

# 数字 - 空间联结内在机制的空间参考框架解释

陈 英<sup>1</sup>, 戴广元<sup>1</sup>, 周玉婷<sup>1</sup>, 尹月阳<sup>1</sup>, 袁 玉<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>江苏师范大学教育科学学院, 江苏 徐州

<sup>2</sup>江苏师范大学党委学生工作部, 江苏 徐州

收稿日期: 2026年3月4日; 录用日期: 2026年3月25日; 发布日期: 2026年4月9日

## 摘 要

空间 - 数字反应联合编码(Spatial-Numerical Association of Response Codes, SNARC)效应是一种左手对小数反应更快, 而右手对大数反应更快的现象。在SNARC效应内在机制的理论解释中, 空间参考框架解释更为系统全面, 其类型分为自我中心与非自我中心两类; 其维度分为水平、垂直、近远三类; 但这只是与数字信息无关的外部参考, 还应包含基于数字信息或顺序信息的内部参考框架。因此, 本文提出内部参考动态层次框架, 并将其分为三层: 第一层级是数字的顺序信息; 第二层级是数字的数量信息; 第三层级是由数字所激活的空间线索(如反应方式、言语线索、数量范围等)。根据任务要求、指导语和其他因素, 数字所激发的信息可以灵活地映射到不同的参照系上。

## 关键词

SNARC效应, 空间参考框架, 数字 - 空间联结, 内部参考动态层次框架

# The Mechanism of Spatial-Numerical Associations: Spatial Reference Frame Interpretation

Ying Chen<sup>1</sup>, Guangyuan Dai<sup>1</sup>, Yuting Zhou<sup>1</sup>, Yueyang Yin<sup>1</sup>, Yu Yuan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Education Science, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu

<sup>2</sup>Student Affairs Office of the Party Committee, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu

Received: March 4, 2026; accepted: March 25, 2026; published: April 9, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 陈英, 戴广元, 周玉婷, 尹月阳, 袁玉(2026). 数字-空间联结内在机制的空间参考框架解释. *心理学进展*, 16(4), 137-146. DOI: 10.12677/ap.2026.164183

## Abstract

The SNARC effect refers to faster reaction times for larger numbers with right-hand responses and for smaller numbers with left-hand responses. Among the theoretical explanations of the underlying mechanisms of the SNARC effect, the spatial reference frame theory offers the most systematic and comprehensive account. It categorises reference frames into two types: egocentric and non-egocentric; and into three dimensions: horizontal, vertical, and near-far. However, these represent only external reference frames unrelated to numerical information; the theory should also incorporate internal reference frames based on numerical or sequential information. Consequently, this paper proposes a dynamic hierarchical framework for internal reference, divided into three levels: the first level comprises the sequential information of numbers; the second level comprises the quantitative information of numbers; and the third level comprises the spatial cues activated by numbers (such as response patterns, verbal cues, and numerical ranges). Depending on task requirements, instructions and other factors, the information evoked by numbers can be flexibly mapped onto different reference frames.

## Keywords

SNARC Effect, Spatial Reference Frame, Spatial-Numerical Associations, Internal Reference Dynamic Hierarchical Framework

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

数字加工是人们生活中必不可少的认知功能和基本技能，在数量比较和数学运算等方面发挥着重要的作用。一直以来，人们认为数字仅具备数量属性，直到 Galton (1880) 在《Nature》上首次提出数字具有空间属性这一假设。自此，大量研究者开始关注和探索数字的空间属性，其中，空间 - 数字反应联合编码效应 (Spatial-Numerical Association of Response Codes, SNARC) 受到普遍关注。SNARC 效应最初由 Dehaene et al. (1993) 提出，具体指在数字大小判断任务和奇偶判断任务中，对于小数字材料，被试的左手反应比右手更快；对于大数字材料，被试的右手反应比左手更快。大量研究发现，SNARC 效应具有很强的灵活性。例如，研究者发现，SNARC 效应具有数量范围依赖的灵活性。Dehaene et al. (1993) 将数字分为“0~5”和“4~9”两个区间，要求被试在这两个区间内进行奇偶判断任务，结果发现：对于区间“0~5”内的数字“4”和数字“5”，被试右手反应更快；但对于区间“4~9”内的数字“4”与数字“5”，被试左手反应更快。再如，SNARC 效应具有空间参照的灵活性。Bächtold et al. (1998) 要求被试想象数字排列于直尺之上，结果发现了典型的 SNARC 效应。而当要求被试想象数字排列于钟表之上时，结果却发现了倒置的 SNARC 效应，即对于大数，左手反应更快；对于小数，右手反应更快。

