

# The Attentional Mechanism in Spatial Numerical Association of Response Codes: A Top-Down or Bottom-Up Based Processing

Hui Ge<sup>1</sup>, Xiaorong Cheng<sup>2</sup>, Zhao Fan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tibet Vocational Technical College, Lhasa Tibet

<sup>2</sup>School of Psychology, Central China Normal University, Wuhan Hubei

Email: [923692458@qq.com](mailto:923692458@qq.com)

Received: Sep. 28<sup>th</sup>, 2015; accepted: Oct. 19<sup>th</sup>, 2015; published: Oct. 26<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 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

The SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes) effect, in that people respond faster with the left-hand side to small numbers and with the right-hand side to large numbers, had inspired intensive studies on spatial-numerical representation and its underlying mechanisms in recent years. Deheane et al. (1993) indicated that there is a mental number line in brain, in which the smaller number located in the left side and the larger number located in the right side. The spatial position of a number is activated automatically when a number was displayed. Attention plays the non-neglectable role in SNARC effect. Top-down and bottom-up driven processing are two important thinking ways. Bottom-up driven theory holds that the spacial characteristics of number are stable. Numerical and spacial information are activated simultaneously, yet top-down driven theory holds that number have no stable spacial characteristics and SNARC effect is output of subjective strategy control according to tasks. Concerning the role of attention in SNARC, majority studies have been focusing on the spatial characteristics of numbers, e.g. whether numbers can elicit attentional shifts automatically. Several studies have found that small numbers shift spacial attention to the left, while large numbers shift spacial attention to the right (Calabria & Rossetti, 2005; Fias et al., 2001; Fischer et al., 2003). In bottom-up driven processing, posterior parietal cortex (PPC) play a key role. But when participants were told to image a right-to-left ruler before response, the SNARC effect would disappeared or even reversed (Ristic et al., 2006). The prevailing view is that number can elicit attentional shifts, but under the mediation of top-down driven processing. However, new emerging evidence contributed to this topic from a completely new angle, e.g. how attentional cues, such as encoding of spatial locations, might activate numerical representations differently. Recently the studies from endogenous and exogenous paradigms in spa-

cial attention cues, visuospatial priming cues, the special information in interoreceptor show that special attentional cues could activate numerical representations automatically: Firstly, comparing with endogenous, exogenous cue has more stable influence than endogenous cue on SNARC effect. In early processing, exogenous cue play a main role, then along with the SOAs (cue-target stimulus onset asynchrony) increased, endogenous cue take the advantage (Pan et al., 2009, 2010, 2011); Secondly, visuospatial and numerical have an interaction before selection stage, that is to say, right visuospatial priming cues activated faster response with large number, while left visuospatial priming cue activated fast response with small number in bottom-up driven way (Herrera & Macizo, 2011); In addition, body movement could be taken as special cue too. Head, eye or whole body move to left direction facilitated the generation of small number, while move to right direction facilitated the generation of large number (Hartmann et al., 2012; Loetscher et al., 2010; Loetscher et al., 2008). In terms of attentional cues activate numerical representations, a bottom-up driven processing deed exist in SNARC effect. By presenting literatures from abovementioned two perspectives of number elicit attention shift and attentional cues activate numerical representations, we try to perform a thorough review and analysis on the potential role of attention involved in SNARC via either a top-down- or a bottom-up-driven processing. Moreover, in cognitive control perspective, the interaction of top-down driven and bottom-up driven processing is discussed. The mechanism of SNARC effect may be the balance of proactive control and inactive control. Finally, some potential researches for this topic are also presented and discussed.

## Keywords

Spatial Numerical Association of Response Codes, Attention, Top-Down, Bottom-Up

# 空间 - 数字反应联合编码中的注意机制述评

葛 慧<sup>1</sup>, 程晓荣<sup>2</sup>, 范 熠<sup>2</sup>

<sup>1</sup>西藏职业技术学院, 西藏 拉萨

<sup>2</sup>华中师范大学心理学院, 湖北 武汉

Email: [923692458@qq.com](mailto:923692458@qq.com)

