

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.12.020

基于 fNIRS 的符号和非符号 数量加工的脑机制研究^①

李相南^{1,2}, 张丽³

1. 西南大学 心理学部, 重庆 400715; 2. 安徽中医药大学 药学院, 合肥 230012;
3. 中央财经大学 社会与心理学院, 北京 100081

摘要: 为探讨符号和非符号数量加工的特异性和非特异性问题以及二者间相互转换的神经机制, 利用功能性近红外光谱成像技术(fNIRS)对 30 名成人进行测量, 实验中让被试完成数量适应范式任务, 结果发现: ① 非符号数量加工主要激活脑区为右顶上叶、右额上回和左右额中回, 而符号数量加工则主要在左额中回有显著激活, 且只有符号数量加工中出现了距离效应; ② 非符号向符号数量转换由左右顶上叶、左额上回和左右额中回负责, 而符号向非符号数量转换则是由左顶上叶和左右额上回负责. 研究结果既支持了符号和非符号数量加工的特异性观点, 又进一步揭示符号和非符号数量相互转换有着不同的神经机制.

关键词: 符号数量加工; 非符号数量加工; 符号特异性; 符号非特异性; 转换机制

中图分类号: B844.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)12-0126-07

数量是一个抽象的概念, 可以用符号和非符号这 2 种形式来表示. 有研究指出, 符号数量是通过文化学习获得的, 是人类特有的一种能力; 而非符号数量的感知则是人和动物共有的一种能力^[1], 并且这种能力在人类婴幼儿时期就已经出现^[2]. 因此, 非符号数量被认为是符号数量发展的基础^[3], 这就意味着二者的表征结构相似. 但近些年来, 行为研究和神经成像研究对二者关系的探讨结果均存在很大争议, 即符号和非符号数量加工的机制是否相同^[4-5]. 因此, 本研究拟在以往研究的基础上利用功能性近红外光谱技术(fNIRS)对二者关系进行澄清, 并进一步考察符号和非符号数量相互转化的神经机制.

大量行为研究表明^[6-8], 符号和非符号数量加工的联系密切. 有研究^[11]发现, 儿童和成人进行非符号数量比较时的速度和正确率与 2 个点集间的比率/距离有关, 即 2 个点集间的比率/距离越大, 被试反应速度越慢, 正确率越低; 反之, 被试反应速度则越快, 正确率也更高. 研究者们将这种现象称为“比率/距离效应”. 有研究者^[6]让被试完成符号数量比较任务时, 也发现了此效应. 这说明符号和非符号数量的内在加工模式可能是相同的. 此外, 也有证据间接表明二者关系密切. 如有研究发现, 符号和非符号数量比较的正确率与心算任务的正确率均呈显著正相关^[7], 并且非符号数量感知能力能显著预测符号数学成绩^[8].

随着神经成像技术的发展, 研究者们从脑功能成像的角度揭示符号和非符号数量加工的神经机制相同^[9-11], 从而为二者加工的相似性提供了证据. Holloway 和 Ansari^[9]利用 fMRI 技术测量被试完成符号和非符号数量比较任务时的反应情况, 结果发现右侧顶内沟在 2 种任务中都表现出了显著激活; Sokolowski

① 收稿日期: 2017-11-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(31470996).

作者简介: 李相南(1992-), 女, 硕士研究生, 主要从事数学认知的研究.

通信作者: 张丽, 教授, 博士研究生导师.

等人^[10]通过元分析发现,符号和非符号数量在顶叶和额叶均有显著激活,证明数量表征具有符号非特异性,即符号和非符号数量表征的神经机制是相同的。

然而有研究^[4,12-16]指出,符号和非符号数量的加工机制不同,二者是分离的。如在行为研究层面,Sasanguie 等人^[12]通过视听匹配范式发现,与非符号数量任务相比,被试在符号数量匹配任务中的正确率和反应时均未表现出比率效应;Vanbinst 等人^[13]控制被试的智力、数字命名能力和一般数学成绩后发现,符号数量加工能力和个体的算术成绩呈显著正相关,个体检索符号数量知识的能力越好,选择计算策略的速度就越快,算术成绩越好;但并未发现非符号数量能力和算术成绩有显著关联。在脑功能成像层面,Holloway 等人^[4]发现,被试进行符号数量判断时左角回和颞上回有更多激活,而在非符号数量判断任务中,右后上顶叶有更多激活;Peters 等人^[16]发现儿童在符号和非符号形式减法算术任务中脑区激活模式表现出了显著差异,即角回和缘上回在符号任务中有显著激活;而枕叶中部、顶上叶、额上回以及脑岛的激活在非符号任务中更加显著。