针对 SNARC 效应及其灵活性，早期研究者们三种经典的理论解释：心理数字线理论 (Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993)、极性编码理论 (Proctor & Cho, 2006) 和双路径模型理论 (Gevers, Caessens, & Fias, 2005)。近期，研究者们又提出工作记忆假说 (van Dijck & Fias 2011; 邓之君, 吴慧中, 陈英和, 2017)、脑的偏侧化解释 (Felisatti, Laubrock, Shaki, & Fischer, 2020; Vallortigara, 2017; Zhou et al., 2020) 以及双阶段加工模型

(颜丽珠, 陈妍秀, 刘勋, 傅世敏, 南威治, 2022)。相比于前人提出的理论, 近年来的空间参考框架解释可以从多个方面、多种层次解释了 SNARC 效应灵活多变的原因, 为揭示数字 - 空间联结的内在机制提供一个可能的整合视角(Mourad & Leth-Steensen, 2017)。

## 2. SNARC 效应的空间参考框架

### 2.1. 空间参考框架的类型

SNARC 效应作为一种涉及空间的基本现象, 必然涉及一个潜在的空间参考系(Gevers & Lammertyn, 2005)。空间参考框架的概念最初由 Klatzky (1998)提出, 作者根据个体表征空间方式, 将空间参考框架分为自我中心参考框架(Egocentric Reference Frame, ERF)与非自我中心参考框架(Allocentric Reference Frame, ARF)。自我中心参考框架是指, 以个体自身为中心建立起来的空间结构, 根据自身位置编码客体位置; 非自我中心参考框架是指, 以外部环境作为参照物, 例如山、河流、江等, 根据环境与客体的相对位置关系对个体进行编码。

#### 2.1.1. 自我中心参考框架

为了进一步研究 SNARC 效应中的空间参考框架, 研究者们将 ERF 的操作定义为个体的反应方向(例如, 左右按键反应、眼球等)(潘运, 杨阳, 邹昌浪, 陈衍, 龙女, 2019; Shelton & Mcnamara, 2004)。研究者们发现: 个体可以利用双手、眼睛、单手手指、身体等作为 ERF, 进行空间表征。例如, SNARC 效应最初被认为是效应器的固定反应, 即左手固定的对小数反应快, 而右手固定的对大数反应。另外, 眼睛也可以作为 SNARC 效应的空间参考框架。Schwarz & Keus (2004)最早采用眼动技术, 发现了基于眼睛的 SNARC 效应, 即呈现小数时, 左侧眼球运动更快, 反之呈现大数时, 右侧眼球运动更快。据此, 研究者认为 SNARC 效应的发生是以眼睛为参照而出现的注意转移现象(Hubbard, Piazza, Pinel, Dehaene, 2005), 这一点也得到后续研究的证实。例如, 研究者采用在眼动技术发现了水平和垂直两种情况下的 SNARC 效应, 并且证实了眼睛的注意定向在 SNARC 效应中发挥着重要作用。具体来说, 眼球的注意转移运动始终嵌入在身体运动中, 并影响数字信息的处理(Felisatti, Ranzini, Blini, Lisi, & Zorzi, 2022; Salvaggio, Masson, Zénon, & Andres, 2022)。除了手、眼睛之外, 研究者提出手指也是 SNARC 效应的参考系, 他们认为日常生活中用手指计数的方式, 促使了心理数字线的形成(Fischer, 2008; Wood & Fischer, 2008)。认知神经科学研究也发现, 手指数字比较任务和数量表征所激活的脑区都与内顶皮层有着密不可分的关系, 由此可以推断两者有着类似的机制(Hubbard et al., 2005; Nieder, 2005)。上述提到的都是数字 - 空间联结与身体部分器官之间关系, 但实际上 SNARC 效应的产生也可能是基于整个身体的参考框架。Eerland et al. (2011)发现, 身体的姿势会影响个体对数量的感知, 不同身体倾斜情况会导致被试对埃菲尔铁塔的高度估计有所不同。

