

不同手指表征方式对数量表征能力的影响^{*}

宋晓蕾^{**1} 田珍珍² 杨倩¹ 张欣欣¹

(¹ 陕西师范大学心理学院; 陕西省行为与认知神经科学重点实验室, 西安, 710062)

(² 西安工程大学学生工作部, 西安, 710048)

摘要 采用距离启动范式, 考察中国文化背景下不同手指表征方式对数量表征能力的影响。实验首先验证单手表征中不同手指数量表征方式对小数字(1~5)认知表征的影响; 实验2则进一步采用中国人特有的单手表指表征, 考察其对大数字(5~9)认知表征的影响。结果表明, 小数字中出现了标准手指表征方式语义层面的位置编码, 非标准手指表征方式知觉层面总和编码的激活; 但大数字中两种手指表征方式均出现了语义层面位置编码的激活。此结果与计算模型理论一致, 说明当手指数量从少到多变化时, 标准手指表征方式为语义性的符号数量表征; 而非标准手指表征方式由知觉性的非符号向语义性符号数量表征过渡。

关键词 手指数量表征 标准手指表征 非标准手指表征 具身数量 计算模型

1 引言

数量是一种抽象概念, 数量表征能力是个体的重要的认知能力, 是特定数量的语义性在心理上的表达, 即数量在大脑中激活的过程(Cohen & Walsh, 2009), 它是个体数学学习的重要基础(Fazio, Bailey, Thompson, & Siegler, 2014)。数量表征指与特定数量相联系的心理表征, Bonny 和 Lourenco (2013) 在研究中将数量表征方式分为非符号的数量表征和符号的数量表征。非符号数量表征指用两个具体的物体来表示数量, 比如数量2可以表示为两根木棒、两个手指或两个点, 并且这种表征方式具有物种间的一致性(Nieder & Dehaene, 2009); 而符号数量表征指用符号化的事物(比如各种语言)来表示数量, 2可以表示为“二”、“two”等, 这种表征方式是人类所特有的、受文化教育影响的抽象数量表征(De Smedt, Noël, Gilmore, & Ansari, 2013)。Vergut 和 Fias (2004) 提出的计算模型(computational model)发现, 非符号数量和符号数量呈现两种不同的编码模式, 符号数量表征为位置编码, 非符号数量表征为总和编码。位置编码是直接

将数量大小映射到心理数轴上, 距离越近, 数字启动作用越明显, 这种距离启动效应是符号数量表征的特点; 而总和编码的神经元相当于一个累积器, 具有较大的接受域, 对较小的神经元输入的信号不敏感, 直到达到了阈限才会产生影响, 即大数量的激活源于小数量知觉层面的积累, 这是非符号数量编码的特点(王琦, 李红, 张丽, 陈雪梅, 2011)。

手指是儿童最先开始表征数字的工具。关于手指数量表征的方式, 主要分为两种(Di Luca, Lefèvre, & Pesenti, 2010), 一种是标准的手指表征方式, 指一定文化背景下约定俗成的手指数量表征方式, 如一只手的食指和中指伸出表示“2”; 另一种是非标准的手指表征方式, 指一种不常使用的表征方式, 如一只手的食指和小拇指伸出来表示“2”。Di Luca, Granà, Semenza, Seron 和 Pesenti (2006) 发现, 被试对手指表征的数字进行表征时, 标准的手指表征方式与非标准的相比反应明显更快, 说明手指表示的数量与符号数量之间存在空间映射关系。这也表明了标准的手指表征方式, 储存在人们的长时记忆中。也有研究发现, 不论是对于儿童还是成年人, 他们使用手指作为表征数量的工具时, 标准的手指表征方式激活了数字的语义性加工, 而非标准的手指表征方式则没有激活此加工(Di Luca