由上可见,符号和非符号数量加工的机制是否相同这一问题尚存在很大争论,仍有待澄清。行为研究往往是以反应时和正确率为衡量指标,只能测量外在的行为表现,而大脑是认知和行为表现的基础,脑成像研究能精确地了解内在认知加工过程在大脑上的反应。因此,有研究^[17]明确指出,脑成像研究比行为研究能更好地揭示符号和非符号数量加工的本质。故本研究的目的之一就是神经层面对二者的关系进行重复验证。此外,以往研究多是对二者关系作孤立探讨,未能充分考察符号和非符号数量加工的相互转化机制,对这一问题的考察更有利于增进我们对二者关系的了解,从而进一步揭示数学能力发展的认知基础。故本研究的目的之二是探讨符号和非符号数量加工相互转化的神经机制。

本研究拟采用新兴的功能性近红外光谱技术(Functional Near-Infrared Spectroscopy, fNIRS),通过 fNIRS 适应范式对符号和非符号数量加工的神经机制进行考察。一方面,有研究^[18]表明,该技术与功能性核磁共振技术(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)所获得的结果有很好的-一致性,且 fNIRS 设备对头动不敏感,生态效度高,价格低,时间和空间分辨率都较好^[19]。另一方面,有研究^[20-22]将适应范式成功应用于数量加工领域,且该范式可以避免反应选择等不相干成分对数量加工过程的影响,更利于了解负责符号和非符号数量加工的脑区是否相同。

1 研究方法

1.1 被试

从重庆市某大学招募 30 名健康的成人被试参与本实验,其中 14 名男生,16 名女生,均为右利手,视力或矫正后视力正常,平均年龄为(22.13±2.145)岁。实验结束后给予一定报酬。

1.2 实验材料

以符号数量(阿拉伯数字)、非符号数量(圆点)为实验材料,数值均在 9 以内。以往研究^[23-24]表明 1 和 5 在数字序列中的位置比较特殊,而数字 7 在外形上又和数字 1 相似,因此本研究将这 3 个数值排除在外,只使用了 2,3,4,6,8,9 这 6 个数值。为了排除刺激特点的干扰,第二个呈现的刺激和第一个呈现的刺激无论是在形状还是大小上都不同。非符号刺激材料由一个自动化程序生成,其中控制了总面积、大小和密度等非数量参数^[25]。符号刺激有 3 个不同的字号(21,27,33)及 3 个不同的字体(Arial,Courier,Comic Sans MS)^[20]。刺激呈现在屏幕中央的白色圆圈里、黑色的背景上,屏幕分辨率为 1 920×1 080。利用 Photoshop 将实验中所使用的图片统一设置成高度和宽度为 348×348 像素,视角均小于 6°。

1.3 实验设计

本实验采取的是 3(距离:零距离、近距离、远距离)×2(刺激类型:符号数量、非符号数量)×2(转换类型:非符号数量向符号数量转换、符号数量向非符号数量转换)被试内设计。其中零距离前后 2 个数值的差值为 0,近距离前后 2 个数值的差值为 1 或 2,远距离前后 2 个数值的差值为 6 或 7。因变量是氧合血红

蛋白(HbO)质量浓度的变化,用 Beta 值表示. 因为先前研究^[26]指出 HbO 质量浓度的变化是反映认知加工的一个重要指标,对任务的刺激更加敏感,而且比脱氧血红蛋白(HbR)有更高的信噪比,故本研究以 HbO 质量浓度值作为指标. 实验中所有被试需完成 4 个任务:非符号数量任务、符号数量任务、非符号数量向符号数量转换任务、符号数量向非符号数量转换. 以上任务采用拉丁方设计,以排除顺序效应的影响.