#### 2.1.2. 非自我中心参考框架

研究者们将 ARF 的操作定义为数字排列的方向, 即数字是水平排列还是垂直排列(潘运等, 2019)。也就是说, ARF 是以客体为中心, 空间忽视患者的相关研究证明了客体也可以作为个体的参照系。例如, 在线段分半任务中患者会忽视线段的左侧(Karnath & Rorden, 2012)。再者, 研究通过引导被试以按键、反应框等为参照标准, 来探讨 ARF (Viarouge, Hubbard, & Dehaene, 2014)。例如, Müller & Schwarz (2007)为考察 SNARC 效应的性质, 是与反应键的安排有关, 还是与手有关, 他们要求被试使用两个垂直的按钮进行反应。结果不仅发现了与手有关的 SNARC 效应, 还发现了在强调以按键为主导并且忽略手的条件下的 SNARC 效应。该结果表明客体参考也可以促使数字 - 空间的联结。事实上, Mourad & Leth-Steensen

(2017)通过操作 ERF 和 ARF 之间的关系来探讨 SNARC 效应, 结果发现, 只有二者一致的条件下, 才会产生 SNARC 效应。

## 2.2. 空间参考框架的维度

### 2.2.1. 水平方向的 SNARC 效应

在心理数字线理论的影响下, 研究者通常认为数字是一种从左到右的水平表征(Dehaene et al., 1993)。单侧忽视患者的研究结果支持了心理数字线理论。研究发现, 左侧忽视病人在线段中点划分任务中, 通常会将中点的位置, 偏右侧划分; 而右侧忽视病人则会偏左侧划分(Cavézian et al., 2007; Michel et al., 2007)。大量的研究表明, 个体的阅读书写习惯可能是心理数字线的成因(Shaki, Fischer, & Petrusic, 2009)。例如, Zebian (2005)选取阿拉伯语被试(阅读书写习惯从右到左)进行研究, 结果发现了反转的 SNARC 效应。一些研究者认为, 心理数字线的形成还可能是生物起源(de Hevia et al., 2014, 2017)。例如, Di Giorgio et al. (2019)以婴儿作为被试, 采用习惯化范式进行研究。结果发现婴儿也能形成一种特定的数量方向, 具体表现为左侧与小数量关联, 右侧与大数量关联。除心理数字线理论以外, 极性理论和双路径模型也都是以数字从左到右的水平表征为讨论基础(Gevers et al., 2005; Proctor & Cho, 2006)。在作者未特意强调的情况下, 研究者们一般会默认 SNARC 效应的研究基于水平方向。

### 2.2.2. 垂直方向的 SNARC 效应

随着研究的深入, 研究者们发现数字还存在垂直方向上的表征。例如, Ito & Hatta (2004)发现被试在奇偶判断任务中出现了垂直方向上的 SNARC 效应。具体来说, 当呈现小数时, 按“下”键的反应更快; 当呈现大数时, 按“上”键的反应更快。大量行为学研究也发现了类似的结果, 即小数与下端方向联结, 大数与上端方向联结(Gevers et al., 2006a; Schwarz & Keus, 2004)。此外, 神经学研究也发现了垂直方向上的 SNARC 效应, 当要求忽视症患者在垂直方向上进行线段划分时, 他们往往会高估中点的位置(Mihulowicz et al., 2015)。近期, Felisatti et al. (2022)采用光动力刺激(OKS)技术, 也发现了垂直方向上的 SNARC 效应。具体来说, OKS 是一种视觉运动技术, 通过该技术能够追踪眼球的运动从而观察到被试的注意朝向。那么数量大小与垂直方向的关联是如何形成的呢? Zhou et al. (2019)在 Lakoff & Johnson (1980)假说的基础上进一步提出概念隐喻理论, 该理论认为“更多的在上”这一隐喻, 是形成垂直方向上 SNARC 效应的原因。这种隐喻是从日常生活情境中习得的, 例如, 相比于高的建筑物, 矮的建筑物占据的楼层更少; 把物体层层堆积起来时, 垒积地越高数量就越多。