* 本研究得到国家自然科学基金面上项目(31671147)和陕西师范大学理工科中央高校课题项目(GK201703087)的资助。

** 通讯作者: 宋晓蕾。E-mail: songxiaolei@snnu.edu.cn。

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20190202

& Pesenti, 2008)。

在数量表征的研究中, 关注较多的就是使用手指来表征数量。研究表明手指表征不仅影响儿童的数字运算, 也会影响成人的简单运算 (Klein, Moeller, Willmes, Nuerk, & Domahs, 2011)。Wood 和 Fischer (2008) 的研究证明了不同的手指计数方式对数字表征产生影响, 并认为其是空间数量产生的根源。Badets 和 Pesenti (2010) 研究发现被试的手指张开复述大数字比小数字反应快, 这说明了手指的动作对数字表征有影响。具身数量的理论认为, 基于自身感知-运动经验基础上的不同手指的状态及组合方式会对数量表征产生影响 (Moeller et al., 2011)。近年来许多关于具身数量的研究也证明了身体的感觉、运动和体验对数量认知加工的影响 (胡艳蓉, 张丽, 陈敏, 2014; Badets, Boutin, & Heuer, 2015; Zhu, Zhou, Zhang, & You, 2016), 发现手指和数量在具身数量中是一种系统的、自动的、双向的和功能性的联系 (Fischer & Brugger, 2011), 身体 (如手指) 在数字的认知加工中起着非常重要的作用。但纵观以往研究, 手指是符号还是非符号, 它在数字认知加工中到底是如何进行表征的仍存在争议。

在不同的文化背景中, 人们使用手指表征数字的方式不同。西方人习惯用双手来表征数字, 而中国人习惯于用单手来表征 (宋晓蕾, 傅旭娜, 张俊婷, 游旭群, 2017)。研究证明不同文化背景下手指表征习惯的差异会影响数字认知加工 (Domahs, Moeller, Huber, Willmes, & Nuerk, 2010; Newman & Soyulu, 2014)。Domahs 等 (2010) 认为, 德国人的手指数字表征方式是以 5 为单位的, 在完成数量比较任务时, 4 vs. 6 的反应时会明显超过 2 vs. 3, 这一现象被称作“破 5 效应”。Klein 等 (2011) 在以成年人为被试的研究中也发现了此种现象。在中国文化背景下, 个体用单手就可以表征数字, 这种手指数字表征方式是否更容易被认为是一种符号化的数量表征? 本研究旨在探讨中国文化背景下人们独特的手指表征方式对数量表征能力的影响。

手指表征的数量对数量表征能力有影响, 且随着两者距离的增大反应时和错误率逐渐减小, 这种随着距离变化启动效应变化的现象为距离启动效应。本研究采用距离启动范式, 设计了两个实验, 实验 1 主要是采用 Di Luca 等 (2010) 的研究范式考察两种手指数量表征方式对单手表示的小数字 (1~5) 认知表征的影响。实验 2 则进一步考察不同手指表

征方式对双手表示的大数字 (5~9) 认知表征的影响, 以澄清中国文化背景下标准与非标准手指表征之间的区别。基于计算模型理论 (Vergut & Fias, 2004), 本研究假设标准的手指表征方式为符号数量表征, 激活的是语义层面的位置编码方式, 非标准的手指表征方式为非符号数量表征, 激活的是知觉层面的总和编码方式。

2 实验 1

实验 1 主要是采用 Di Luca 等 (2010) 的距离启动范式考察标准和非标准手指表征方式对小数字 (1~5) 表征能力的影响。

2.1 方法

2.1.1 被试

参加本实验的被试为 26 名大学生, 其中男生 11 名, 女生 15 名, 年龄 17~20 岁, 平均年龄 18.34 岁。视力或矫正视力正常, 此前均未参加过类似的实验。

2.1.2 仪器和材料

实验程序采用 E-Prime 2.0 软件进行编制, 刺激呈现在背景为黑色的 17 英寸的电脑屏幕上。被试需要进行语音反应, 并通过串口反应盒 (Serial Response Box) 和外接麦克风设备进行采集, 之后对语音反应的时间进行统计分析。

启动刺激分为两种, 标准的手指表征方式 (1~5) 和非标准的手指表征方式 (1~4)。手指表征方式都是用右手表示数量, 图片用相机拍摄, 并用作图软件处理了亮度和大小, 呈现出的手指图片为 14 x 18cm。掩蔽刺激是在手指组合图片中截取 0.5 x 0.5cm 的小块, 然后复制 50 份进行随机排列, 最后图片大小为 14 x 18cm。目标刺激为 1~5 的阿拉伯数字, 字体为白色宋体, 72 号。



图 1 两种手指表征方式

2.1.3 任务与程序

实验由主试和被试共同完成。实验程序如下: 在每个试次, 首先呈现 500ms 注视点。然后会出现一个 49ms 的掩蔽刺激, 接着呈现 83ms 的启动刺激 (标准和非标准手指表征随机呈现), 之后出现和原先相同的 49ms 掩蔽刺激。最后呈现目标刺激 (阿拉伯数字) 1500ms, 要求被试在正确而快速地