收稿日期: 2015年9月28日; 录用日期: 2015年10月19日; 发布日期: 2015年10月26日

## 摘 要

近几年来, SNARC (空间 - 数字反应联合编码)效应受到广泛关注, 其内在机制也得到深入探讨。本文总结数字认知引起空间注意转移和空间注意线索激活不同数字表征两个方面的文献, 试从注意的自上而下 (top-down) 和自下而上 (bottom-up) 加工理论来分析 SNARC 效应中的注意机制, 最后从认知控制的角度来讨论自下而上的加工和自上而下的加工之间的交互作用——即主动性和被动性两种认知控制的动态平衡。

## 关键词

空间 - 数字反应联合编码, 注意, 自上而下, 自下而上

## 1. 前言

数字认知和空间知觉是人类生存必不可少的能力。空间与数字之间隐含的对应关系,最早由 Dehaene, Bossini 和 Giraux 人(1993)用实验精确揭示, 并成为近期认知心理学的一个研究热点。在其最早的实验中, Dehaene 等人要求被试判断一个数字是奇数还是偶数(奇偶判断任务), 发现位于身体左侧空间的反应键与对小数字的快速反应相联系, 而位于身体右侧的反应键则与对大数字的快速反应相联系, 他们把此现象命名为 SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes, 空间 - 数字反应联合编码)效应。Dehaene 等人认为 SNARC 效应的发生是因为在大脑中存在一条心理数字线, 小数字被表征在线的左侧, 大数字被表征在线的右侧, 正是由于对数字的编码依赖于空间信息, 从而产生了存在一致或不一致关系的空间 - 数字反应编码(Dehaene et al., 1993; Nuerk, Bauer, Krummenacher, Heller, & Willmes, 2005)。数字的数量性在心理数字线上的分布也符合费希纳定律, 即数字在心理数字线上的表征位置和数字的对数值成正比, 数字越大, 数字与相邻数字之间的距离越小(Dehaene, 2003)。

空间 - 数字反应联合编码的加工过程中, 注意机制有着不可忽视的作用。在注意选择过程中可能主要受到两类因素的影响: 一类是, 当前的任务目标所决定的自上而下的目标驱动过程, 即目标导向因素(有时也称为内源性控制)。该因素强调对目标刺激的假设和期望对信息选择的影响。一般而言, 自上而下加工是非自动化的, 需要意识努力的、相对缓慢的加工方式。另一类是, 外界的信息特征所决定的自下而上的刺激驱动过程, 即刺激驱动因素(有时也称为外源性控制)。该因素强调刺激特征影响个体的信息加工, 属于自动化的、快速的加工方式(张斌, 张智君, 蔡太生, 2011; Anderson, 2009; Egeth & Yantis, 1997; Sarter, Givens, & Bruno, 2001)。自下而上的观点认为, 数字具有稳定的空间特性。在加工数字信息的时候, 其数字隐含的空间信息是一个显著特征, 当反应方式空间性与其一致的时候, 反应加快, 从而产生空间 - 数字反应联合编码效应。而自上而下的观点认为, 数字没有稳定的空间特性, 数字和空间的联合是一种根据当前任务需要而产生的主动性认知控制。通过自上而下和自下而上的注意加工方式来讨论 SNARC 效应, 可以进一步清晰空间 - 数字反应联合编码效应的内在机制, 对探讨其发生阶段也有重要价值。

## 2. 数字认知引起空间注意转移

### 2.1. 数字认知引起空间注意转移是自下而上的加工

自下而上的加工强调刺激特征影响个体的注意转移和分配。如果作为无关刺激的数字同样会引起空间注意转移, 那么就有理由认为在对抽象数字的认知加工中, 不需要意识努力, 就能自动激活其空间特性, 从而说明数字认知引起空间注意转移是自下而上的加工过程。Fias, Lauwereyns 和 Lammertyn Fias (2001)的实验检验了上述假设, 他们将数字作为无关背景刺激出现, 让被试判断置于数字之上的目标图形的方位, 结果也发现了 SNARC 效应。在另一个实验中, 被试被要求指出由字母所组成的线段的中点, 当组成线段的是阿拉伯数字 9, 或是法文“neuf”(9)时, 被试所指中点偏向右侧; 当组成线段的是阿拉伯数字 2 或是法文“deux”(2)时, 被试所指中点偏向左侧(Calabria & Rossetti, 2005)。以上研究都表明, 即使数字与目标任务无关, 其隐含的空间位置信息也会被自动激活并影响任务判断。近期的研究发现, 在序列呈现的刺激中, 数量、空间、时间三个维度的自动加工呈现一种阶梯模式。数量信息的自下而上的自动激活最为显著, 其次是空间长度信息, 而时间信息的自动激活最不显著(Dormal & Pesenti, 2013)。