### 2.2.3. 近远方向的 SNARC 效应

尽管上述大量研究证明了存在垂直方向上的 SNARC 效应, 但是这些研究对于垂直的定义不够明确。最初, 研究者考察垂直轴上数字与空间关联的实验中, 垂直方向下的反应方式是通过计算机上的键盘反应(如“6”和“B”键), 按键排列方式是与桌面平行的横平面。“上端”与“下端”的按键没有按照真正的纵轴排列(Shaki & Fischer, 2012; Gevers et al., 2006a)。严格来说, 前人所定义的垂直方向, 实际上是近远的排列方式, 距离被试身体较近的按键定义为“下端”, 而距离被试身体较远的按键定义为“上端”, 并不是真正意义上的垂直方向。为了解决这个问题, 实验中要求被试通过触碰电脑屏幕来反应, 即垂直于桌面的纵轴。不同的是, 该研究并未发现大数与“上端”、小数与“下端”的联结, 作者分析认为, 垂直方向上的 SNARC 效应产生与否依赖于实验引导(Holmes & Lourenco, 2012)。随后, Hartmann et al. (2014)设计了不同于常规的键盘反应方式, 他们将反应方式设置为两个垂直分开的反应垫, 并发现了垂直方向上的 SNARC 效应: 对于大数, “上端”按键反应更快; 对于小数, “下端”按键反应更快。

上述可见, 水平、垂直、近远三个维度都存在 SNARC 效应, 但涉及垂直方向与近远方向的研究较少, 且鲜有研究共同探讨三个维度下的 SNARC 效应。Alcotti et al. (2020) 的最新研究弥补了这一空白, 作者创新设计了一个由三个正交塑料条组合而成的反应仪器, 从而能够同时探讨水平、垂直、近远这三个维度的 SNARC 效应。结果发现, 三个维度下均出现 SNARC 效应, 并且这三个 SNARC 效应是相互独立的, 即存在三条不同的、独立的心理数字线, 每个维度对应一条心理数字线, 支持数字的三维表征假说。在此基础上, Cooney et al. (2021) 进一步以儿童作为被试, 考察其在水平、垂直、近远这三种维度下是否存在 SNARC 效应。结果发现, 三个维度下均存在 SNARC 效应, 同样证明了存在三个独立的心理数字线。该结果表明, 即使在正式教育的早期阶段, 儿童也可以形成不同维度下的数字 - 空间联结。

### 3. 空间参考框架的相关理论

空间参考框架的相关理论和研究关注于个体在 SNARC 效应中的空间表征方式(自我中心参考框架、非自我中心参考框架), 这对传统 SNARC 效应的空间表征形式进行了组织和构建, 系统地解释了 SNARC 效应空间参考框架的具体形式, 但却没有解释空间参考框架对 SNARC 效应的具体影响。而 Viarouge et al. (2014) 提出的激活次级参考框架假说具有一定的解释性, 阐述了不同层级之间的激活如何影响 SNARC 效应的产生。具体而言, 研究者认为 SNARC 效应的空间参考框架由三个层级组成: 第一层级是整体的左 - 右导向; 第二层级是自我中心参照; 第三层级是非自我中心参照。通常情况下, 第一层级主导空间参考框架, 第二层级次之, 第三层级的导向作用最弱。但是, 层级之间的强弱关系并不是固定的, 在不同的实验情景中每个层级的激活程度有所不同, 因此在不同的实验任务下会观察到不同的结果。

Viarouge et al. (2014) 提出用同一种框架来研究几个参考系在 SNARC 效应中的作用, 根据实验情景的不同, 数字可以灵活地映射到不同的参考系上。这提示我们, SNARC 效应中的空间参考框架是一种参照结构, 涉及自我和非自我参考框架的仅为其中一种空间参照结构, 这种参照结构会成为 SNARC 效应的判断标准。在进行 SNARC 效应的判断时, 人脑中存在一种特定空间结构, 即“空间框架”的建立; 在不同环境中这种“空间框架”会受到不同因素的影响, 框架的不同参考系之间也会相互影响, 从而导致 SNARC 效应发生不同的变化。在这个建立“参考框架”的过程中, 由于 SNARC 效应涉及数字与空间, 那么在 SNARC 效应的空间参考框架中也存在数字和空间两方面的参考框架: 以数字属性建立起的参考框架是一种内部参考, 是根据数字自身携带的信息而形成的一种存在先后顺序的参考框架; 以空间属性所建立起的参考框架是一种外部参考, 是根据数字表征顺序与方向形成的空间参考框架, 这种参考框架的形成与数字本身携带的信息无关。