图2 实验流程

口头报告出呈现的数字。被试报告后，主试按照被试的反应按键，具体过程如下图（以启动刺激为标准手指表征为例）。正式实验之前有 18 个试次的练习，练习达标后进入正式实验。正式实验共 3 个 Block，每个 Block 有 90 个试次，Block 之间被试可以短暂休息。

本实验采用的是三因素的被试内设计，自变量是启动刺激的类型（标准的手指表征和非标准的手指表征）、目标刺激与启动刺激的距离（1、2、3）和位置（启动刺激 \geq 目标刺激和启动刺激 $<$ 目标刺

激），因变量是被试对目标数字识别的反应时和正确率。

2.2 结果与分析

实验结果中将目标刺激和启动刺激的位置分为两类，启动刺激 \geq 目标刺激和启动刺激 $<$ 目标刺激，且两种表征方式中距离和反应时的关系有所不同。在标准手指表征中包括数字 1~5，而非标准手指表征只有数字 1~4，因此在数据分析中，删除了标准手指表征中的 5。不同处理水平下的平均反应时如表 1 所示。

表 1 被试在不同手指表征启动下的平均反应时 (ms)

距离	标准手指表征		非标准手指表征	
	启动 \geq 目标	启动 $<$ 目标	启动 \geq 目标	启动 $<$ 目标
1	436.29 (49.13)	436.19 (56.05)	433.89 (47.31)	436.53 (55.49)
2	441.05 (45.46)	444.04 (53.16)	433.11 (47.45)	444.83 (57.10)
3	460.47 (54.25)	449.96 (53.11)	437.98 (56.71)	448.41 (56.84)

注：括号内的数字为标准差，下同。

以目标刺激呈现到被试语音反应的时间为被试口头报告的反应时，主试按照被试的语音反应进行按键操作来记录正确率。用 SPSS 19.0 进行数据处理，首先剔除了反应时在 200ms 以下、1000ms 以上的数据，剔除率为 2.35%。由于任务比较简单，正确率均在 99% 以上，并且主试在记录被试正确率时也可能出错，故不对正确率作进一步分析 (Di Luca et al., 2010)。对反应时进行 2 (启动刺激的类型：标准的手指表征和非标准的手指表征) \times 3 (目标刺激与启动刺激的距离：1、2、3) \times 2 (位置：启动刺激 \geq 目标刺激和启动刺激 $<$ 目标刺激) 的重复测量方差分析。结果表明，启动类型的主效应显著， $F(1, 25) = 7.37, p < .05, \eta_p^2 = .23$ ，标准手指表征方式的反应时间 ($M = 439.62\text{ms}$) 显著短于非标准手指表征方式 ($M = 444.67\text{ms}$)；距离的主效应显著， $F(1, 25) = 16.92, p < .001, \eta_p^2 = .59$ ，不同距离的平均反应时分别为： $M_1 = 435.73\text{ms}$ ， $M_2 = 440.76\text{ms}$ ， $M_3 = 449.96\text{ms}$ ；位置的主效应不显著， $F < 1$ ，说明反应时在启动刺激大于等于或小于目标刺激两种条件下并没有显著差异。

启动类型和位置的交互作用边缘显著， $F(1, 25) = 3.69, p = .07, \eta_p^2 = .13$ ；进一步简单效应分析发现，在启动数字 \geq 目标数字时，两种启动类型的差异显著， $F(1, 25) = 7.73, p = .01, \eta_p^2 = .24$ ，在启动数字 $<$ 目标数字时，两种启动类型的差异不显著， $F(1, 25) < 1$ (见图 3)。启动类型和距离的交互作用边缘显著， $F(1, 25) = 3.77, p = .051, \eta_p^2 = .24$ ；进一步简单效应分析发现，在标准手指表征中，反应时随着启动刺激与目标刺激之间距离的减少而减少， $F(1, 25) = 17.76, p < .001, \eta_p^2 = .59$ ，在非标准手指表征中，不同距离的差异仍显著，仍有类似标准手指表征的变化趋势， $F(1, 25) = 4.11, p = .05, \eta_p^2 = .25$ ，这说明手指表征方式和距离共同影响数字认知（距离与反应时的函数关系如图 3 所示）。距离和位置交互作用显著， $F(1, 25) = 5.24, p = .017, \eta_p^2 = .30$ ；进一步简单效应分析发现，在启动刺激 \geq 目标刺激时，不同距离的差异显著， $F(1, 25) = 12.90, p < .001, \eta_p^2 = .52$ ，而启动刺激 $<$ 目标刺激时，不同距离的差异也显著， $F(1, 25) = 5.36, p = .012, \eta_p^2 = .40$ 。启动类型、距离和位置三者的交互作用并未达到显

