体的认知活动进行探究。当神经皮层发生反应时,血红蛋白的表现:总的血红蛋白和含氧血红蛋白的浓度增加,脱氧血红蛋白的浓度降低(Farrari & Quaresima, 2012; Minagawa - Kawai, Mori, Heb-

* 基金项目:国家社科基金一般项目(15BRK011)、教育部人文社会科学研究规划基金项目(14YJA190006)、北京市社会科学基金青年项目(14JYC029)。

通讯作者:李燕芳, E-mail: liyanfang@bnu.edu.cn

den, & Dupoux, 2008)。作为新兴的神经影像学技术,对比其它传统神经学研究手段,fNIRS 技术有自己独特的优势。

首先,由于幼小儿童身心发育尚不成熟,自我控制能力差,对头动有较高要求的事件相关电位脑成像(event-related electric potentials, ERP),功能磁共振成像(functional, magnetic resonance imaging, fMRI)等技术难以实施。而近红外光谱成像技术具有较高的非侵害性,并且对实验中被试的头动容忍度较高。这使得其可以用于个体的任何年龄、任何状态(Nagamitsu, Yamashita, Tanaka, & Matsuishi, 2012),特别适用于研究幼小儿童,老年人,甚至是发展障碍儿童等特殊群体。出生后的几年是个体发展最关键的阶段,也是各种认知能力发展最敏感的阶段,对这一阶段儿童的研究能够帮助我们认识个体生命之初的认知发展与脑发育的关系,拓展和延伸了发展认知神经科学研究的年龄范围。

其次,近红外光谱成像技术具有较高的时间分辨率和空间分辨率。时间分辨率和空间分辨率在现有的脑成像技术中几乎都存在矛盾。而 fNIRS 的空间分辨率比 ERP 高,时间分辨率比 fMRI 高,可以满足研究者在同一实验中同时获得大脑活动的时间进程和空间定位两方面的基本信息(刘宝根,周兢,李菲菲,2011;Gervain et al., 2011)。并且,fNIRS 技术在空间定位上主要涉及前额叶及其周围一些区域,因此,在探测前额叶相关的认知能力的神经机制上有极大优势。

最后,fNIRS 技术与 ERP 和 fMRI 技术等研究手段相比,还具有较低成本、良好的便携性,并且可以长时间重复测量等优势。较低成本、良好的便携性使它适用于各种实验条件,特别是自然情境下的认知神经研究。长时间重复测量的优势使其广泛用于纵向追踪研究中。

目前,已有研究者运用 fNIRS 技术对早期阶段儿童认知发展与前额叶功能发育的关系进行了考察。比如,一些研究者对学前儿童的语言、记忆、面孔识别、执行功能等高级认知能力相关的前额叶活动特点进行了研究(Hidaka et al., 2012; Tsujimoto, Yamamoto, Kawaguchi, Koizumi, & Sawaguchi, 2004; Ding, Fu, & Lee, 2013; Moriguchi & Hiraki, 2011; Moriguchi & Hiraki, 2013)。另外,也有研究者对注意缺陷多动障碍(attention deficit hyperactivity disorder, ADHD)、孤独症(autism spectrum disorders, ASD)、发展性阅读障碍(developmental dyslexi-

a)以及发展性计算障碍(developmental dyscalculia)等认知与行为紊乱与前额叶功能的异常进行了探索(吴汉荣,姚彬,2004;Negoro et al., 2010; Kita et al., 2011; Zhu, Fan, Guo, Huang, & He, 2013)。总结来看,研究者围绕早期认知发展与脑发育这一主题,从以下四个角度进行了展开了具体的研究,并取得了许多有价值的发现。

