

数形联觉—数字空间表征研究“新”取向*

张 喆 游旭群**

(陕西师范大学心理学院,西安,710062)

摘 要 数字空间表征是人类对数字进行表征的重要方式。数形联觉(number-form synesthesia)是一种数字可以有意识地引起空间知觉的独特现象,与此类似的是非联觉者中广泛存在的无意识的心理数字线(mental number line)现象。两者在行为和脑机制上存在着很多重叠,也存在着值得思考的差异。数形联觉的研究能够提供实质性的行为和脑机制数据,用以解决数字空间表征研究中出现的问题,加强对于数字空间表征的理解;也为更加全面深入地开展进一步研究提供了新的启示,成为数字空间表征研究中值得推崇的新取向。

关键词 数字空间表征 数形联觉 心理数字线 研究取向 研究进展

数字充斥着人类生活的方方面面,不仅用于表达数量上的概念,在表达空间信息时也会有数字的参与,数字经常会以空间的形式进行表征。早在1880年Galton就提出了数字与空间的联合(Galton, 1880),以空间形式呈现的数字影响例如计数、计算等数字加工过程(Ward, Sagiv, & Butterworth, 2009),对数字的加工也会影响空间注意的定向(Hubbard, Ranzini, Piazza, & Dehaene, 2009)。数字在心理表征水平的线性排列被称为心理数字线(mental number line)。近些年来对于心理数字线的大量研究发现:不仅存在水平从左向右的心理数字线,有些被试或是某些实验条件下会出现从右向左的数字空间联合(Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993),竖直方向也观察到了数字空间的联合(Ito & Hatta, 2004)。这种数字的空间特性的起源及其实质等问题还远远没有得到解决。一些拥有外显的数字空间联合的个体,即数形联觉者(number-form synesthetes)的经验对于普通非联觉者的数字空间表征的研究具有非常重要的意义。

1 心理数字线研究进展及其困境

SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes 空间数字反应编码联合)效应是证明心理数字线的典型效应,最早由Dehaene等(1993)提出,在对数字进行奇偶判断时对小数字进行左侧反应和对大数字进行右侧反应比较快,反映了从左向右的

数字空间表征。该效应是判断数字空间表征的重要指标,在众多研究中被试都表现出了稳定的SNARC效应(Wood, Willmes, Nuerk, & Fischer, 2008)。另一种常用于心理数字线研究的范式为空间线索范式(spatial cueing paradigm),最早由Fischer(2003)等采用,在进行实验时先在中央注视点呈现单个数字(1、2、8、9中的一个),要求被试对出现在左视野或右视野的靶刺激尽可能快地做出反应,当靶刺激出现的位置与数字所引起的空间注意的转移一致时,反应时会比不一致的情况下短。

由于SNARC效应和空间线索范式都是对数字空间表征的间接测量,不能完全保证在进行这些任务时所涉及的认知过程确实是数字空间表征的过程。有研究者认为SNARC效应所表现出的并非数字在空间上的线性表征,而仅仅是一种问题解决策略(Fischer, 2006);也有研究者提出了极性一致理论,认为数字量的大小和反应位置可以表征为“+”或者“-”,其一致性会影响反应时(Proctor & Cho, 2006);还有些研究者认为数字量的表征和反应表征之间有一个中介步骤对数字进行量的大小的分类(Santens & Gevers, 2008)。另外即使SNARC效应和空间线索范式真实反映出了数字的空间表征,这种数字与空间的联合的起源尚未明确,是由于读写习惯(Shaki & Fischer, 2008),还是工作记忆中任务的要求(van Dijck & Fias, 2011),还是人生来具有的一种倾向(de Hevia & Spelke, 2009)? 现有的研究者各执一词,需要更多更全面的研究来解决这些

* 本研究得到国家自然科学基金委员会与中国民航局联合资助项目(61079004)和教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目(11JZD044)的资助。

** 通讯作者:游旭群。E-mail: youxuqun@snnu.edu.cn

问题。

2 数形联觉简介

“联觉”(synesthesia)指“感觉的联合”即由一种感官刺激引起另外一些无直接关联的感官知觉的心理过程:例如字母-颜色联觉指字母的呈现可以引起颜色知觉。联觉所产生的知觉与普通的知觉所涉及的认知资源是一样的(Sagiv & Ward, 2006)。数形联觉是一种能够有意识的觉察到由数字所激活的一个特定空间位置的现象,在人群中出现的比例接近10-12%(Sagiv & Ward, 2006)。Galton(1880)最早用“视觉化数字的力量”来描述这种现象,他称数形联觉者的数字与空间联合模式为数形(number form)(Galton, 1881)。