1.4 实验仪器和 fNIRS 通道布局

本研究使用的是 Shimadzu OMM. FOIRE-3000 功能性近红外脑成像设备,通过三波长的近红外线半导体激光(780 nm,805 nm,830 nm)检测大脑皮层血红蛋白质量浓度的变化,采样率设定为 10 Hz. 采用的是 4×8 排列的多通道布局,光源和探测器各有 16 个,相互间间隔约为 3 cm,根据国际 10-20 脑电系统安置探头,共 52 个通道. 以往有关研究表明^[10-11],顶叶和额叶在数量认知加工中起重要作用,故本研究中主要观测的脑区是顶叶和额叶.

MNI 坐标通过 3D 定位仪和 NIRS_SPM 软件获得,图 1 是探头在脑区中的对应位置. 其中覆盖左顶叶的通道有 ch5,ch12,ch13,ch20,覆盖右顶叶的通道有 ch3,ch4,ch11,ch18,ch19,覆盖左额叶的通道有 ch35,ch42,ch43,ch44,ch50,ch51,ch52,覆盖右额叶的通道有 ch34,ch40,ch41,ch47,ch48,ch49.

1.5 实验程序

被试进入实验室后,让其坐在电脑显示屏前约 50 cm 处,然后给其戴上按照国际 10-20 脑电系统安置的近红外光纤探头帽. 向被试解释指导语后,即进入练习.

实验采用事件相关设计,被试需要完成适应范式任务. 整个实验有 4 组刺激,每组有 198 个刺激. 每组刺激开始前会有 20 s 的静息时间,让被试盯着屏幕中央的注视点,尽量什么都不要想. 刺激持续时间为 300 ms,刺激与刺激之间会有一个 1 200 ms 的空屏. 每组刺激的时长大约为 5 min. 非转换实验中每组的刺激形式是相同的;转换实验过程中,向被试呈现一系列刺激(非符号数量/符号数量),作为适应刺激,偶尔呈现偏差刺激(非符号数量/符号数量). 其中偏差刺激是 20 个,每出现 7~10 个适应刺激后会出现偏差刺激. 整个实验中,零距离出现 65 次,近距离和远距离分别出现 66 次.

1.6 统计分析

在 Matlab (R2014a)程序中使用 NIRS_SPM 软件对收集到的 fNIRS 数据进行预处理,得到各通道 HbO 质量浓度的 Beta 值权重. 然后用 SPSS18.0 根据实验目的对转换后得到的各个任务中的 Beta 值进行统计分析,具体包括单样本 t 检验、配对样本 t 检验和重复测量方差分析.

2 结 果

2.1 符号和非符号数量加工分析

对各通道内非符号条件下 HbO 质量浓度的变化做单样本 t 检验,结果发现,在通道 ch11 ($t(29)=2.001, p=0.055$), ch18 ($t(29)=2.054, p=0.049$), ch40 ($t(29)=3.022, p=0.005$), ch41 ($t(29)=2.146, p=0.040$), ch48 ($t(29)=2.241, p=0.033$), ch52 ($t(29)=2.498, p=0.081$)有显著激活. 同理,对各通道符号条件下 HbO 质量浓度的变化做单样本 t 检验,结果发现,只有通道 ch52 ($t(29)=3.673, p=0.001$)有显著激活. 这表明非符号数量加工主要在右顶上叶、右额上回和左右额中回,而符号数量加工则主要在左额中回. 各通道的 t 值热量图见图 2a.