2 早期认知发展与前额叶功能的单侧优势变化

大脑的两个半球对于个体来说具有相同程度的重要性,它们有分工,但分工并不绝对,有时也会相互补偿,只有当它们都正常“工作”时,个体才能正确地感知这个世界和自己的思想。已有研究者对成人左、右半球的功能优势进行了研究,结果表明左半球以语言加工为主,右半球则以形式加工为主(许杰,周仁来,2001)。由于左半球与语言有关,因此,对于大多数成人来说,左半球是个体的优势半球(李寿欣,1991)。

fNIRS 的出现使得研究者开始对个体生命早期的前额叶功能单侧优势问题进行研究。比如,借助 fNIRS 技术,研究者考察了成人和 5~6 岁儿童在完成相同的工作记忆任务时双侧前额叶皮质(LPEC)的活动状况(Tsujimoto, Yamamoto, Kawaguchi, Koizumi, & Sawaguchi, 2004)。结果发现,成人在工作记忆过程中表现出左侧前额叶主导,而儿童的记忆过程则是右侧前额叶主导。另外,研究者运用 fNIRS 技术,对 4~6 岁儿童抑制控制能力的神经机制进行研究时也发现,儿童右侧前额叶在完成抑制控制任务中起主导作用(Mehnert et al., 2013)。此外,有关儿童早期语言认知的研究中也发现了右半球优势的现象。比如,研究者对 484 名 6~10 岁儿童完成单词重复任务(word repetition task)时的脑激活特点进行研究,发现额下回区域表现出明显的右半球优势,并且词汇的频率与左右半球的活动表现出交互作用,低频词汇引发右半球的活动更强烈,高频词汇引发左半球的活动更强烈。这个研究证实了学习不熟悉的语言时,儿童表现出明显的右侧半球优势(Sugiura et al., 2011)。除 fNIRS 技术外,基于其它技术的研究也对儿童早期的前额叶功能右侧优势进行探究。比如,研究者利用动态单光子发射计算机断层扫描(dynamic single photon emission computerized tomography, SPECT)技术对儿童静息状态下的大脑活动模式进行研究时发现,3 岁前儿童的

大脑活动表现出右侧优势,3岁之后儿童的右侧活动逐渐减弱,左侧活动逐渐增强(Chiron et al., 1997)。基于ERP技术的研究也发现,儿童7岁时的语言加工开始表现出左侧优势,并且左侧化程度在7-18岁之间随年龄增长逐渐增强(Holland et al., 2001)。但其它技术对早期儿童脑机制的研究多在静息状态下进行;fNIRS技术则因其对头动容忍程度高等优势,使得在任务状态下对早期儿童的前额叶功能单侧优势进行研究成为可能,为这一结论提供了更丰富的证据。

以上这些研究共同表明,儿童早期关键认知能力对应的前额叶活动以右半球为主,随着年龄增长逐渐转化为左半球优势,单侧化在整个儿童期发生着动态的变化(Schore, 1994)。已有研究表明,大脑左侧主要与语言认知有关,而大脑右侧主要与非语言认知有关(曹京波,张彤,马越涛,赵纯,2006)。根据皮亚杰的认知发展阶段理论(邹泓,林崇德,2009),7岁前的儿童处于认知发展阶段中的前运算阶段,此时儿童的思维方式还停留在事物表面和符号功能,无法用语言和概念去思考问题。因此,这个阶段儿童在执行认知任务时较少依靠左侧大脑,更多依靠右侧大脑。而随着年龄增长,儿童进入具体运算阶段,这个阶段儿童的语言能力提高,能够对客观事物和经验进行逻辑思考,儿童的大脑活动由右半球优势逐渐转化为左半球优势。

3 早期认知发展对应前额叶脑区逐渐专门化

随着年龄增长,儿童的认知能力及其对应脑区的活动也随之变化。借助fNIRS技术,通过横向和纵向研究设计,研究者对儿童早期认知能力对应的前额叶不同区域及这些区域的激活模式进行了探讨。研究发现随着年龄的增长和认知水平的提高,与儿童早期认知能力关系密切的前额叶区域活动增强,而与儿童早期认知能力关系较小的前额叶区域活动减弱,即在儿童早期就已经出现了认知能力对应脑区逐渐专门化的现象。

一方面,随着年龄增长和认知水平的提高,儿童早期认知能力密切相关的前额叶区域活动增强或加入新的相关脑区对原有的前额叶活动进行支持。比如,Moriguchi和Hiraki(2011)使用认知转换任务(cognitive shifting tasks)对同一批儿童进行fNIRS研究。在这些儿童3岁时(time1)测试一次,一年后当这些儿童4岁时(time2)再测试一次。研究发现,儿