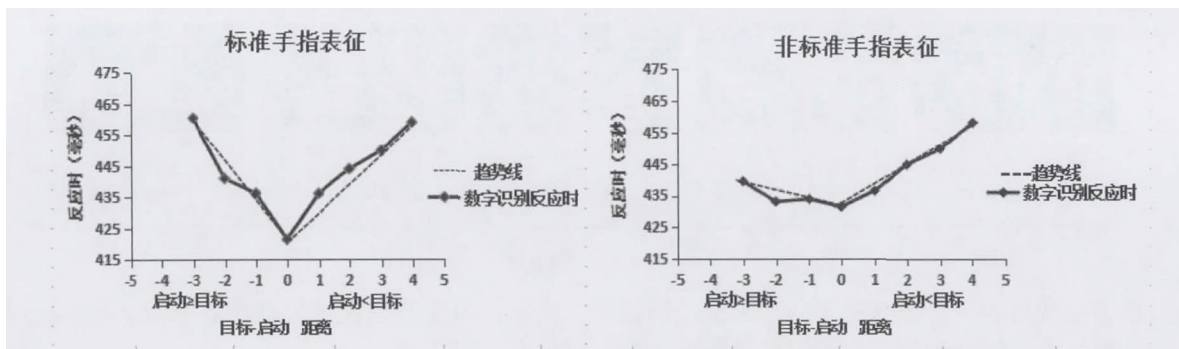


图3 平均反应时和启动-目标刺激的函数

著水平, $F(1, 25) = 2.32$, $p = .13$, $\eta_p^2 = .03$, 说明不同的手指表征方式对目标刺激和启动刺激的不同距离影响并没有显著差异。线性趋势检验发现, 标准手指表征中启动刺激 \geq 目标刺激时, $F(1, 25) = 7.42$, $p = .008$, 可认为个体表征数字的反应时随着目标刺激和启动刺激的距离的增加呈现线性变化趋势; 启动刺激 $<$ 目标刺激时, $F(1, 25) < 1$, 由图也可看出数字认知的反应时随着目标刺激和启动刺激的增加而增加。非标准手指表征中启动刺激 \geq 目标刺激和启动刺激时, $F(1, 25) = 2.69$, $p = .103$, 由图也可看出数字认知的反应时随着目标刺激和启动刺激的距离的增加而增加; 启动刺激 $<$ 目标刺激时, $F(1, 25) = 5.90$, $p = .017$, $\eta_p^2 = .40$, 可认为个体认知数字的反应时随着目标刺激和启动刺激的距离的增加呈现线性变化趋势。

2.3 讨论

实验1的结果表明, 在标准的手指表征方式下出现了位置编码的特点, 随着启动刺激和目标刺激的距离减少, 反应时逐渐减少, 出现了距离启动效应。在非标准的手指表征方式中出现了总和编码的特点, 当目标刺激小于启动刺激时, 反应时基本不随距离的变化而变化, 出现了累积过程; 当目标刺激大于启动刺激时, 反应时随距离的增加而增加, 此结果符合 Vergut 和 Fias (2004) 提出的计算模型, 也与

Di Luca 等 (2010) 的结论一致, 验证了小数字中两种手指表征方式对数量表征能力的影响。

在小数字 1~5 中, 中国人和德国人的手指表征方式是相同的, 但是对于大数字 5~9, 两种文化的手指表征方式差异较大。为了继续考察在大数字中, 手指表征方式对数量表征能力的影响, 实验2将中国人特有的标准手指表征方式和非标准手指表征作为启动刺激, 考察其对目标刺激表征的影响。

3 实验2

为了排除实验1中手指的多少和数量大小之间在知觉层面存在对应关系, 实验2采用中国人特殊的手指表征方式, 进一步从语义启动的角度考察不同手指表征方式对双手表示的大数字 (5~9) 认知表征能力的影响。

3.1 方法

3.1.1 被试

参加本实验的被试为 26 名大学生, 其中男生 7 名, 女生 19 名, 年龄 17~21 岁, 平均年龄 18.38 岁。视力或矫正视力正常, 此前均未参加过类似的实验。