目前为止的研究公认数形联觉者具有以下一些共同特征:首先,数形联觉是一种外显的稳定的数字空间表征:数形联觉者能够清晰的意识到自己的这种数字引起空间激活的认知过程,并且对于同一个人来说,这种数形具有很强的时间稳定性(Gertner, Henik, & Cohen Kadosh, 2009)。其次,数形联觉者的这种数字与空间联合的经验通常是从婴儿时期就持续存在的(Seron, Pesenti, Noël, Deloche, & Cornet, 1992)。另外,联觉者的数形不受意志力控制自动激活,即只要看到、听到或想到数字,联觉者就会自动化地知觉到空间中的位置(Cohen Kadosh & Henik, 2007)。最后,不仅是数字,星期、月份、字母表等顺序序列信息也会出现类似的空间表征,并且这些不同形式的空间序列联觉(spatial sequence synesthesia, SSS)倾向于在同一个人身上表现出来(Eagleman, 2009)。

3 数形联觉“新”取向的研究进展

3.1 数形联觉与心理数字线的区别

数形联觉的数形是一种外显的稳定的数字空间表征,表现为联觉者可以报告出自己的数字空间联合模式即数形,并且他们的数形在时间上很稳定(Hubbard et al., 2009);而非联觉者对于自己的数字空间表征没有清晰意识,是一种内隐的数字空间表征形式,只有通过特定的行为任务(Dehaene et al., 1993; Fischer et al., 2003)才会表现出数字与空间的交互作用。Hubbard(2009)等在研究中使用空间线索范式,联觉被试报告尽管自己清楚认识到所呈现的数字并没有包含可以预测靶刺激空间位置的信息,还是会自动化的把视觉注意转移到由数

字所激活的空间领域;而非联觉被试在该范式下的表现并不稳定(Galfano, Rusconi, & Umiltà, 2006; Price, 2009),可能是由于心理数字线极易受到心理背景和任务要求的影响(Hubbard et al., 2009)。

联觉者数形的自动化过程要强于非联觉者,数字可以自动引起空间中特定位置的激活。在数字对比较(number pair comparison)范式中,联觉者会表现出显著的刺激材料空间布局的一致性效应:刺激材料空间布局与联觉者的数形一致时(例如联觉者数形是从下向上,刺激的呈现也是小数在下大数在上)比不一致时反应要快。被试表示在判断空间布局不一致的实验材料时感觉比较困难(Jarick, Dixon, Maxwell, Nicholls, & Smilek, 2009; Tang, Ward, & Butterworth, 2008)。联觉者的数形是不受意志力控制自动激活的,即只要看到、听到或想到数字联觉者就会自动化地知觉到空间中的位置(Cohen Kadosh & Henik, 2007)。

在脑机制上,联觉者负责数字加工的脑区与负责空间加工的脑区之间的联结比较强,这种结构上的不同可能是由于基因造成的(Hubbard, Piazza, Pinel, & Dehaene, 2005)。Hubbard等(2005)在一项综述中推测,数形联觉者可能在基因水平上更容易形成位于顶叶的数字加工脑区与空间加工脑区之间的通路,这种易联通性可能是由于这些人顶叶存在丰富的随机联结,也可能是由于对于这些不同通道间的神经联系抑制作用比较弱(Cohen Kadosh & Henik, 2007)。

3.2 数形联觉与心理数字线的联系

许多其他形式的联觉例如字母-颜色或音高-颜色联觉的研究表明联觉现象所涉及的神经环路与非联觉者一样,只存在量的区别(Sagiv & Ward, 2006)。非联觉者的心理数字线形成的脑机制是位于后部顶叶的负责数字加工的脑区(IPS水平段)与负责空间加工的脑区(侧部与后部IPS和顶上小叶)在位置上的接近性(Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003)。Tang等(2008)的研究首次使用fMRI技术对数形联觉者的脑机制进行了脑成像的研究,结果表明,在对数字进行大小加工时,联觉者与非联觉者所激活的脑区没有区别;而在对数字进行顺序加工时,联觉者的后部IPS出现了更多的激活,表现出对反应的易化作用,支持了联觉者与非联觉者数字空间表征的脑机制是一致的,区别仅在于联合的强度上的假设。