童4岁时比3岁时的行为表现更好,额下回的活动也更强烈。并且,3岁时表现好的儿童,在3岁时右侧额下回表现出明显的激活,在4岁时两侧额下回均表现出激活;3岁时表现不好的儿童,在3岁时前额叶没有明显活动区域,在4岁时左侧额下回表现出激活。从这个研究可以看出,儿童早期认知转换能力对应的关键脑区——额下回——整体表现出明显的激活增强。研究者认为,额下回激活增强可能是与儿童认知水平的提高有关。此外,左侧额下回在儿童3岁和4岁的间隔时间里开始出现激活,这与儿童内隐语言能力的发展有关,第二次实验时儿童更倾向于使用内部语言系统完成任务,这使得左侧额下回开始活跃起来。由此可见,在儿童早期认知灵活性的发展中,右侧额下回是起主导作用的区域,而左侧额下回则在发展中作为补充和支持区域。

另一方面,随着年龄的增长和认知水平的提高,与儿童早期认知能力关系较小的前额叶区域活动逐渐减弱或者完全消失。研究者采用fNIRS技术对儿童前额叶进行研究时发现,随着年龄的增长,前额叶中与工作记忆无关甚至呈现消极作用的区域活动逐渐减弱,并且整个前额叶活动也呈减弱的趋势。比如,Tsujii等人(2009)采用视觉工作记忆任务对5-7岁儿童前额叶功能的发展进行追踪研究,结果发现被试7岁时的表现明显比5岁时更好,被试在5岁和7岁时均激活两侧前额叶,但7岁儿童的前额叶活动显著小于5岁儿童。Buss等人(2014)在用fNIRS技术对儿童视觉工作记忆的研究中也发现,右侧前额叶皮层没有激活的儿童在进行视觉工作记忆任务中表现更好。由此可知,右侧前额叶的激活在视觉工作记忆任务中表现出消极作用,随着年龄增长,视觉工作记忆任务中的右侧前额叶活动也越来越弱。

已有的ERP和fMRI研究也对个体认知能力对应脑区的变化特点进行了研究,但这些研究大多以8岁以上儿童青少年和成人为主。比如有研究者对8~20岁被试完成抑制控制任务(Go/No-go Task)时的大脑活动进行探究,发现随着年龄的增长,左侧额下回、眶额皮层等与抑制控制有关的脑区逐渐增强,而左侧额上回、左侧额中回等脑区逐渐减弱(Tamm, Menon, & Reiss, 2002)。综合这些研究,可以发现在从婴幼儿到儿童青少年再到成人的整个发展过程中,前额叶活动都表现出逐渐精细化的趋势。有研究者提出交互特异化观点(interactive specialization view)来解释大脑功能逐渐精细化的原因。交互特

异化观点认为,一种新认知能力或行为的出现来源于脑区之间交互作用方式的变化。随年龄增长,与认知能力相关的大脑皮层区域通过相互作用逐渐激活增强,与认知能力关联较少的区域由于相互作用较少逐渐激活减弱,即出现大脑皮层功能的精细化(王益文等,2006)。

4 认知发展关键期与前额叶功能可塑性

个体的认知能力发展不是匀速进行的,在某段时间里个体对环境中的某些刺激格外敏感,该时期称为关键期。在这段时期内,认知和行为的可塑性最强,学习某种知识或发展某种能力会比其它时期更容易。认知神经科学的研究也已经证实了认知发展关键期的存在,并且发现认知发展的关键期与脑发育的关键期有关(Howard-Jones, Washbrook, & Meadows, 2012; Sousa, 2011)。比如, Jacobs 等人(1995)研究婴儿客体定位时,对与空间定位能力改善对应的时间段进行 EEG 记录,发现对应时间段内只有额叶活动增强,说明婴儿改善的空间定位表现与额叶皮层的成熟变化有关,空间定位发展的关键期与额叶的成熟期有关。儿童早期阶段,是各项认知能力发展的关键阶段,这个阶段内大脑的可塑性也相对较强,给予儿童一定的刺激或干预后,大脑皮层的结构和功能会发生较大改变(Howard-Jones, Washbrook, & Meadows, 2012; Sousa, 2011; Haier, Karama, Leyba, & Jung, 2009; Koelsch, Schulze, Alsop, & Schlaug, 2005)。然而,以往对早期儿童大脑可塑性的研究都集中于结构可塑性,有关脑功能可塑性的研究非常少(Schlaug, Norton, Overy, & Winner, 2005)。