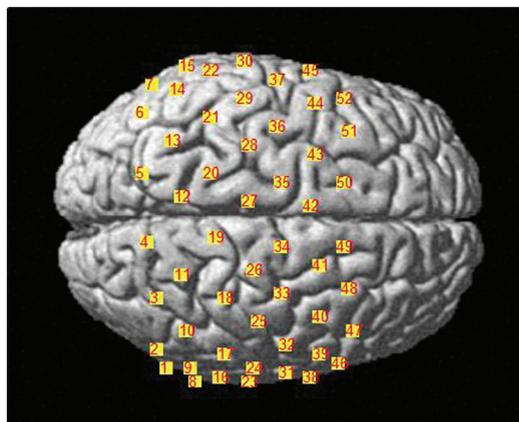
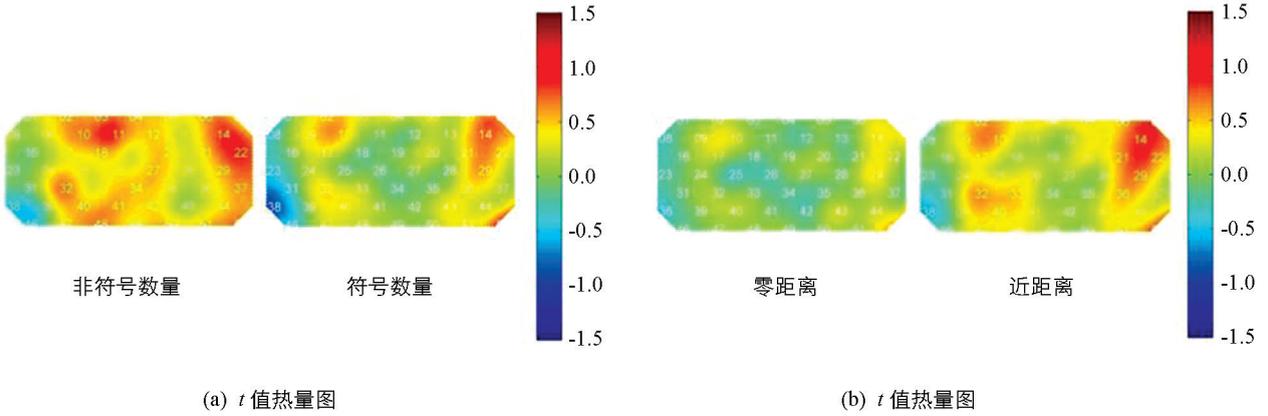


图 1 通道布局

本研究还进行了非符号和符号数量的距离效应检验,重复测量方差分析发现,非符号数量条件下各个通道距离的主效应均不显著;符号数量条件下 ch21 ($F(2, 87)=3.343, p=0.040, \eta^2=0.071$) 的距离主效应显著,且事后检验发现,近距离的激活程度显著大于零距离的激活 ($p=0.012$),说明左顶上叶出现了距离效应.各通道的 t 值热量图见图 2b.



图中的数字为通道的编号,图 a 为非符号数量的通道激活情况,图 b 为符号数量的通道激活情况.每个图右边的色棒表示 t 值,颜色越趋于红色, t 值越大,相应脑区的激活程度越高;越趋于蓝色, t 值越小,相应脑区的激活程度越低.

图 2 非符号、符号数量激活图和符号数量距离效应的 t 值热量图

2.2 非符号和符号数量的转换机制分析

通过配对样本 t 检验对非符号数量向符号数量转换条件分析发现, ch11 ($t(29)=2.400, p=0.023$), ch13 ($t(29)=2.088, p=0.046$), ch18 ($t(29)=2.175, p=0.038$), ch35 ($t(29)=2.172, p=0.038$), ch40 ($t(29)=2.121, p=0.043$), ch43 ($t(29)=2.169, p=0.038$), ch51 ($t(29)=2.273, p=0.031$) 和 ch52 ($t(29)=2.339, p=0.026$) 这些通道有显著激活,说明非符号数量向符号数量转换过程中左右顶上叶、左额上回和左右额中回起着重要作用.同理,对符号数量向非符号数量转换条件的分析发现, ch13 ($t(29)=2.375, p=0.024$), ch20 ($t(29)=2.371, p=0.025$), ch34 ($t(29)=2.994, p=0.006$), ch35 ($t(29)=2.527, p=0.017$), ch41 ($t(29)=2.209, p=0.035$), ch43 ($t(29)=2.322, p=0.027$), ch49 ($t(29)=3.191, p=0.003$) 和 ch50 ($t(29)=3.188, p=0.003$) 这些通道有显著激活,说明符号数量向非符号数量转换过程中左顶上叶和左右额上回起着重要作用.

进一步对 2 种转换条件的距离效应进行重复测量方差分析,结果发现,非符号数量向符号数量转换过程中各通道的主效应均不显著;符号数量向非符号数量转换过程中 ch5 ($F(2, 87)=3.689, p=0.029, \eta^2=0.078$) 和 ch20 ($F(2, 87)=4.734, p=0.011, \eta^2=0.098$) 的距离主效应显著,且事后检验表明,零距离 ($p=0.042, p=0.009$) 和远距离 ($p=0.012, p=0.010$) 条件下的激活显著大于近距离条件下的激活,表明符号数量向非符号数量转换过程中,左顶上叶出现了距离效应.各通道的 t 值热量图见图 3.