### 2.2. 自上而下的认知控制可掩蔽自下而上的信息激活

虽然以上发现都说明数字信息能够引起空间注意的自动转移和分配, 并且遵循自下而上的加工原则,

然而有研究表明, SNARC 效应也受指导语的影响, 被试可以根据当前任务进行自上而下的调整。Ristic, Wright 和 Kingstone (2006)在 Fischer 等人(2003)实验范式的基础上增加了一个实验操作, 即首先让被试想象一条从右到左的心理数字线, 其他条件不变。该研究发现, 当呈现数字为大数(8, 9)时, 被试对左边刺激的识别要快于右边刺激; 当呈现数字为小数(1, 2)时, 被试对右边刺激的识别快于左边刺激。这个结果说明: 被试能够有意识的根据任务需要及时调节自己的反应; 数字的空间信息可以是一个自上而下的加工过程, 并能够主动掩蔽自下而上的信息激活。

从另外一个角度看, 不但受意识控制的、主动性的认知控制可以掩蔽自下而上的信息激活, 而且不受意识控制的、反应性的认知控制也可以掩蔽自下而上的信息激活。Pfister, Schroeder 和 Kunde 等人(2013)发现: 短暂地改变空间-数字联合编码方式, 会减弱后续数字的空间-数字反应联合编码效应。在一系列数字刺激里, 如果先前一个数字刺激的反应空间映射和 SNARC 方向不一致(如大数字按左键), 则会削弱当前数字刺激的 SNARC 效应。虽然研究者的目的是探讨空间-数字反应联合编码的灵活性, 这个研究也恰好说明了, 空间-数字反应联合编码受到反应性认知控制的影响。这种反应性认知控制也可以掩蔽由自下而上加工方式决定的自动信息激活。

### 2.3. 小结

一般认为后顶叶皮层(Posterior Parietal Cortex, PPC)主要负责空间注意的分配、转移、调控等(徐晓东, 刘昌, 2006)。Dehaene, Piazza, Pinel 和 Cohen 等人(2003)提出的数字加工的顶叶三回路理论认为: 后顶上叶(Posterior superior parietal lobule)负责空间注意调控, 是空间注意定向和数量加工共同作用的脑机制; 数字加工会激活后顶叶皮层, 这是因为数字本身含有空间特征的信息, 而且数字的这些空间信息会自动激活。Buschman 和 Miller (2007)的研究发现, 注意过程中负责自上而下加工和自下而上加工的脑区不同, 自上而下加工主要是在额叶前部皮层, 而自下而上的加工主要是后顶叶皮层。后顶叶皮层在 SNARC 中的激活表明, SNARC 效应的确存在一个自下而上的注意加工过程的。

数字认知引起空间注意的转移究竟是自上而下还是自下而上的加工? 两种观点都有各自的实验支持。综合以上实验事实, 更有可能的是, 数字认知引起空间注意的转移本就是两个加工过程的统一: 既包括自下而上的加工, 也不排斥自上而下的加工。在空间-数字反应联合编码中, 对数字进行加工的同时, 其隐含的空间信息也得到加工; 然而, 随着时间的推移, 认知控制逐步卷入, 并根据储存在工作记忆的信息, 对当前任务进行自上而下的加工, 这种加工方式逐渐占据优势。

## 3. 空间注意线索引发不同数字表征的激活

抽象的数字能够引起空间注意的转移, 反过来, 空间注意线索, 例如空间位置的变化以及依附于空间位置编码的注意线索, 能否激活不同的数字表征? 更进一步, 空间注意线索对不同数字的激活是一种自上而下的加工还是自下而上的加工? 如果空间注意线索对不同数字的激活是一种自上而下的加工, 那么空间-数字的联合可能实质上是一种认知策略。而如果空间注意线索对不同数字的激活是自下而上的加工, 那么不仅数字可能具有空间属性, 空间也可能具有数字属性。空间注意线索引发不同数字表征的激活是否和数字认知引起空间注意的转移一样, 是两种加工过程的统一? 这些命题都值得进一步探讨。

### 3.1. 注意线索影响空间-数字反应联合编码

空间-数字反应联合编码中, 注意的作用得到广泛重视(Fischer et al., 2003; Herrera & Macizo, 2011)。注意线索在空间-数字反应联合编码中起着调节作用。如, 右侧线索提示可以减弱人类视空间知觉中普遍存在的左侧视野偏差, 而中间和左侧线索则无此效应(Nicholls & McIlroy, 2010)。