近年来,随着 fNIRS 技术的快速发展,研究者开始对早期儿童前额叶的功能可塑性进行探索,为儿童早期阶段是个体认知能力发展的关键时期提供了神经活动层面的证据。比如,研究者对 74 名 3~5 岁日本学前儿童语言加工的前额叶活动模式进行了研究,其中 42 名 3~4 岁儿童接受英语训练一年,32 名 4~5 岁儿童接受英语训练两年(Hidaka et al., 2012)。训练后进行测查发现,有两年英语训练经验的儿童在加工日语和英语刺激时,两侧前额叶的激活要强于接受中文刺激时,而仅有一年英语训练经验的儿童没有这个现象。除语言训练外,音乐训练的研究也为早期前额叶的功能可塑性强这一观点提供了证据。比如, Gibson 等人(2009)选取了 20

名音乐大学学生,从 8 岁起开始接受音乐训练,持续约 12 年,平均每天的音乐训练时间为 2.5 小时,另外又选取 20 名没有接受过音乐训练的普通大学生,对两组被试进行智力和人格的测试,并在被试完成发散性思维任务时用 fNIRS 对他们两侧前额叶的活动进行探测。结果发现,相比普通大学生,从早期阶段就接受音乐训练的人在创造性、语言能力和分裂型人格上的得分都更高,两侧前额叶的活动也更强。目前,基于 fNIRS 的研究尚没有直接地探讨认知能力发展与脑发育关键期的对应关系,后续研究可以借助 fNIRS 适用于早期儿童的优势,注重开展这方面的研究。

5 前额叶活动异常与发展性障碍的关系

一直以来,前额叶作为调控各项高级认知加工过程的脑区,是各种发展性障碍研究的焦点(韩济生, 2009)。已有的研究发现,孤独症、注意缺陷多动障碍、发展性计算障碍等多项发展性障碍儿童、青少年都表现出前额叶功能的异常(Hoeft et al., 2011; Kucian et al., 2011; Rotzer et al., 2008; Vloet et al., 2010)。发展性障碍多从儿童早期阶段就开始出现,对发展性障碍儿童早期前额叶活动特点的研究有助于相关障碍的早期识别与干预。但由于以往技术的局限性,对早期发展性障碍儿童的研究非常少。fNIRS 技术的出现为研究者探究发展性障碍儿童早期阶段、甚至是初生时期的前额叶功能异常提供了支持。

已有关于发展性障碍儿童的研究借助 fNIRS 技术,对各类障碍儿童的前额叶功能异常特点进行了研究。比如, Negoro 等人(2010)的研究发现,在进行 Stroop 任务时,6~13 岁的 ADHD 儿童外侧额下回中含氧血红蛋白的变化显著小于正常儿童,即 ADHD 儿童在执行抑制功能时外侧额下回的激活更弱。一项针对 7~12 岁 ASD 儿童认知转换的神经机制的研究发现正常儿童完成认知转换任务时双侧前额叶均有显著激活,而 ASD 儿童只有左侧前额叶有激活,右侧前额叶无明显反应(Yasumura et al., 2012)。Kita 等人(2011)用 fNIRS 对 9~11 岁 ASD 儿童和正常儿童在自我面部识别任务中的前额叶活动进行了研究,发现 ASD 儿童前额叶中与自我识别能力相关的右侧额下回的激活与正常儿童有显著差异,表明右侧前额叶功能异常是 ASD 儿童的主要神经机制之一(Xiao et al., 2012)。以上研究表明,