近年来的很多研究也认为非联觉者在神经水平

上也存在感觉通道的联合,只是因为强度太弱而无法达到意识层面(Hubbard & Ramachandran, 2005)。有研究者提出了强联觉和弱联觉的概念,认为所有跨感觉通道的交互作用(如色彩引起情绪,通感等)都是联觉,区别只在于强与弱(Martino & Marks, 2001),由于联觉者在基因水平上更易形成跨感觉通道的联合,因此在大脑结构上表现出更多的连通性(Rouw & Scholte, 2007)。Piazza等(2006)在研究中发现他们的数形联觉被试在对数字量的信息外显加工时(如数字比较任务)时表现出从右向左的联觉数形,而在进行内隐的数字任务时(如奇偶判断)则表现出从左向右的心理数字线。联觉数形与非联觉心理数字线同时存在的证据表明在不同的数形联觉者之间,数字与空间的联合强度也有可能是不同的(Piazza et al., 2006)。因此我们认为尽管数形联觉者与非联觉者在行为实验上表现出了一定的区别,这些区别只是基于不同的意识水平,而非基于不同机制(Cohen Kadosh & Henik, 2007)。因此在数形联觉研究领域所取得的许多结果可以用于解释非联觉者数字空间表征研究中的难题。

3.3 对数字空间表征理论的贡献

数形联觉现象作为数字空间表征的一个实例,对于数字空间表征研究最突出的优势在于:联觉者对他们的数字与空间的联合是有意识的,能够清晰地用简图报告出自己的数形,并且不需要传统上用于研究数字空间表征的实验范式来间接地激活数字空间的交互作用,仅仅向其呈现数字就能够引起联觉者数形的激活(Hubbard et al., 2009)。并且联觉者与非联觉者的跨通道交互作用所涉及的认知过程是一致的,只存在意识水平与强度上的区别(Cohen Kadosh & Henik, 2007)。近些年来一些研究者意识到了数形联觉这一取向对于研究数字空间表征的意义,并且展开了一些初步的研究。尽管迄今为止以数形联觉为取向的研究还非常有限(Gertner et al., 2009; Hubbard et al., 2009; Jarick et al., 2009; Piazza et al., 2006; Sagiv & Ward, 2006; Tang et al., 2008),但这些结果对于解决数字空间表征研究中的难题提供了新的证据。

数形联觉的存在,以及非联觉者中心理数字线的普遍存在,说明数字空间表征的出现不单单是文化的影响,其可能神经基础是涉及数字加工的脑区与涉及空间加工的脑区在大脑结构上的接近性(Tang et al., 2008)。而一些数形联觉者像钟表一样的数形以及以十为单位的分界表明文化对于数字

空间表征具有重要的影响,读写习惯和任务空间要求对于心理数字线的灵活性的影响表明文化可能在非联觉者心理数字线的产生中占有较多的比重(Piazza et al., 2006)。

对于两位数的加工有两种相对立的观点:整体加工模型和平行加工模型。顾名思义,整体加工的观点认为两位数的十位和个位被知觉成一个整体(Dehaene, Dupoux, & Mehler, 1990; Zhou, Chen, Chen, & Dong, 2008);而平行加工认为人们会对十位数与个位数分别进行不同的表征(Nuerk, Weger, & Willmes, 2001)。数形联觉者从一到几百的连续数形支持了整体加工模型(Galton, 1881; Sagiv & Ward, 2006; Seron et al., 1992),而一些以十为分界的数形(Galton, 1881),以及数字-颜色联觉的研究(Galton, 1881)支持平行加工的观点。结合数形联觉和数字-颜色联觉研究的结果,两位数的表征可能是两种模型共存的混合机制,这一观点也得到了脑成像研究的支持(Liu, Wang, Corbly, Zhang, & Joseph, 2006)。

4 数形联觉研究展望及评价

未来以数形联觉为取向的研究可以从以下这些方面着手:(1)跨文化研究:对数形联觉的研究主要来自于欧洲,近两年来才逐步发展到美国,跨文化研究的数据明显非常缺乏,数形联觉的研究在国内几乎是空白,要依赖大量国际文献资料,在国内文化背景下数形联觉会表现出与西方文化背景下人口统计学的差异吗?汉语言环境会对数形联觉产生怎样的影响?是十分值得进一步探讨的问题。(2)发展研究:从发展心理学的角度来研究数形联觉的产生及发展,例如是否是由于负责某一感觉领域的皮层专门化过程没有很好的完成,导致这一皮层对其它感觉领域的刺激也做出反应(Cohen Kadosh & Henik, 2007)?(3)脑功能联结研究:关于数形联觉者的脑机制,可以进行静息态的功能联结研究,由于现有的关于联觉者的脑机制都是任务状态下的功能研究,而静息态的功能联结对于研究脑区间的交互作用是非常有力的数据。如果联觉者确实在顶叶的数字加工脑区和空间加工脑区间存在较多的联结,在大脑静息态下这种联结应该也是非常显著的。(4)联觉与能力:数形联觉属于空间序列联觉(SSS)的一种特例,空间序列联觉中的顺序材料通常是日常生活中常见并且非常熟悉的日期、月份、星期等,那么SSS联觉者是否能够更快的对其他新习得的序列材