#### 3.1. 立体空间参考框架假说

结合前文所述, 三个维度下的 SNARC 效应是与空间相关的空间参考框架, 是一种外部参考, 与数字本身所携带信息无关。基于上述参考框架维度的相关研究, 本文提出三维的立体空间参考框架假说。在 SNARC 效应以往的研究中, 未界定清晰 SNARC 效应来自于数字本身还是数字的外部排列方式, 数字的数量信息似乎未在空间参考框架中发挥其作用。在前人研究中, 数字以从左到右、从下到上或从近到远, 或由小到大的方式依次呈现(或想象这样一种数字排列方式), 以此引导被试产生水平轴、垂直轴或近远轴上的 SNARC 效应(Alcotti et al., 2020; Mourad & Leth-Steensen, 2017)。虽然相比奇偶判断任务, 数字大小判断任务能够更好地激活数字的数量信息(Fischer & Shaki, 2014; Gevers, Verguts, Reynvoet, Caessens, & Fias, 2006b), 但是并未排除外部排列顺序在其中起主导作用的可能性。另外, 排列顺序在三个维度下均存在, 这样在人脑中就形成了一个立体的、完整的框架。我们把这个框架称为“心理数字体”, 即从最初的心理数字线到心理数字图, 最后形成心理数字体这一空间参考框架。

综上所述,在这些研究中,数字可能仅作为符号信息,表示序列中的某个位置。换句话说,如果把数字换成其他刺激也会得到相似的研究结果(如英文字母、希腊字母),在未保证数量信息被激活和外部排列顺序的影响的情况下,SNARC效应的形成可能是数字顺序排列与空间关联而形成的结果,并非基于数字-空间联结进行探究,可见在这类研究中,心理数字体的空间参考框架或许才是SNARC效应产生的内在机制。

### 3.2. 内部参考动态层次框架

虽然激活次级参考框架假说与立体空间参考框架假说均对SNARC效应进行了解释,但它们更多地从刺激外的属性进行解释,并没有涉及SNARC效应的刺激物数字本身的信息(如顺序信息与数量信息),即内部参考的空间参考框架。一直以来,有关于SNARC效应是源于数量信息还是顺序信息存在大量争论,而这两者都是由刺激物数字本身所激发的。顺序信息形成的是一种左右导向,对应于空间参考框架中的全局左右导向。而数量信息来源于心理数字线,是一种存在于人头脑中的数量表征,对应于空间参考框架中的自我中心参考框架。基于此,本文将在激活次级参考框架假说的基础上提出一种新的空间框架解释:内部参考动态层次框架,以便更全面地解释SNARC效应的内在发生机制。我们认为,数字-空间联结的第一层级是数字的顺序信息,它属于空间内部参考动态层次框架中的全局导向层级。在一般情况下,数字的顺序信息会被优先激活。第二层级是数字的数量信息。第三层级是由数字所激活的空间线索(如反应方式、言语线索、数量范围等)。三个层次之间的关系具有三个基本规律:

第一,相比于第二层级的数量信息,第一层级的顺序信息会被优先激活。相关证据来自于两个方面:首先,当刺激本身不具有数量信息时,刺激的顺序信息也能激活空间表征,并建立前后与左右顺序的联结(Zhou et al., 2019; Guida et al., 2016; van Dijck, Fias, 2011)。例如, Gevers et al. (2003)和 Price & Mentzoni (2008)使用字母、月份和星期, Rusconi et al. (2006)和 Prpic et al. (2016)使用音调, 杨金桥, 张奇(2010)和 定险峰等(2010)分别采用希腊字母和俄文作为实验材料,均发现了顺序-空间联结。其次,相关研究发现,相比于长时记忆的SNARC效应,基于工作记忆的序列位置效应会被优先激活(van Dijck & Fias, 2011)。例如,在 van Dijck & Fias (2011)的实验中只发现了工作记忆中的序列位置效应而未发现SNARC效应。这说明在数量信息和顺序信息同时存在的条件下,首先激活的是工作记忆中的顺序信息,此时长时记忆中的数量信息并未起到主导作用。