ADHD 儿童和 ASD 儿童在抑制控制、认知转换和自我面部识别等任务中的前额叶激活与正常儿童有显著差异。

近来,有研究借助 fNIRS 技术对有发展性障碍家族风险的初生儿童的脑功能特点进行了研究,为相关障碍的早期预警提供了指标(Lloyd-Fox, 2013; Keehn, Wagner, Tager-Flusberg, & Nelson, 2013)。比如, Keehn 等人(2013)采用 fNIRS 技术对 3 个月大的有 ASD 家族风险的婴儿和普通婴儿在静息状态下的脑功能性连接进行了纵向追踪研究,发现有 ASD 家族风险的婴儿的大脑功能连接在 3 个月时显著强于普通婴儿,在 12 个月时显著低于普通婴儿。另外, Lloyd-Fox 等人(2013)采用 fNIRS 技术对 7 个月大的有 ASD 家族风险的婴儿和普通婴儿分别在母亲微笑表情、陌生人微笑表情和中性条件的三种视觉刺激下的大脑活动进行研究,发现在母亲面孔刺激和人类表情刺激下,ASD 家族风险婴儿的前额叶活动显著小于普通婴儿,这与已有针对 ASD 儿童和成人的研究结果一致(Hoeft et al., 2011; Xiao et al., 2012)。这些研究表明,借助 fNIRS 技术,人们可以对婴儿是否患有 ASD 进行有效的预测。

6 小结与展望

综上所述,尽管 fNIRS 技术出现时间较短,但研究者借助其独特的优势,在儿童前额叶功能成像研究中已经取得了许多重要成果。其为研究生命之初的认知发展与脑发育的关系提供了适宜的技术支持,拓展和延伸了发展认知神经科学研究的年龄范围。这对于丰富已有的儿童认知发展心理学理论,揭示儿童早期高级认知发展与前额叶发育的关系具有重要意义,也为儿童早期教育、发展性障碍儿童的早期诊断与治疗提供了重要依据。以下结合目前研究进展和特点,对未来研究提出如下建议:

第一,目前有关儿童早期认知能力发展与前额叶功能发育的 fNIRS 研究主要以“横断”范式为主,即通过对儿童与成人的比较,或者不同年龄阶段儿童的横向比较,分析认知能力对应的前额叶活动的特点,基于静态的数据提炼认知能力与脑发育的规律。仅有两个研究分别对早期儿童的工作记忆和认知转换对应的大脑发育进行了纵向研究(Moriguchi & Hiraki, 2011; Tsujii, Yamamoto, Masuda, & Watanabe, 2009)。由于 fNIRS 技术适用于早期儿童并且可以长时间重复测量,后续研究可以借助这一技术开展追踪研究,动态刻画认知发展与脑发育的轨

迹,进而通过描述不同阶段儿童认知与脑发育的变化,识别儿童认知与脑发育的关键期,为在关键期内进行适宜的教育或训练,促进脑和行为的可塑性提供指导。

第二,已有关于发展性障碍儿童的研究借助 fNIRS 技术,对各类障碍儿童的前额叶功能异常特点进行了研究,为早期阶段高发性障碍的识别提供了生物学指标。近来开始有研究借助 fNIRS 技术对有发展性障碍家族风险的初生儿童的脑功能特点进行了研究,对相关障碍的早期预警提供了指标(Lloyd-Fox, 2013; Keehn, Wagner, Tager-Flusberg, & Nelson, 2013)。这些研究表明,借助 fNIRS 技术,人们可以通过识别儿童早期前额叶活动的异常特点,对儿童是否将患有相关的发展障碍进行有效的预测,对已患有发展障碍儿童进行有效的识别。在未来的研究中,随着技术的不断完善和推广,研究者可以借助 fNIRS 技术更及早、更深入地开展前额叶功能异常与发展性障碍的关系,为早期预警、诊断和干预提供客观的生物学指标。

第三,将 fNIRS 技术与 ERP 和 fMRI 等技术相结合也将成为未来研究的一个重要趋势。尽管 fNIRS 技术有一些独特的优势,但也存在一些不足。比如, fNIRS 技术只允许研究者探测前额叶表层 20mm 内位置及其周围区域,不能对大脑内部进行深入的研究;作为 fNIRS 测试指标的血红蛋白不仅在个体大脑中存在,在其它表皮结构中(如皮肤)也存在,因此它的信号只反映相关血红蛋白的变化,其效用的直接性存在争议;对 fNIRS 信号进行分析时所用的算法和校正方法也尚未达成统一标准等(Nagamitsu, Yamashita, Tanaka, & Matsuishi, 2012)。因此,通过将 fNIRS 与 ERP 和 fMRI 等技术相结合,将有助于弥补其探测区域的局限,增加其在脑功能研究中的可靠性,通过多种技术的优势互补,基于多模态数据揭示大脑在时间和空间上的功能活动,为帮助人们理解早期儿童认知发展与脑发育的关系提供多角度的支持和证据。