3.1.2 仪器、材料和程序

在参加试验之前, 被试需要先报告自己常用的手指表征方式, 如果和中国人常用的手指表征方式不同, 则取消实验资格。中国人常用的手指表征方

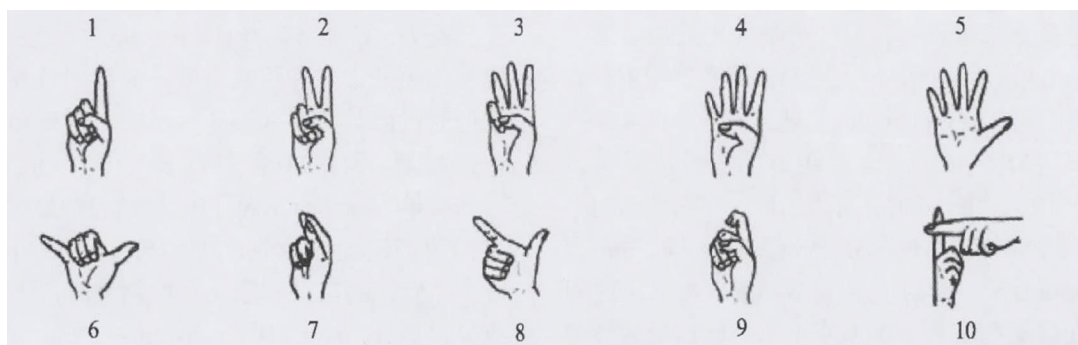


图4 中国人常用的手指表征方式

表2 被试在不同手指表征启动下的平均反应时 (ms)

距离	标准手指表征		非标准手指表征	
	启动 \geq 目标	启动 $<$ 目标	启动 \geq 目标	启动 $<$ 目标
1	462.09 (46.86)	446.38 (47.80)	457.01 (43.75)	444.23 (46.98)
2	465.35 (48.23)	455.34 (44.93)	467.38 (50.57)	456.96 (46.65)
3	482.14 (58.31)	459.04 (51.59)	474.34 (48.22)	467.41 (46.95)

式如图4所示(来源于网络)。除了启动刺激和目标刺激选取的是5~9的大数字外,实验2与实验1基本相同。为保证两种手指表征方式在知觉上的一致性,启动刺激标准手指表征用中国人习惯化的单手表征数字和拳头,非标准手指表征则使用手指数量和数字对应的表征方式。

3.2 结果与分析

与实验1数据剔除标准相同,剔除率为2.99%。不同处理水平下的平均反应时如表2所示。

对反应时进行重复测量方差分析发现,距离的主效应显著, $F(1, 25) = 15.40, p < .001, \eta_p^2 = .56$ ($M_1 = 447.94\text{ms}$; $M_2 = 454.91\text{ms}$; $M_3 = 461.74\text{ms}$) ; 位置主效应显著, $F(1, 25) = 42.78, p < .001, \eta_p^2 = .63$, (启动刺激 \geq 目标刺激: $M = 462.78\text{ms}$; 启动刺激 $<$ 目标刺激: $M = 446.95\text{ms}$), 说明大数字识别判断中,启动数字大于等于或小于目标数字两种条件对数字识别的影响不同。

距离和位置的交互作用显著, $F(1, 25) = 8.73, p = .01, \eta_p^2 = .42$; 进一步简单效应分析发现,在启动刺激 \geq 目标刺激和启动刺激 $<$ 目标刺激时,不同距离的差异均显著 $F(1, 25) = 14.95, p < .001, \eta_p^2 = .65$; $F(1, 25) = 7.54, p = .021, \eta_p^2 = .38$, 如图5所示,这说明无论启动刺激 \geq 或 $<$ 目标刺激,数字判断的反应时均表现出随两者之间距离的增大而增长的趋势,不同距离之间反应时差异显著。其它主效应及交互作用均不显著, $F_s < 1$ 。线性趋势检验发现,标准手指表征中启动刺激 \geq 目标刺激时,

$F(1, 3) = 15.19, p < .001, \eta_p^2 = .65$, 可认为个体表征数字的反应时随着目标刺激和启动刺激的距离的增加呈现线性变化趋势;启动刺激 $<$ 目标刺激时, $F(1, 25) < 1$, 由图也可看出数字表征的反应时随着目标刺激和启动刺激的增加而增加;非标准手指表征中启动刺激 \geq 目标刺激时, $F(1, 25) < 1$, 由图也可看出数字表征的反应时随着目标刺激和启动刺激的增加而增加;启动刺激 $<$ 目标刺激时, $F(1, 25) = 11.78, p < .001, \eta_p^2 = .48$, 可认为个体表征数字的反应时随着目标刺激和启动刺激的距离的增加呈现线性变化趋势。