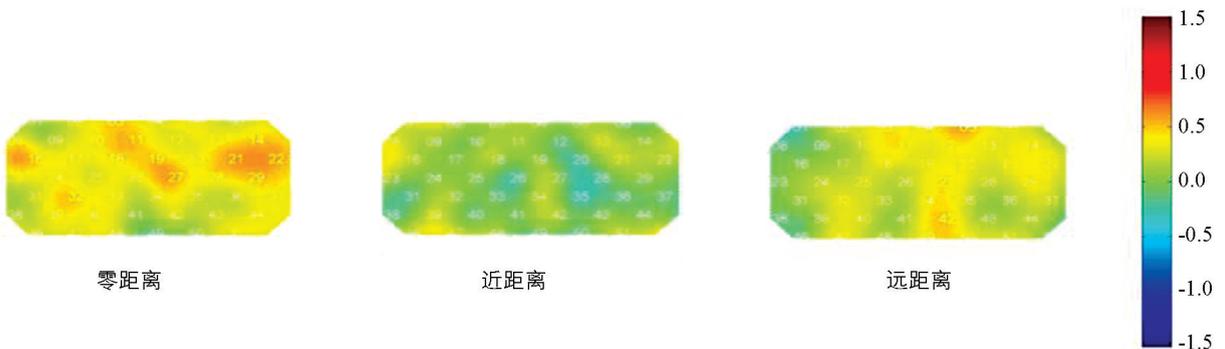


图 3 符号数量向非符号数量转换条件下的距离效应 t 值热量图

3 讨 论

本研究的主要目的是考察符号和非符号数量加工的神经基础, 为符号和非符号数量加工机制相同与否的有关争论提供支撑, 并进一步揭示符号和非符号数量相互转化的神经机制. 下面将对本研究的结果进行讨论.

3.1 符号和非符号数量加工的神经基础

研究表明, 符号和非符号数量加工均在左额中回有显著激活, 除此之外, 非符号数量还在右顶上叶、右额上回和右额中回有显著激活. 这似乎说明了符号和非符号数量加工存在重叠, 有共同的神经基础, 但进一步的距离效应分析发现, 只有符号数量加工在左顶上叶出现了距离效应, 非符号数量加工并未在任何感兴趣区出现距离效应, 故符号和非符号数量加工是分离的, 并不具有相同的神经基础. 这与以往有关的符号和非符号数量加工的研究结果一致^[4,12-14,16], 均从实证的角度说明了符号和非符号数量加工的特异性问题. 一方面, 这可能是由于非符号与符号数量的表征特性不同所致, 即非符号属于近似数量表征, 而符号则属于精确数量表征^[17]. 例如, 看到符号数量“2”和“9”, 被试很快就能知道是几以及其所代表的意义, 但是对于非符号数量 2 个点和 9 个点, 可能被试对 2 个点能够进行精确表征, 但 9 个点超过了人们精确数量感知的范围, 只能对其进行近似数量感知. 另一方面, 可能是由于本研究中的研究对象是成人, 他们对非符号数量加工已非常熟练, 所以此加工中并未表现出显著的距离效应, 但是由于在实践中接触的符号数量较多, 非符号数量较少, 导致向他们呈现非符号数量刺激时激活的脑区更多.

3.2 符号和非符号数量相互转换的神经机制

既然符号和非符号数量加工是特异性的, 那二者相互转换的神经机制是什么样的呢? 对其转换机制的分析结果发现, 非符号数量向符号数量转换由左右顶上叶、左额上回和左右额中回负责, 而符号数量向非符号数量转换则是由左顶上叶和左右额上回负责. 但非符号数量向符号数量转换过程中各通道的距离主效应均不显著, 符号数量向非符号数量转换过程中左顶上叶的距离效应显著. 这说明二者在相互转换过程中虽然部分脑区存在重叠, 但实质是不同的, 该研究结果与 Piazza 等^[17]的研究一致, 这可能是因为符号和非符号数量的认知加工过程不同所致^[27]. 此外, Verguts 和 Fias^[28]指出, 符号数量的神经编码可能比非符号数量更为精确, 故在神经网络中, 非符号数量的神经元有更宽广的调谐曲线, 符号数量的神经调谐曲线则非常狭窄. 因此, 当适应刺激是非符号数量时, 调谐曲线比较宽阔, 大量的数字神经元处于适应状态, 当出现符号刺激时, 不论距离远近, 反应均不显著; 反之, 当适应刺激是符号数量时, 调谐曲线相对狭窄, 只有较少的神经元处于适应状态, 它的宽度和数量不足以让神经元对非符号偏差刺激产生适应, 导致符号数量向非符号数量转换会出现显著的距离效应.