相比国外的发展认知神经研究,我国对儿童早期大脑发育与认知发展的研究仍在起步阶段(董奇, 2011)。目前,我国运用 fNIRS 技术的研究正逐渐开展起来,一些相关研究机构已经配备了近红外成像仪,研究者开始运用 fNIRS 技术从早期儿童的面孔识别,执行功能等认知能力的神经机制以及发展性障碍儿童的功能活动特点等角度着手进行研究(吴汉荣, 姚彬, 2004),比如 Ding 等人(2013)对儿

童异族效应神经机制的研究,Zhu 等人(2013)对 ASD 儿童大脑功能性连接的研究,以及 Xiao 等人(2012)对于 ADHD 和 ASD 在抑制控制任务中的大脑活动的比较研究等。随着 fNIRS 技术的不断发展和普及,我国对儿童早期高级认知能力发展与大脑发育关系的研究将会更加深入,并在此基础上将儿童大脑神经机制的研究应用于儿童早期教育领域,为早期儿童创建更契合他们认知发展与大脑发育规律的教育环境。

参考文献:

- Buss, A. T., Fox, N., Boas, D. A., & Spencer, J. P. (2014). Probing the early development of visual working memory capacity with functional near-infrared spectroscopy. *Neuroimage*, 85 (1), 314 – 325.
- Chiron, C., Jambaque, I., Nabbout, R., Lounes, R., Syrota, A., Dulac, O. (1997). The right brain hemisphere is dominant in human infants. *Brain*, 120, 1057 – 1065.
- Ding, X. P., Fu, G. Y., & Lee, K. (2013). Neural correlates of own- and other-race face recognition in children: A functional near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage*, 85(1), 335 – 344.
- Farrari, M., & Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *NeuroImage*, 63(2), 921 – 935.
- Gervain, J., Mehler, J., Werker, J. F., Nelson, C. A., Csibra, G., Lloyd-Fox, S., et al. (2011). Near infrared spectroscopy: a report from the McDonnell Infant Methodology Consortium. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1(1), 22 – 46.
- Gibson, C., Folley, B. S., & Park, S. (2009). Enhanced divergent thinking and creativity in musicians: A behavioral and near-infrared spectroscopy study. *Brain and Cognition*, 69, 162 – 169.
- Haier, R. J., Karama, S., Leyba, L., & Jung, R. E. (2009). MRI assessment of cortical thickness and functional activity changes in adolescent girls following three months of practice on a visual-spatial task. *British Medical Council Research Notes*, 2(174), 1 – 7.
- Hidaka, S., Shibata, H., Kuriharac, M., Tanakad, A., Konnoa, A., Maruyamaa, S., et al. (2012). Effect of second language exposure on brain activity for language processing among preschoolers. *Neuroscience Research*, 73, 73 – 79.
- Hoeft, F., Walter, E., Lightbody, A. A., Hazlett, H. C., Chang, C., Piven, J., et al. (2011). Neuro-anatomical differences in toddler boys with fragile X syndrome and idiopathic autism. *Archives of General Psychiatry*, 68(3), 295 – 305.
- Hollanda, S. K., lanteb, E., Weber Byarsa, A., Strawsburga, R. H., Schmithorsta, V. J., & Ball Jr., W. S. (2001). Normal fMRI brain activation patterns in children performing a verb generation task. *NeuroImage*, 14(4), 837 – 843.
- Howard-Jones, P. A., Washbrook, E. V., & Meadows, S. (2012). The timing of educational investment: A neuroscientific perspective. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 25, 518 – 529.
- Jacobs, B. H. T., Chugani, A., Vivekanand, S., Chen, M. E., Phelps, D. B., & Pollack, M. J. (1995). Developmental changes in brain metabolism in sedated rhesus macaques and vervet monkeys revealed by positron emission tomography. *Cerebral Cortex*, 3, 222 – 233.