第二,当第二层级与第一层级在方向上一致时,会促使数字-空间联结的产生;而当第二层级与第一层级在方向上不一致时,会产生相互抵消从而使得数字-空间联结减弱甚至消失。相关研究结果支持该假说。例如, Lindemann et al. (2008)采用不同数字组合方式的三种序列,即升序(如2-3-4)、降序(如4-3-2)和无序(如4-2-3),并要求被试在记住这三种序列前提下,在记忆保持期间进行奇偶判断任务。结果发现:在升序与无序排列条件下出现了SNARC效应,而降序条件下并未发现SNARC效应。廖虹(2020)根据数量信息与顺序信息的关系,分为一致条件(小数在前,大数在后)和不一致条件(小数在后,大数在前)。结果发现:当一致与不一致的比例为3:1和1:1时,SNARC效应和序列位置效应均存在,而当二者的比例为1:3时,两种效应均不存在。本文认为,升序条件下(或一致条件)出现SNARC效应,可能由于序列位置效应与心理数字线的重叠导致的。无序条件下(或不一致条件1:1或3:1)的SNARC效应,可能是因为被试将这种无序条件下的数字表征,看作是三个独立的数字。数字之间没有顺序上的关联,因此只激活了数量信息而并未激活顺序信息。而在降序条件下(不一致条件,1:3),数量信息和顺序信息均得到同等程度的激活,两者发生冲突而相互抵消,因而未产生SNARC效应。

第三,与次级激活理论不同,本文认为第三层级的导向作用并不是最弱的,在特定情景下,它的激活会成为主导层级,并且不受其他两个层级的影响。例如,研究者普遍发现:言语线索(在屏幕左右两侧

呈现“左或 left”和“右或 right”)对数字-空间联结产生影响(Imbo et al., 2012; Proctor & Cho, 2006)。再者,如前文所述,数量范围的变化也会影响 SNARC 效应,即数量范围可以摆脱数量信息的限制,建立数字-空间联结(Dehaene et al., 1993)。

## 4. 总结与展望

### 4.1. 三维下的空间参考框架研究

SNARC 效应不仅存在水平、垂直这两个表征维度,还存在第三维的近远表征方向,那么空间参考框架的研究也应是基于三维的。在空间参考框架的研究中,自我中心参考是通过手水平或垂直排列的方式激活,而非自我中心参考通过数字的水平或垂直排列来激活的。前人研究大多是通过两者的交叉组合来探讨空间参考框架,并且只涉及了水平和垂直两个维度(潘运等, 2019; Mourad & Leth-Steensen, 2017)。因此,在发现了独立于垂直维度的第三个维度近远之后(Aleotti et al., 2020; Cooney et al., 2021),空间参考框架的研究就不应局限于水平和垂直两个维度,还应把近远这个维度涵括进空间参考框架内进行系统的研究。然而,当前未有研究同时考察三个维度共同作用下的空间参考框架,对该问题的考察能够帮助我们更好地理解 SNARC 效应的内在机制,亟需研究者进一步考察和探究。

### 4.2. 内部参考动态层次框架的深入探讨

内部参考动态层次框架的提出为 SNARC 效应提供了一个基于数字的组织构架,根据任务要求、指导语和其他因素,数字所激发的信息可以灵活地映射到不同的参照系上。以往研究通常将数量与顺序信息分离开来,认为 SNARC 效应的内在发生机制仅来源于其中一种信息。与以往观点不同,内部参考动态层次框架从数字所具备的特性出发,将数量信息、顺序信息以及数字所激发的空间线索三者结合在一起,灵活地解释其内在机制。这种解释承认这三种因素同时影响着 SNARC 效应,并且它们是动态的,有着不同层次,可以更好地解释 SNARC 效应的复杂与多变。但是对于数字所激发的信息,可能不仅存在上述所提及的三种,还有其他未被发现的信息影响着 SNARC 效应,内部参考动态层次框架可能存在更多的层级,组织构架更加复杂,需要研究者进行后续的探索。