3.3 讨论

在实验2对大数字(5~9)的表征任务中,启动刺激在两种不同的手指表征方式下均表现出位置编码的特征,并没有出现总和编码的特点,这与预先的假设不同,也与实验1的结果不同。说明对于大数字的表征,两种手指表征方式均出现了符号数量表征的特点,更多表现为语义层面的激活。

4 总讨论

手指作为身体的一部分,是一种简洁方便的计数手段,它具有直观性,是儿童早期认识数概念的主要工具。不同文化背景下手指表征的方式不同,因而对数量的表征结果也不同(Domahs et al., 2010)。本研究通过两个实验旨在探讨中国文化背景下,不同的手指表征方式如何表征数量,是符号数量表征还是非符号数量表征,及其对不同大小数

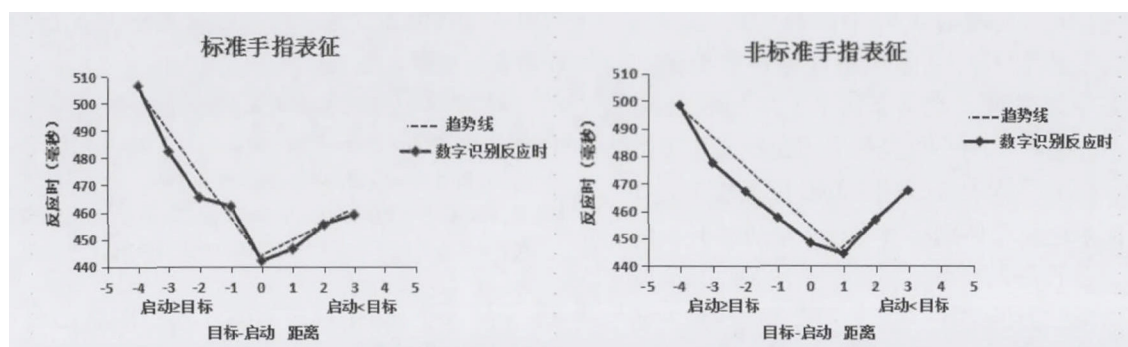


图5 平均反应时和启动-目标刺激的函数

字认知表征的影响。

本研究实验1采用距离启动范式考察标准和非标准的手指表征方式对小数字(1~5)认知表征的影响,结果发现在小数字的认知任务中,两种手指表征方式启动的是不同的数字表征模式,标准的手指表征方式启动的是位置编码,为语义性激活;非标准的手指表征方式启动的是总和编码,为知觉性激活。前者是一种符号数量表征,激活了心理数字线,它对数量的增加敏感。后者是非符号数量的表征,出现的是总和编码的特征,这种编码方式的神经元像一个累加器,当达到一定阈限才有所变化(王琦等,2011)。此结果与Di Luca等(2010)的研究结果一致,也符合前言中计算理论模型的预期,即符号数量表征为位置编码,非符号数量表征为总和编码。

为了考察中国人手指表征方式对数量表征的影响,同时排除实验1中手指和数量在知觉层面存在对应关系可能对结果的影响,实验2选取了大数字(5~9)进行类似研究,旨在考查大数字中标准和非标准手指表征是否也符合计算理论模型,结果发现不论是标准还是非标准的手指表征均启动了位置编码,反应时随着启动刺激和目标刺激的距离增加而增加。这说明对于大数字的表征,两种手指表征方式更多表现为语义层面的激活,符合计算模型中非符号数量表征的位置编码,也从另一方面支持了大数字中标准手指表征和非标准手指表征方式均为符号数量表征。可能在感知层面上,对大数字的表征比小数字的表征更复杂(Roggeman, Verguts, & Fias, 2007)。因此在大数字(5~9)中,不论是标准还是非标准的手指表征方式,均为符号数量表征,出现语义层面的激活。

此结果出现可能有以下原因。首先,研究表明数字选择神经元精细加工临界值为5,对大于5的数字的加工可能采用近似数量表征系统(Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004; Nieder & Dehaene, 2009)。标准的手指组合方式与人们手指数数的习惯相同,储存在长时记忆中,能够更快速、准确的识别,具有数字语义性,为语义加工(Di Luca et al., 2010)。小数字的标准手指表征方式是语义层面的加工,而非标准手指表征方式为知觉层面加工;而近似的表征系统,个体则将其手指表征方式转换为语义层面,因而在大数字的加工中,两种手指表征方式均为语义层面的加工。其次,脑功能成像的研究也发现,手指数量表征促进了非符号数量表征向