国内学者刘超, 买晓琴和傅小兰(2004)从注意的内源性和外源性角度出发, 经过一系列实验发现, 内源性线索缺失对阿拉伯数字的 SNARC 几乎没有影响, 但外源性线索缺失则有显著影响作用。随后的研究者操纵了线索对目标的预测水平这一变量, 潘运等人(潘运, 全小山, 林伟民, 尚随峰, 2011; 潘运, 沈德立, 王杰, 2009)以“壹”到“玖”的汉字数字为材料, 分别探讨内源性注意条件和外源性注意条件下不同线索提示比例(80% & 50%)对汉字数字 SNARC 效应的影响。比较这两份实验结果可以发现, 内源性线索和外源性线索在 50% 的有效线索提示时, 注意和非注意条件下都有显著 SNARC 效应; 内外源注意线索仅在非注意条件和 80% 的有效线索提示时出现差异——此时, 内源性线索没有 SNARC 效应; 而外源性注意线索则有显著 SNARC 效应。以上实验都说明: 空间 - 数字反应联合编码过程中, 外源性线索比内源性线索对 SNARC 的影响更为稳定, 即自下而上的加工比自上而下的加工对 SNARC 效应的影响更为稳定。潘运、白学军和沈德立(2010)进一步通过操纵线索目标异步性(cue-target stimulus onset asynchrony, SOAs)发现: 在早期阶段外源性线索的影响大于内源性线索, 并且在较短的 SOAs 下产生最佳线索效应。综合上述文献, 在早期阶段, 空间注意线索对数字的激活作用主要是一种自下而上的、短时间内、快速发生的自动加工过程。随着时间的推移, 这种自动激活受到目标任务的影响而逐渐减弱。

### 3.2. 反应前空间位置表征影响空间 - 数字联合编码

数字的空间性暗示了视觉空间位置表征可能会影响心理数字线的构建。由此衍生出的一个重要问题是, 这种影响到底发生在早期知觉阶段还是后期反应阶段? Gevers, Ratinckx, De Baene 和 Fias (2006)认为数字大小和反应方位都涉及一个重叠维度, 即空间位置信息。因此, 数字大小加工包含一条快速的无条件线路, 即相同维度的空间位置信息; 以及另一条以任务需求为基础的慢速的有条件线路, 即数字的大小、奇偶性。如果这两条线路能在同一个反应上汇聚, 作出的反应就会加快; 相反, 如果两条线路对应于不同的反应, 加工则会延长。其中, 快速的无条件线路主要是自下而上的加工, 慢速的有条件线路主要是自上而下的加工。

根据以上理论, 假定视觉空间表征和数字所在的空间是同时被激活的, 那么在选择反应阶段之前, 或是在早期刺激呈现阶段, 空间 - 数字的交互作用已经产生, 由此可以说视觉空间表征对空间 - 数字反应联合编码的影响是一个自下而上的注意驱动过程。这一结论得到 Herrera 和 Macizo (2011)的实验支持。他们采用左右箭头作为空间启动线索, 发现前置启动也存在空间线索和数字大小的交互作用。在屏幕中央呈现左右箭头 200 ms 后, 探测数字(1、2、3、4、6、7、8、9)仍然出现在中央位置, 被试对数字的奇偶性作 GO/NO-GO 的口头报告。结果显示, 左箭头条件下, 对小数字反应快; 右箭头条件下, 对大数字反应快。这也说明了视觉空间表征和数字所在的空间位置被同时激活, 视觉空间表征对空间 - 数字反应联合编码的影响可能是一个自下而上的注意驱动过程。

### 3.3. 身体运动与内感受器的空间信息影响空间 - 数字反应联合编码

视觉空间表征对空间 - 数字反应联合编码有影响, 但不是唯一的因素。没有视觉经验的盲人被试也有 SNARC 效应(Castronovo & Seron, 2007)。在没有视觉空间表征的情况下, 身体运动也可以成为自下而上的空间线索。大量研究表明, 人类身体的感知觉都与前庭感觉系统息息相关, 这类内感受器在较早阶段参与多种感知觉的加工(Zacharias & Young, 1981)。那么, 由身体运动造成的这种内部感受器变化是否会通过调节注意资源分配的方式来影响高级的数字加工? 如果这一猜想得到证实, 那么空间注意线索对不同数字的激活源于自下而上加工的观点, 又多了来自运动认知方面的证据。