- Karama, S., Ad-Dab'bagh, Y., Haier, R. J., Deary, I. J., Lyttelton, O. C., Lepage, C. et al. (2009). Positive association between cognitive ability and cortical thickness in a representative US sample of healthy 6 to 18 year-olds. *Intelligence*, 37(4), 431 – 442.
- Keehn, B., Wagner, J. B., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A., (2013). Functional connectivity in the first year of life in infants at-risk for autism: a preliminary near-infrared spectroscopy study. *Human Neuroscience*, 7, 1 – 10.
- Kita, Y., Gunji, A., Inoue, Y., Goto, T., Sakihara, K., Kaga, M., et al. (2011). Self-face recognition in children with autism spectrum disorders: a near-infrared spectroscopy study. *Brain and Development*, 33(6), 494 – 503.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Increased brain activity in frontal and parietal cortex underlies the development of visuo-spatial working memory capacity during childhood. *Cognitive Neuroscience*, 14, 1 – 10.
- Koelsch, S., Fritz, T., Schulze, K., Alsop, D., & Schlaug, G. (2005). Adults and children processing music: An fMRI study. *NeuroImage*, 25, 1068 – 1076.
- Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schönmann, C., Plangger, F., et al. (2011). Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage*, 57(3), 782 – 795.
- Lloyd-Fox, S., Elwell, C., Charman, T., Declan, M., & Johnson, M. (2013). Reduced neural sensitivity to social stimuli in infants at-risk for autism. *Proceedings of the Royal Society Lond. B*, 280, 1 – 9.
- Mehnert, J., Akhrif, A., Telkemeyer, S., Rossi, S., Schmitz, C. H., Steinbrink, J., et al. (2013). Developmental changes in brain activation and functional connectivity during response inhibition in the early childhood brain. *Brain Development*, 35, 894 – 904.
- Minagawa-Kawai, Y., Mori, K., Hebden, J. C., & Dupoux, E. (2008). Optical imaging of infants' neurocognitive development: recent advances and perspectives. *Developmental Neurobiology*, 68, 712 – 728.
- Moriguchi, Y., & Hiraki, K. (2011). Longitudinal development of prefrontal function during early childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1, 153 – 162.
- Moriguchi, Y., & Hiraki, K. (2013). Prefrontal cortex and executive function in young children: a review of NIRS studies. *Human Neuroscience*, 7, 1 – 9.
- Nagamitsu, S., Yamashita, Y., Tanaka, H., & Matsushita, T. (2012). Functional near-infrared spectroscopy studies in Children. *Bio Psycho Social Medicine*, 6(7), 1 – 7.
- Negoro, H., Sawadam, M., Iida, J., Ota, T., Tanaka, S., & Kishimoto, T. (2010). Prefrontal dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder as measured by near-infrared spectroscopy. *Child Psychiatry and Human Development*, 41, 193 – 203.
- Rotzer, S., Kucian, K., Martin, E., Aster, M. V., Klaver, P., &