符号数量表征的转换(Krinzinger et al., 2011)。最后, Sato 和 Lalain (2008)研究发现,手部肌肉的诱发电位在数字1~4之间和6~9之间也是有差异的。上述结果说明了标准的手指表征方式为语义性的符号数量表征,而非标准手指表征方式由知觉性非符号数量表征向语义性符号数量表征过渡。中国文化背景下,人们是通过不同的手指弯曲程度来表征数量大小的,更多的是从语义层面理解手指和数量的对应关系,这种手指数数方式有利于激活数量的语义性,但与其它非标准手指表征方式的语义表征有何差异,还需继续加以研究。

本研究的不足之处在于,首先,本研究主要从行为实验的角度探讨手指表征方式对数字认知的影响,难以揭示其内在神经生理机制。其次在实验中只是对数字大小进行表征,而没有进行具体的数学运算,难以考察不同的手指表征方式对数学加工的深层影响。未来的研究可以从以下几方面进行突破。首先,可以探究手指数量表征对简单计算能力和心算能力的影响机制。其次,本研究采用的是手指作为启动刺激,在先前的研究中有使用圆点来启动,未来的研究可以分析这两者的脑机制,探究个体手指如何从非符号加工向符号加工进行转变。最后,儿童和成人都使用手指作为工具表征数量,以后的研究可以从发展的角度探讨两者的联系。

5 结论

中国文化背景下,在小数字(1~5)的认知表征任务中,标准的手指表征方式表现出语义层面位置编码方式的激活;非标准的手指表征方式出现为知觉层面总和编码方式的激活。而在大数字(5~9)的认知表征任务中,两种手指表征方式均出现了语义层面位置编码方式的激活。此结果与计算模型理论一致,说明当手指数量从少到多变化时,标准的手指表征方式为语义性的符号数量表征,而非标准手指表征方式由知觉性非符号数量表征向语义性符号数量表征过渡。

参考文献

- 胡艳蓉, 张丽, 陈敏. (2014). 手指的感知、运动以及数量表征对数字认知的促进作用. *心理发展与教育*, 30(3), 329-336.
- 宋晓蕾, 傅旭娜, 张俊婷, 游旭群. (2017). 反应-效应相容性范式下不同数字表征方式和身体经验对数字认知加工的影响. *心理学报*, 49(5), 602-610.
- 王琦, 李红, 张丽, 陈雪梅. (2011). 数量表征的符号特异性和符号非特异性. *心理科学进展*, 19(6), 832-842.

- Badets, A., Boutin, A., & Heuer, H. (2015). Mental representations of magnitude and order: A dissociation by sensorimotor learning. *Acta Psychologica*, 157, 164–175.
- Badets, A., & Pesenti, M. (2010). Creating number semantics through finger movement perception. *Cognition*, 115(1), 46–53.
- Bonny, J. W., & Lourenco, S. F. (2013). The approximate number system and its relation to early math achievement: Evidence from the preschool years. *Journal of Experimental Child Psychology*, 114(3), 375–388.
- Cohen, K. R., & Walsh, V. (2009). Numerical representation in the parietal lobes: Abstract or not abstract? *Behavioral and Brain Sciences*, 32(3–4), 313–328.
- De Smedt, B., Noël, M. P., Gilmore, C., & Ansari, D. (2013). How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(2), 48–55.
- Di Luca, S., Granà, A., Semenza, C., Seron, X., & Pesenti, M. (2006). Finger-digit compatibility in Arabic numeral processing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(9), 1648–1663.
- Di Luca, S., Lefèvre, N., & Pesenti, M. (2010). Place and summation coding for canonical and non-canonical finger numeral representations. *Cognition*, 117(1), 95–100.
- Di Luca, S., & Pesenti, M. (2008). Masked priming effect with canonical finger numeral configurations. *Experimental Brain Research*, 185(1), 27–39.
- Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H. C. (2010). Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, 116(2), 251–266.
- Fazio, L. K., Bailey, D. H., Thompson, C. A., & Siegler, R. S. (2014). Relations of different types of numerical magnitude representations to each other and to mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 123, 53–72.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307–314.
- Fischer, M. H., & Brugger, P. (2011). When digits help digits: Spatial-numerical associations point to finger counting as prime example of embodied cognition. *Frontiers in Psychology*, 2, 260.
- Klein, E., Moeller, K., Willmes, K., Nuerk, H. C., & Domahs, F. (2011). The influence of implicit hand-based representations on mental arithmetic. *Frontiers in Psychology*, 2, 197.
- Krinzinger, H., Koten, J. W., Horoufchin, H., Kohn, N., Arndt, D., Sahr, K., Willmes, K. (2011). The role of finger representations and saccades for number processing: An fMRI study in children. *Frontiers in Psychology*, 2, 373.
- Moeller, K., Martignon, L., Wessolowski, S., Engel, J., & Nuerk, H. C. (2011). Effects of finger counting on numerical development—the opposing views of neurocognition and mathematics education. *Frontiers in Psychology*, 2, 328.
- Newman, S. D., & Soylu, F. (2014). The impact of finger counting habits on arithmetic in adults and children. *Psychological Research*, 78(4), 549–556.
- Nieder, A., & Dehaene, S. (2009). Representation of number in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 32(1), 185–208.
- Roggeman, C., Verguts, T., & Fias, W. (2007). Priming reveals differential coding of symbolic and non-symbolic quantities. *Cognition*, 105(2), 380–394.
- Sato, M., & Lalain, M. (2008). On the relationship between handedness and hand-digit mapping in finger counting. *Cortex*, 44(4), 393–399.
- Verguts, T., & Fias, W. (2004). Representation of number in animals and humans: A neural model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(9), 1493–1504.
- Wood, G., & Fischer, M. H. (2008). Numbers, space, and action – from finger counting to the mental number line and beyond. *Cortex*, 44(4), 353–358.
- Zhu, R. J., Zhou, Y., Zhang, Y., & You, X. Q. (2016). Embodied numerosity: Sensori-motor and body movement influence spatial-numerical representation. *Advances in Psychology*, 6(10), 1108–1116.