Loetscher, Schwarz, Schubiger 和 Brugger 等人(2008)首次发现了低级的感觉运动在空间 - 数字反应联合编码效应中的作用, 并从头部转动引发空间注意资源转移的角度探讨了 SNARC 码效应的变化。他

们设计了一个有趣的实验：每一个被试进行两种条件下的口头数字报告，一种是头部保持居中的基线水平条件；另一种则是头部转向左或是右，随机报告 1~30 中的任意数字。结果发现，与基线水平条件相比，当被试头部转向左侧时，报告小数字的频率远远高于基线，而转向右侧时，则没有差异。据此，实验者认为，低级的感觉运动系统会影响高级的抽象思维活动，头部的转动会促使我们对外部空间位置进行重新编码，并重新分配空间注意资源，从而激活分布在心理数字线上相对应的数字表征。除了头部转动这类大幅度动作外，眼动数据也支持空间注意影响抽象数字的认知加工。在更细微的眼动条件下，也发现了空间注意与数字生成的联系(Loetscher, Bockisch, Nicholls, & Brugger, 2010)。以上研究直观证明了空间注意和数字之间的联系，然而这些实验都依赖于主动的躯体运动或眼球运动。随后的研究者通过控制被试身体的主动运动(Fischer et al., 2003)或者进一步控制被试的注视点(Grade, Lefèvre, & Pesenti, 2013)，均发现了与 Loetscher 等人(2008)研究相吻合的 SNARC 实验效应。即，当被试向左或向下做被动运动，或者在保持注视点条件下加工向左或向下的空间注意指向线索(此时屏幕中央图片中的目光所指方向为向左或向下)时，被试都倾向于报告小数字，反之则报告大数字。这些研究表明，身体主动运动或仅有运动内部感觉的被动运动，以及空间注意指向线索都会引起空间注意的转移，继而影响空间 - 数字反应联合编码。在空间位置表征激活不同数字的过程中，低级感觉驱动具有重要作用。这种作用具有自下而上、无需意识控制的自动化特征。

### 3.4. 小结

外部空间位置编码、视觉空间注意线索以及内感受器中的空间位置信息，都会不同程度地影响 SNARC 效应。这三种心理过程对 SNARC 效应的影响可能具有共同的神经基础和注意加工机制，即与顶叶皮层激活所伴随的空间注意在外部空间和心理空间中自动进行重新分配。一方面，顶叶皮层被广泛认为是空间 - 数字共享抽象数量加工的神经基础(Chen & Verguts, 2010)，另一方面，顶叶后部神经元还负责自下而上的空间注意转移(Buschman & Miller, 2007)。前人研究表明身体运动，例如头部的转动，会自发产生顶叶皮层激活，而且空间注意会伴随转移到头部转动所指向的外部空间(Gottlieb, 2007)。Loetscher 等人(2008)的研究进一步揭示了头部转动不仅引发空间注意在外部世界的重新分配，也导致空间注意在以心理数字线为代表的心理空间上的重新分配。后者与空间位置启动和空间注意线索造成的 SNARC 效应改变的方向完全一致。这三类研究都表明：顶叶皮层在自下而上的空间注意分配与空间数字联合编码的交互作用中所起了重要的调节作用。

## 4. 认知控制与自下而上、自上而下的加工方式

前文从注意机制的角度，分别阐述了自下而上的加工和自上而下的加工在空间 - 数字反应联合编码效应中的作用。而关于 SNARC 发生机制中自上而下与自下而上两种加工机制之间的关系，研究者则从认知控制(cognitive control)的角度来加以进一步阐述。Fischer (2006)根据数字的空间表征的灵活性和个体差异，认为 SNARC 效应可能是一种根据当前任务需要、以解决问题为目的的暂时性策略，并命名为 STARK (strategic association of response codes, SNARC = STARK)。但 SNARC 效应中具体采用的是何种认知策略尚待进一步研究。认知策略的转换通常会涉及到认知控制。Braver, Gray 和 Burgess 等人(2007)认为存在两种认知控制，即主动性控制(proactive control)和反应性控制(reactive control)，主动性控制是指相对持久的、与期望有关的认知准备，是目标驱动的控制，主要受到自上而下的信息加工的影响(徐雷, 唐丹丹, 陈安涛, 2012; Braver, 2012)。比如，在实验之前加入想象任务所产生的认知控制(Ristic et al., 2006)。反应性控制则是指通过灵活运用当前信息或是检索调用先前经验来促进问题解决，是一种刺激驱动的控制，主要受到自下而上的信息输入的影响(徐雷等, 2012; Braver, 2012)。例如，改变反应键的布置方式