- Loenneker, T. (2008). Optimized voxel-based morphometry in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage*, 39 (1), 417 – 422.
- Schlaug, G., Norton, A. , Overy, K. , & Winner, E. (2005). Effects of Music Training on the Child’s Brain and Cognitive Development. *Annals New York Academy of Science*, 1060, 219 – 230.
- Schore, H. R. (1994). *Affect Regulation and the Origin of the Self: The neurobiology of emotional development*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shonkoff, J. P. , & Phillips, D. A. (Ed). (2000). *From Neurons to Neighborhoods: The Science of Early Childhood Development*. Washington, DC: National Academies Press.
- Sousa, D. A. (Ed). (2011). *How the brain learns*. Corwin Press.
- Sugiura, L. , Ojima, S. , Matsuba-Kurita, H. , Dan, I. , Tsuzuki, D. , Katura, T. , et al. (2011). Sound to Language: Different Cortical Processing for First and Second Languages in Elementary School Children as Revealed by a Large-Scale Study Using fNIRS. *Cerebral Cortex*, 21, 2374—2393.
- Tamm, L. , Menon, V. , & Reiss, A. L. (2002). Maturation of brain function associated with response inhibition. *American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 41, 1231 – 1238.
- Tsujii, T. , Yamamoto, E. , Masuda, S. , & Watanabe, S. (2009). Longitudinal study of spatial working memory development in young children. *Neuroreport*, 20, 759 – 763.
- Tsujimoto, S. , Yamamoto, T. , Kawaguchi, H. , Koizumi, H. , & Sawaguchi, T. (2004). Prefrontal Cortical Activation Associated with Working Memory in Adults and Preschool Children: An Event-related Optical Topography Study. *Cerebral Cortex*, (7), 703 – 712.
- Vloet, T. D. , Gilsbach, S. , Neufang, S. , Fink, G. R. , Herpertz-Dahlmann, B. , & Konrad, K. (2010). Neural mechanisms of interference control and time discrimination in attention - deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(4), 356 – 367.
- Xiao, T. , Xiao, Z. , Ke, X. , Hong, S. , Yang, H. , Su, Y. , et al. (2012). Response inhibition Impairment in high functioning autism and attention deficit hyperactivity disorder: evidence from near-infrared spectroscopy data. *PLoS One*, 7(10), e46569.
- Yasumura, A. , Kokubo, N. , Yamamoto, H. , Yasumura, Y. , Moriguchi, Y. , Nakagawa, E. , et al. (2012). Neurobehavioral and hemodynamic evaluation of cognitive shifting in children with autism spectrum disorder. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 2, 463 – 470.
- Zhu, H. L. , Fan, Y. B. , Guo, H. , Huang, D. , & He, S. L. (2013). Reduced interhemispheric functional connectivity of children with autism: evidence from functional near infrared spectroscopy studies. *Biomedical Optics Express*, 5, 1262 – 1274.
- 曹京波, 张彤, 马越涛, 赵纯. (2006). 大脑半球的分工与协同. *中国临床康复*, 10(38), 143 – 145.
- 陈帼眉, 姜勇. (主编). (2007). *幼儿教育心理学*. 北京:北京师范大学出版社.
- 邓园, 丁国盛, 彭聘龄. (2003). 左侧前额叶语言加工功能研究综述. *心理科学*, 26(4), 687 – 689.
- 董奇. (2011). 发展认知神经科学: 理解和促进人类心理发展的新兴学科. *中国科学院院刊*, 26(6), 630 – 639.
- 韩济生. (2009). *神经科学*. 第3 版. 北京: 北京大学医学出版社.
- 李寿欣. (1991). 大脑两半球的机能差异及其成因. *心理学探新*, 1, 14 – 17.
- 刘宝根, 周兢, 李菲菲. (2011). 脑功能成像的新方法 – 功能性近红外光谱技术 (fNIRS). *心理科学*, 34(4), 943 – 949.
- 刘世熠, 邬勤娥, 孙文龙. (1962). 4 岁至 7 岁学龄前儿童脑电图研究. *心理学报*, 3, 186 – 194.
- 王益文, 林崇德, 陆祖宏. (2006). 发展认知神经科学的研究进展. *自然科学进展*, 16(12), 1530 – 1535.
- 吴汉荣, 姚彬. (2004). 汉语阅读障碍儿童视觉编码和词语成分加工机制的功能性近红外光学成像研究. *中国学校卫生*, 25(1), 4 – 7.
- 周昊天, 傅小兰. (2005). 认知科学—新千年的前沿领域. *心理学进展*, 13(4), 388 – 397.
- 周仁来, 许杰. (2001). 知觉启动效应及其脑机制的研究进展. *心理科学*, 24(1), 81 – 84.
- 邹泓, 林崇德. (主编). (2009). *发展心理学*. 第2 版. 北京: 人民教育出版社.

fNIRS Studies of the Development of Early Advanced Cognitive Ability and Prefrontal Function

ZOU Yuchen¹ LI Yanfang^{1,2} DING Ying^{1,2}

(1. School of Brain and Cognitive Sciences, National Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875; 2. National Innovation Center for Assessment of Basic Education Quality, Beijing 100875)

Abstract: The children's early development of cognition and brain activity would play a crucial role in their whole life. The fNIRS, as a new neuroimaging technique, is especially suitable for the studies on young children with its advantages of being relatively noninvasive, portable and insensitive to head-moving. This review summarized the fNIRS studies of the development of early advanced cognitive ability and prefrontal function from four aspects. In the follow-up studies, researchers should pay more attention to explore the dynamic relationship between the development of early advanced cognitive ability and prefrontal function, and to study the critical period of the development of early advanced cognitive ability and prefrontal function. In addition, studies on prefrontal dysfunction should be conducted to provide evidence for the early diagnosis of developmental disable children and children at risk for developmental disability.

Key words: early childhood; development of advanced cognitive ability; development of prefrontal function; fNIRS