The Influence of Different Finger Configurations on Numerical Representation

Song Xiaolei¹, Tian Zhenzhen², Yang Qian¹, Zhang Xinxin¹

(¹ School of Psychology, Shaanxi Normal University; Shaanxi Key Laboratory of Behavior and Cognitive Neuroscience, Xi'an, 710062)

(² Students' Affairs Office, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048)

Abstract Numerous studies have shown that finger counting habits have some influences on number processing performance. There are two different finger configurations: canonical and non-canonical configurations. Meanwhile, the encoding mode of two finger configurations are also different. Canonical configurations should activate a place coding representation, which automatically activate number semantics. Whereas non-canonical configurations belongs to summation coding, which activates number perceptual level. Under the Chinese culture context, the finger numeral representation has its special connotation, especially the representations of larger numbers. In order to clarify the peculiar effect that the finger numeral configurations on the number recognition in Chinese cultural context, the present study was performed. It was hypothesized that canonical configurations would be processed as symbolic stimuli; whereas non-canonical ones would be processed as non-symbolic stimuli.

Two experiments were conducted in the present study. In Experiment 1, the distance priming paradigm was adopted. The aim of this experiment was to examine the influence of different finger numeral configurations of single hand on the small number (1~5) of cognitive processing. Participants were asked to perform a voice response. The voice responses of the participants were collected through a Serial Response Box and an external microphone device. The experimental procedure was as follows: at each trial, the 500 millisecond fixation point was presented at first. Then a 49 millisecond masking stimulus appeared, followed by an 83 millisecond start-up stimulus (standard finger representation and non-standard finger representation), and continuously followed by the same 49 millisecond masking stimulus. Finally, the target stimulus (Arabic number) was presented for 1500 milliseconds, and the subject was required to verbally report the presented number as quickly as possible while ensuring correctness. In Experiment 2, as canonical configurations, Chinese finger numerical representations was used. The purpose of this experiment was to further investigate the influences of different configurations of both hands on the large number (5~9) of cognitive processing.

The results above showed that: the two types of finger configurations clearly activated two types of magnitude representations in Experiment 1. For canonical configurations, we found a strong main distance effect for both the left and right sides of the regression line, which suggested the activation of a place coding representation, and it showed semantic features. For non-canonical configurations, we found a distance effect only for the right side of the regression line when targets were larger than primes, but a flat distance effect for the left side in which targets were all equally activated, which suggested the activation of a summation coding representation, and it showed perceptual features. Therefore, it was observed that the two types of finger configurations clearly activated the same of magnitude representations in Experiment 2, which meant that the place coding representation was adopted under two different conditions, and finger numerical representation showed semantic features.

In conclusion, these results indicated that canonical numerical finger configurations showed semantic features and non-canonical numerical finger configurations transformed from perceptual level to semantic features. It is the first study to investigate the influence of the finger number configurations on the number recognition in Chinese cultural context. The results above support the embodied numerosity theory as well as the computational model.

Key words finger numerical representation, canonical numerical finger configurations, non-canonical numerical finger configurations, embodied numerosity, computational model