就能影响 SNARC 效应的产生。在同一认知任务中, 两种认知控制机制之间可能存在一个权衡的过程。

相对于主动性控制, 反应性控制的适应性更好、资源消耗更低、更利于向自动化转变, 这也成为 SNARC 效应灵活性的重要解释。研究表明, 与短暂的空间 - 数字表征联合相比, 长时记忆(例如阅读书写习惯)对 SNARC 效应的作用相对微弱。俄语-希伯来语双语被试分别阅读两种语言几分钟, 或仅是看两种语言的一个单词之后, 便会改变他们 SNARC 效应的方向(Fischer, Shaki, & Cruise, 2009; Shaki & Fischer, 2008)这表明, 短暂的空间 - 数字表征联合就已经能影响 SNARC 效应的产生(Pfister et al., 2013), 其效应甚至超越长时记忆的影响(Fischer, Mills, & Shaki, 2010)。反应性控制能够灵活运用当前的信息指导或修正行为反应。例如随机数字报告的一系列实验表明(Hartmann, Grabherr, & Mast, 2012; Loetscher et al., 2010; Loetscher et al., 2008), 随机报告数字的过程中, 被试会自动加工当前身体运动的信息(包括主动运动和被动运动), 从而促进数字的报告, 并产生 SNARC 效应。

由此可见, SNARC 效应中, 自下而上的加工和自上而下的加工发生交互作用的实质可能就是两种认知控制的动态平衡。SNARC 效应的灵活性和暂时性反映出刺激驱动的、自下而上加工的反应性控制占据优势; 而由长时记忆、阅读习惯、任务目标与期望相一致的 SNARC 效应则反映出由任务驱动的、自上而下加工的主动性控制占优势地位。由于反应性控制比主动性认知控制适应性更好、资源消耗更低、更利于向自动化转变(徐雷等, 2012), 很可能反应性控制在 SNARC 效应早期占优势, 这一假设与前文描述的“空间位置编码能够以自下而上的方式激活不同数字表征”的大多数实验事实相一致。与反应性控制相比, 由任务目标和期望决定的主动性认知控制在 SNARC 效应中的发展时程则较缓慢, 这与潘运等人(2010)所发现的内外源两种注意线索在 SNARC 时间进程上存在差异的研究结果一致。

## 5. 小结与未来研究展望

综合以上研究, 从数字认知引起空间注意转移的角度出发, 空间 - 数字反应联合编码存在自下而上的自动加工成分, 但被试能够根据实验任务进行策略性认知调整, 添加自上而下的加工成分。从空间位置编码等注意线索激活不同数字表征的角度出发, 空间 - 数字反应联合编码主要是自下而上的认知加工过程。

此外, Piazza, Mechelli, Butterworth 和 Price 等人(2002)将数字认知分为两类: 感数(subitizing)和计数(counting)。把对 1~3 个数目的加工称为感数, 并认为感数加工主要依赖于前注意, 无需意识的参与; 而对 4 以上数目的加工则称为计数, 则需要空间注意的调节。近期研究表明感数和计数在脑电成分和脑神经激活模式上都有差异(Hyde & Spelke, 2009; Vuokko, Niemivirta, & Helenius, 2012)。近年来, 主流观点认为 SNARC 具有很强的情景依赖性, 被试能够根据实验任务进行自上而下的策略性调整, 但数字认知引起空间注意自动转移的实验, 都没有将大于 4 的数字(如 7, 8, 9)和小于 4 (1, 2, 3)的数字, 即感数和计数, 区分来看。在数字引起的空间注意转移的过程中, 感数之间可能不存在差异, 因其具有高度的稳定性和自动性, 感数对空间注意的转移更多的是一个自下而上的加工过程; 反之, 在抽象程度高的计数之间则可能出现差异, 因其更多依赖于注意和意识的调控, 从而以自上而下的加工为主。因此, 未来数字认知引起空间注意转移的研究中, 应该严格区分感数与计数在机制上的潜在差异。