4 结 论

本研究采用 fNIRS 考察了符号和非符号数量加工的特异性问题以及符号和非符号数量相互转换的神经机制, 结论如下: ① 符号和非符号数量加工存在符号特异性; ② 非符号向符号数量转换由左右顶上叶、左额上回和左右额中回负责, 而符号向非符号数量转换则是由左顶上叶和左右额上回负责, 且二者相互转换的神经机制是不同的.

参考文献:

- [1] DEHAENE S, DEHAENE-LAMBERTZ G, COHEN L. Abstract Representations of Numbers in the Animal and Human Brain [J]. *Trends in Neurosciences*, 1998, 21(8): 355-361.
- [2] LIBERTUS M E, BRANNON E M. Behavioral and Neural Basis of Number Sense in Infancy [J]. *Current Directions in Psychological Science*, 2009, 18(6): 346-351.
- [3] PIAZZA M. Neurocognitive Start-Up Tools for Symbolic Number Representations [J]. *Trends in Cognitive Sciences*,

- 2010, 14(12): 542–551.
- [4] HOLLOWAY I D, PRICE G R, ANSARI D. Common and Segregated Neural Pathways for the Processing of Symbolic and Nonsymbolic Numerical Magnitude: An fMRI Study [J]. *Neuroimage*, 2010, 49(1): 1006–1017.
- [5] MATEJKO AA, ANSARI D. Trajectories of Symbolic and Nonsymbolic Magnitude Processing in the First Year of Formal Schooling [J]. *Plos One*, 2016, 11(3): 1–15.
- [6] DIETRICH J F, HUBER S, MOELLER K, et al. The Influence of Math Anxiety on Symbolic and Non-Symbolic Magnitude Processing [J]. *Frontiers in Psychology*, 2015, 6(1621): 1–10.
- [7] LINSEN S, VERSCHAFFEL L, REYNVOET B, et al. The Association Between Numerical Magnitude Processing and Mental Versus Algorithmic Multi-Digit Subtraction in Children [J]. *Learning and Instruction*, 2015, 35: 42–50.
- [8] MATTHEWS P G, LEWIS M R, HUBBARD E M. Individual Differences in Nonsymbolic Ratio Processing Predict Symbolic Math Performance [J]. *Psychological Science*, 2015, 27(2): 191–202.
- [9] HOLLOWAY I D, ANSARI D. Developmental Specialization in the Right Intraparietal Sulcus for the Abstract Representation of Numerical Magnitude [J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2010, 22(11): 2627–2637.
- [10] SOKOLOWSKI H M, FIAS W, MOUSA A, et al. Common and Distinct Brain Regions in Both Parietal and Frontal Cortex Support Symbolic and Nonsymbolic Number Processing in Humans: A Functional Neuroimaging Meta-Analysis [J]. *Neuroimage*, 2017, 146: 376–394.
- [11] SOKOLOWSKI H M. Common and Distinct Brain Regions Support Numerical and Non-Numerical Magnitude Processing: A Functional Neuroimaging Meta-Analysis [D]. London Ontario Canada: The University of Western Ontario, 2015.
- [12] SASANGUIE D, SMEDT B D, REYNVOET B. Evidence for Distinct Magnitude Systems for Symbolic and Non-Symbolic Number [J]. *Psychological Research*, 2017, 81(1): 231–242.
- [13] VANBINST K, GHESQUIÈRE P, SMEDT B D. Numerical Magnitude Representations and Individual Differences in Children's Arithmetic Strategy Use [J]. *Mind, Brain, and Education*, 2012, 6(3): 129–136.
- [14] LYONS I M, ANSARI D, BEILOCK S L. Qualitatively Different Coding of Symbolic and Nonsymbolic Numbers in the Human Brain [J]. *Human Brain Mapping*, 2014, 36(2): 475–488.
- [15] LYONS I M, ANSARI D. Foundations of Children's Numerical and Mathematical Skills: The Roles of Symbolic and Nonsymbolic Representations of Numerical Magnitude [J]. *Advances in Child Development and Behavior*, 2015, 48: 93–116.
- [16] PETERS L, POLSPOEL B, DE BEECK H O, et al. Brain Activity During Arithmetic in Symbolic and Non-Symbolic Formats in 9 to 12-Year Old Children [J]. *Neuropsychologia*, 2016, 86: 19–28.
- [17] PIAZZA M, PINEL P, BIHAN D L, et al. A Magnitude Code Common to Numerosities and Number Symbols in Human Intraparietal Cortex [J]. *Neuron*, 2007, 53(2): 293–305.
- [18] DUAN L, ZHANG Y J, ZHU C Z. Quantitative Comparison of Resting-State Functional Connectivity Derived from fNIRS and fMRI: A Simultaneous Recording Study [J]. *Neuroimage*, 2012, 60(4): 2008–2018.
- [19] SZÜCS D, KILLIKELLY C, CUTINI S. Event-Related Near-Infrared Spectroscopy Detects Conflict in the Motor Cortex in a Stroop Task [J]. *Brain Research*, 2012, 1477: 27–36.
- [20] KADOSH R C, KADOSH K C, KAAS A, et al. Notation-Dependent and -Independent Representations of Numbers in the Parietal Lobes [J]. *Neuron*, 2007, 53(2): 307–314.
- [21] HOLLOWAY I D, BATTISTA C, VOGEL S E, et al. Semantic and Perceptual Processing of Number Symbols: Evidence from a Cross-Linguistic fMRI Adaptation Study [J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2013, 25(3): 388–400.
- [22] SOLTÉSZ F, SZÜCS D. Neural Adaptation to Non-Symbolic Number and Visual Shape: An Electrophysiological Study [J]. *Biological Psychology*, 2014, 103: 203–211.
- [23] DEHAENE S, MEHLER J. Cross-Linguistic Regularities in the Frequency of Number Words [J]. *Cognition*, 1992, 43(1): 1–29.
- [24] JOSEPH T, JOACHIM M, AVISHAI H. Automatic and Intentional Processing of Numerical Information [J]. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 1992, 18(1): 166–179.