料产生空间表征(Cohen Kadosh & Henik, 2007),联觉者的这种有意识的空间表征是否有助于更快的记忆顺序材料?联觉者是否表现出在其它能力方面(例如记忆,数学等)的优越?(5)其他形式的数字联觉:数字除了可以引起空间信息外还可以引起颜色的信息,数字-色彩联觉的研究已经为多位数加工机制提供了很好的证据(Cohen Kadosh & Henik, 2007)。

早在一个世纪之前 Galton(1880)就已经发现了联觉现象,他在 Visualized Numerals 一文中指出:“那种认为每一个健康正常人的心理必须与自己的心理一样的倾向是应当受到批判的,心理学家应当对其他人甚至是其他动物种族的心理进行研究,因为一个人的经历太有限了,而这些研究可以提供很多重要的实例”(Galton, 1881)。尽管这种理念在科学心理学尤其是实验心理学中已经被广泛的继承和发展,但联觉现象的真实可靠性在很长一段时间内并没有得到承认,对数形联觉进行系统的实验研究从近几年来才逐渐开始,近两年来数形联觉的研究使数字空间表征领域的一些问题得到了成功的解决,毫无疑问数形联觉的研究所能解决的问题超出数形联觉这一领域本身(Cohen Kadosh & Henik, 2007),是数字空间表征研究领域值得推崇的新取向。以揭示普通非联觉者的数字空间表征过程为目标,结合多种研究取向获取全面的行为和脑机制数据,是更好的理解数字空间表征这一现象,进一步发展这一研究领域的必经之路。

参考文献

- Cohen Kadosh, R., & Henik, A. (2007). Can synaesthesia research inform cognitive science? *Trends in cognitive sciences*, 11(4), 177 - 184.
- de Hevia, M. D., & Spelke, E. S. (2009). Spontaneous mapping of number and space in adults and young children. *Cognition*, 110(2), 198 - 207.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The Mental Representation of Parity and Number Magnitude. *Journal of Experimental Psychology - General*, 122(3), 371 - 396.
- Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two - digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology*, 16(3), 626 - 626.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cogn Neuropsychol*, 20(3), 487 - 506.
- Eagleman, D. M. (2009). The objectification of overlearned sequences: a new view of spatial sequence synesthesia. *Cortex*, 45(10), 1266 - 1277.
- Fischer, M. H. (2006). The future for SNARC could be stark. *Cortex*, 42(8), 1066 - 1068; discussion 1119 - 1023.
- Fischer, M. H., Castel, A. D., Dodd, M. D., & Pratt, J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 6(6), 555 - 556.
- Galfano, G., Rusconi, E., & Umiltà, C. (2006). Number magnitude orients attention, but not against one's will. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(5), 869 - 874.
- Galton, F. (1880). Visualized numerals. *Nature*, 21, 252 - 256.
- Galton, F. (1881). Visualized numerals. *Journal of the Anthropological Institute*, 10, 85 - 102.
- Gertner, L., Henik, A., & Cohen Kadosh, R. (2009). When 9 is not on the right: implications from number - form synesthesia. *Conscious Cogn*, 18(2), 366 - 374.
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nat Rev Neurosci*, 6(6), 435 - 448.
- Hubbard, E. M., & Ramachandran, V. S. (2005). Neurocognitive mechanisms of synesthesia. *Neuron*, 48(3), 509 - 520.
- Hubbard, E. M., Ranzini, M., Piazza, M., & Dehaene, S. (2009). What information is critical to elicit interference in number - form synaesthesia? *Cortex*, 45(10), 1200 - 1216.
- Ito, Y., & Hatta, T. (2004). Spatial structure of quantitative representation of numbers: Evidence from the SNARC effect. *Memory & Cognition (pre - 2011)*, 32(4), 662 - 673.
- Jarick, M., Dixon, M. J., Maxwell, E. C., Nicholls, M. E., & Smilek, D. (2009). The ups and downs (and lefts and rights) of synaesthetic number forms: validation from spatial cueing and SNARC - type tasks. *Cortex*, 45(10), 1190 - 1199.
- Liu, X., Wang, H., Corbly, C. R., Zhang, J., & Joseph, J. E. (2006). The Involvement of the Inferior Parietal Cortex in the Numerical Stroop Effect and the Distance Effect in a Two - digit Number Comparison Task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(9), 1518 - 1530.
- Martino, G., & Marks, L. E. (2001). Synesthesia: Strong and Weak. *Current Directions in Psychological Science*, 10(2), 61 - 65.
- Nuerk, H. - C., Weger, U., & Willmes, K. (2001). Decade breaks in the mental number line? Putting the tens and units back in different bins. *Cognition*, 82(1), B25 - B33.
- Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2006). Objective correlates of an unusual subjective experience: A single - case study of number - form synaesthesia. *Cogn Neuropsychol*, 23(8), 1162 - 1173.
- Price, M. C. (2009). Spatial forms and mental imagery. *Cortex*, 45(10), 1229 - 1245.
- Proctor, R. W., & Cho, Y. S. (2006). Polarity correspondence: A general principle for performance of speeded binary classification tasks. *Psychol Bull*, 132(3), 416 - 442.
- Rouw, R., & Scholte, H. S. (2007). Increased structural connectivity in grapheme - color synesthesia. *Nature Neuroscience*, 10(6), 792 - 797.
- Sagiv, N., & Ward, J. (2006). Chapter 15 Crossmodal interactions: lessons from synesthesia. In S. L. M. L. M. M. J. M. A. S. Mar-