从空间特征的角度来看, 空间注意线索能够自动激活不同数字表征, 这些研究从侧面说明了空间性可能是数字的固有属性, 也暗示空间本可能具有数字性。Loetscher 等人(2010; 2008)和 Hartmann (2012)人的研究, 很好地说明了低级感觉会自下而上地影响高级认知加工, 然而美中不足的是, 他们都没有设计存在意识控制的实验条件, 例如让被试想象一条从右到左的数字线或钟表等不同空间构型, 因而这些研究尚不能充分说明, 空间注意转移对数字的激活是源于自上而下的加工还是自下而上的加工。空间注意除了具有方向性, 还有远近、强弱等属性, 在数字-空间联合编码中, 是否采用的是同样的加工方式,

是否在同一阶段具有同样的空间注意特性?此外,空间位置也可因参照物的改变(例如以注视点还是以身体作为参照)而变化,那么在空间注意激活数字的过程中,空间的相对位置是否具备同等的影响?这些问题在后续研究中都需要得到进一步解答。

最后,在不同的文化背景下,例如从左向右的书写文化和从右向左的书写文化中,是否也存在类似的空间注意转移导致的数字激活呢?如果两类被试的结果具有一致性,那么说明:空间对数字的影响是稳定的、跨文化差异的,也更有可能是受到某种全人类共有的、自下而上的加工机制的影响。

## 参考文献 (References)

- 刘超,买晓琴,傅小兰(2004).不同注意条件下的空间-数字反应编码联合效应. *心理学报*, 06期, 671-680.
- 潘运,白学军,沈德立(2010).内源性注意和外源性注意条件下 SOA 变化对 SNARC 效应的影响. *西南大学学报(自然科学版)*, 10期, 165-170.
- 潘运,全小山,林伟民,尚随峰(2011).外源性注意不同线索提示比例对汉字数字 SNARC 效应的影响. *贵州师范大学学报:自然科学版*, 001期, 28-33.
- 潘运,沈德立,王杰(2009).不同注意提示线索条件下汉字数字加工的 SNARC 效应. *心理与行为研究*, 1期, 21-26.
- 徐雷,唐丹丹,陈安涛(2012).主动性和反应性认知控制的权衡机制及影响因素. *心理科学进展*, 007期, 1012-1022.
- 徐晓东,刘昌(2006).数字的空间性. *心理科学进展*, 6期, 851-858.
- 张斌,张智君,蔡太生(2011).工作记忆负荷对注意捕获的影响研究. *心理科学*, 1期, 33-37.
- Anderson, J. R. (2009). *Cognitive psychology and its implications*. New York, NY: Macmillan
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends in cognitive sciences*, 16, 106-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2007). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanisms of cognitive control. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, & J. N. Towse (Eds.), *Variation in Working Memory* (pp. 76-106). New York: Oxford University Press.
- Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 315, 1860-1862.
- Calabria, M., & Rossetti, Y. (2005). Interference between number processing and line bisection: A methodology. *Neuropsychologia*, 43, 779-783. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.06.027>
- Castronovo, J., & Seron, X. (2007). Semantic numerical representation in blind subjects: The role of vision in the spatial format of the mental number line. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60, 101-119. <http://dx.doi.org/10.1080/17470210600598635>
- Chen, Q., & Verguts, T. (2010). Beyond the mental number line: A neural network model of number-space interactions. *Cognitive Psychology*, 60, 218-240. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogpsych.2010.01.001>
- Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber-Fechner law: A logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 145-147. [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00055-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00055-X)
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 371-396. <http://dx.doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20, 487-506. <http://dx.doi.org/10.1080/02643290244000239>
- Dormal, V., & Pesenti, M. (2013). Processing numerosity, length and duration in a three-dimensional Stroop-like task: Towards a gradient of processing automaticity? *Psychological Research*, 77, 116-127. <http://dx.doi.org/10.1007/s00426-012-0414-3>
- Egeth, H. E., & Yantis, S. (1997). Visual attention: Control, representation, and time course. *Annual Review of Psychology*, 48, 269-297. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.psych.48.1.269>
- Fias, W., Lauwereyns, J., & Lammertyn, J. (2001). Irrelevant digits affect feature-based attention depending on the overlap of neural circuits. *Cognitive Brain Research*, 12, 415-423. [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6410\(01\)00078-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6410(01)00078-7)
- Fischer, M. H. (2006). The future for SNARC could be stark.... *Cortex*, 42, 1066-1068. [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70218-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70218-1)
- Fischer, M. H., Castel, A. D., Dodd, M. D., & Pratt, J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature*