- [25] HYDE D C, BOAS D A, BLAIR C, et al. Near-Infrared Spectroscopy Shows Right Parietal Specialization for Number in Pre-Verbal Infants [J]. *Neuroimage*, 2010, 53(2): 647–652.
- [26] HOSHI Y, KOBAYASHI N, TAMURA M. Interpretation of Near-Infrared Spectroscopy Signals: A Study with a Newly Developed Perfused Rat Brain Model [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2001, 90(5): 1657–1662.
- [27] LYONS I M, ANSARI D, BEILOCK S L. Symbolic Estrangement: Evidence Against a Strong Association Between Numerical Symbols and the Quantities They Represent [J]. *Journal of Experimental Psychology General*, 2012, 141(4): 635–641.
- [28] VERGUTS T, FIAS W. Representation of Number in Animals and Humans: A Neural Model [J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2004, 16(9): 1493–1504.

An fNIRS-Based Study on the Brain Mechanism of Symbolic and Non-symbolic Number Processing

LI Xiang-nan^{1,2}, ZHANG Li³

1. Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. School of Pharmacy, Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 230012, China;

3. School of Sociology and Psychology, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China

Abstract: This study mainly explored whether the symbolic and non-symbolic number processing are notation-dependent or notation-independent, as well as the neural mechanism of mutual conversion between symbolic and non-symbolic numbers. Using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), we monitored the oxy-hemoglobin signal changes of 30 adults performing the adaptation paradigm tasks. The fNIRS results showed that non-symbolic number processing had an activation of the right superior parietal lobe, right superior frontal gyrus and bilateral middle frontal gyrus while symbolic number processing produced an activation of the left middle frontal gyrus only, that symbolic number processing elicited a distance effect, and that the conversion of non-symbolic to symbolic number processing activated bilateral superior parietal lobe while the conversion of symbolic to non-symbolic number processing had an activation of left superior parietal lobe and bilateral superior frontal gyrus. These results support the viewpoint that the symbolic and non-symbolic number processing is notation-dependent and indicate that the neural mechanism of conversion from symbol to non-symbol number processing is different from that of conversion from non-symbol to symbol number processing.

Key words: symbolic number processing; non-symbolic number processing; notation-dependent; notation-independent; conversion mechanism

责任编辑 胡 杨

崔玉洁