- tinez - Conde & P. U. Tse (Eds.), *Progress in Brain Research* (Vol. Volume 155, Part B, pp. 259 - 271): Elsevier.
- Santens, S., & Gevers, W. (2008). The SNARC effect does not imply a mental number line. *Cognition*, 108(1), 263 - 270.
- Seron, X., Pesenti, M., Noël, M. - P., Deloche, G., & Cornet, J. - A. (1992). Images of numbers, or "when 98 is upper left and 6 sky blue". *Cognition*, 44(1 - 2), 159 - 196.
- Shaki, S., & Fischer, M. H. (2008). Reading space into numbers - a cross - linguistic comparison of the SNARC effect. *Cognition*, 108(2), 590 - 599.
- Tang, J., Ward, J., & Butterworth, B. (2008). Number Forms in the Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(9), 1547.
- van Dijck, J. - P., & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial - numerical associations. *Cognition*, 119(1), 114 - 119.
- Ward, J., Sagiv, N., & Butterworth, B. (2009). The impact of visuo - spatial number forms on simple arithmetic. *Cortex*, 45(10), 1261 - 1265.
- Wood, G., Willmes, K., Nuerk, H. - C., & Fischer, M. H. (2008). On the cognitive link between space and number: a meta - analysis of the SNARC effect. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 50(4), 489 - 525.
- Zhou, X., Chen, C., Chen, L., & Dong, Q. (2008). Holistic or compositional representation of two - digit numbers? Evidence from the distance, magnitude, and SNARC effects in a number - matching task. *Cognition*, 106(3), 1525 - 1536.

Number - form Synesthesia: A New Approach of Spatial Representation of Numbers

Zhang Zhe, You Xuqun

(School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an, 710062)

Abstract Spatial representation of numbers is an important way for human beings to represent numbers. There is a renowned phenomenon called "mental number line" - small numbers are represented on the left side of the mental number line and large numbers are represented on the right side of the line. Similarly, number - form synesthesia is a remarkable phenomenon, in which numbers can be perceived consciously and automatically as existing in spatial - defined locations.

There are intriguing differences and similarities both in the cognitive processes and in the mechanisms of the brain. Number - form synesthesia is a kind of explicit, involuntary number - spatial connection, which is automatically activated by numbers. While the mental number line is implicit and flexible, number - spatial connection depends on spatial demands of tasks. In the aspect of the brain mechanism, synesthetes were thought to be genetically predisposed to develop such spatial - number association through the random profusion of cortical pathways between the brain areas, which are responsible for numerical concepts and processing spatial representations. However, we assert that these differences are concealed in different levels of awareness (and not in qualitatively different mechanisms). And studies in number - form synesthesia already provided sufficient data to solve the questions of spatial representation of numbers, such as the origin of spatial representation of numbers and the representation of double - digit numbers.

The study of number - form synesthetes is bound to supply substantial behavioral data and brain mechanism data to solve the problems that exist in spatial representations of numbers. The study also contributes to reinforcing our understanding of human spatial representation of numbers. And it will provide new inspirations to further develop this field of study.

Key words spatial representation of number, number - form synesthesia, mental number line, research approach, research advances