- Neuroscience*, 6, 555-556. <http://dx.doi.org/10.1038/nn1066>
- Fischer, M. H., Mills, R. A., & Shaki, S. (2010). How to cook a SNARC: Number placement in text rapidly changes spatial-numerical associations. *Brain and Cognition*, 72, 333-336. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2009.10.010>
- Fischer, M. H., Shaki, S., & Cruise, A. (2009). It takes just one word to quash a SNARC. *Experimental Psychology*, 56, 361-366. <http://dx.doi.org/10.1027/1618-3169.56.5.361>
- Gevers, W., Ratinckx, E., De Baene, W., & Fias, W. (2006). Further evidence that the SNARC effect is processed along a dual-route architecture. *Experimental Psychology*, 53, 58-68. <http://dx.doi.org/10.1027/1618-3169.53.1.58>
- Gottlieb, J. (2007). From thought to action: The parietal cortex as a bridge between perception, action, and cognition. *Neuron*, 53, 9-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2006.12.009>
- Grade, S., Lefèvre, N., & Pesenti, M. (2013). Influence of gaze observation on random number generation. *Experimental Psychology*, 60, 122-130. <http://dx.doi.org/10.1027/1618-3169/a000178>
- Hartmann, M., Grabherr, L., & Mast, F. W. (2012). Moving along the mental number line: Interactions between whole-body motion and numerical cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38, 1416-1427. <http://dx.doi.org/10.1037/a0026706>
- Herrera, A., & Macizo, P. (2011). When symbolic spatial cues go before numbers. *Psicológica*, 32, 1-12.
- Hyde, D. C., & Spelke, E. S. (2009). All numbers are not equal: An electrophysiological investigation of small and large number representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 1039-1053. <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.2009.21090>
- Loetscher, T., Bockisch, C. J., Nicholls, M. E., & Brugger, P. (2010). Eye position predicts what number you have in mind. *Current Biology*, 20, R264-R265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2010.01.015>
- Loetscher, T., Schwarz, U., Schubiger, M., & Brugger, P. (2008). Head turns bias the brain's internal random generator. *Current Biology*, 18, R60-R62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2007.11.015>
- Nicholls, M. E., & McIlroy, A. M. (2010). Spatial cues affect mental number line bisections. *Experimental Psychology (formerly Zeitschrift für Experimentelle Psychologie)*, 57, 315-319. <http://dx.doi.org/10.1027/1618-3169/a000037>
- Nuerk, H. C., Bauer, F., Krummenacher, J., Heller, D., & Willmes, K. (2005). The power of the mental number line: How the magnitude of unattended numbers affects performance in an Eriksen task. *Psychology Science*, 47, 34-50.
- Pfister, R., Schroeder, P. A., & Kunde, W. (2013). SNARC struggles: Instant control over spatial-numerical associations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39, 1953-1958. <http://dx.doi.org/10.1037/a0032991>
- Piazza, M., Mechelli, A., Butterworth, B., & Price, C. J. (2002). Are subitizing and counting implemented as separate or functionally overlapping processes? *Neuroimage*, 15, 435-446. <http://dx.doi.org/10.1006/nimg.2001.0980>
- Ristic, J., Wright, A., & Kingstone, A. (2006). The number line effect reflects top-down control. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 862-868. <http://dx.doi.org/10.3758/BF03194010>
- Sarter, M., Givens, B., & Bruno, J. P. (2001). The cognitive neuroscience of sustained attention: Where top-down meets bottom-up. *Brain Research Reviews*, 35, 146-160. [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0173\(01\)00044-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0173(01)00044-3)
- Shaki, S., & Fischer, M. H. (2008). Reading space into numbers—A cross-linguistic comparison of the SNARC effect. *Cognition*, 108, 590-599. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2008.04.001>
- Vuokko, E., Niemivirta, M., & Helenius, P. (2012). Cortical activation patterns during subitizing and counting. *Brain Research*, 1497, 40-52.
- Zacharias, G., & Young, L. (1981). Influence of combined visual and vestibular cues on human perception and control of horizontal rotation. *Experimental Brain Research*, 41, 159-171. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00236605>