### 4.3. 空间参考框架研究的拓展

在以往的研究中,SNARC 效应的空间参考框架以 Shelton & Mcnamara (2004)所提的空间参考框架操作定义为准,进行自我与非自我空间参考框架下的研究(潘运等, 2019; Mourad & Leth-Steensen, 2017),而 Viarouge et al. (2014)提出的激活次级参照框架理论明确了 SNARC 效应中的空间参考框架不局限于自我与非自我中心参考框架,涉及的范围更广,并且这些特定的空间参考框架也会在不同的情景中受到不同程度影响。这或许就是 SNARC 效应具有灵活性的重要原因。根据现有研究可以发现,具有灵活性的 SNARC 效应导致当前研究者难以用一种简单理论解释 SNARC 效应产生的内在机制,为此本文提出外部参考的三维立体空间参考框架和内部参考的动态层次框架以便更好地解释其内在机制。在未来的研究中,研究者还可以发现更多不同类型的空间参考框架,除了以往解释 SNARC 效应的经典理论外,空间参考框架这种强大的组织构架可以更全面地解释 SNARC 效应。

## 基金项目

项目代码: 9210920106; 项目名称: 博士学位教师科研支持 19XFRX029 项目经费。

## 参考文献

邓之君, 吴慧中, 陈英和(2017). 数字空间联结的工作记忆机制. *心理科学进展*, 25(9), 1492-1502.

- 定险峰, 靖桂芳, 徐成(2010). SNARC 效应起源的实验研究. *心理科学*, 33(5), 1258-1261.
- 廖虹(2020). *数字的两种位置信息对SNARC效应和序列位置效应的影响*. 硕士学位论文, 南昌: 江西师范大学.
- 潘运, 杨阳, 邹昌浪, 陈衍, 龙女(2019). 基于主体和客体的空间参考框架对数字-空间联结的影响. *心理与行为研究*, 17(5), 613-619.
- 颜丽珠, 陈妍秀, 刘勋, 傅世敏, 南威治(2022). 数字空间联结的灵活性及其内在机制. *心理科学进展*, 30(1), 51-64.
- 杨金桥, 张奇(2010). 希腊字母不同学习程度的 SNARC 效应. *辽宁师范大学学报(社会科学版)*, 33(1), 54-58.
- Aleotti, S., Di Girolamo, F., Massaccesi, S., & Priftis, K. (2020). Numbers around Descartes: A Preregistered Study on the Three-Dimensional SNARC Effect. *Cognition*, 195, Article ID: 104111. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104111>
- Bächtold, D., Baumüller, M., & Brugger, P. (1998). Stimulus-Response Compatibility in Representational Space. *Neuropsychologia*, 36, 731-735. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(98\)00002-5](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(98)00002-5)
- Cavézian, C., Rossetti, Y., Danckert, J., d'Amato, T., Dalery, J., & Saoud, M. (2007). Exaggerated Leftward Bias in the Mental Number Line of Patients with Schizophrenia. *Brain and Cognition*, 63, 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.07.007>
- Cooney, S. M., Holmes, C. A., & Newell, F. N. (2021). Children's Spatial-Numerical Associations on Horizontal, Vertical, and Sagittal Axes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 209, Article ID: 105169. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105169>
- de Hevia, M. D., Izard, V., Coubart, A., Spelke, E. S., & Streri, A. (2014). Representations of Space, Time, and Number in Neonates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 4809-4813. <https://doi.org/10.1073/pnas.1323628111>
- de Hevia, M. D., Veggiotti, L., Streri, A., & Bonn, C. D. (2017). At Birth, Humans Associate “Few” with Left and “Many” with Right. *Current Biology*, 27, 3879-3884.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.11.024>
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The Mental Representation of Parity and Number Magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 371-396. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>
- Di Giorgio, E., Lunghi, M., Rugani, R., Regolin, L., Dalla Barba, B., Vallortigara, G. et al. (2019). A Mental Number Line in Human Newborns. *Developmental Science*, 22, e12801. <https://doi.org/10.1111/desc.12801>
- Eerland, A., Guadalupe, T. M., & Zwaan, R. A. (2011). Leaning to the Left Makes the Eiffel Tower Seem Smaller. *Psychological Science*, 22, 1511-1514. <https://doi.org/10.1177/0956797611420731>
- Felisatti, A., Laubrock, J., Shaki, S., & Fischer, M. H. (2020). A Biological Foundation for Spatial-Numerical Associations: The Brain's Asymmetric Frequency Tuning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1477, 44-53. <https://doi.org/10.1111/nyas.14418>
- Felisatti, A., Ranzini, M., Blini, E., Lisi, M., & Zorzi, M. (2022). Effects of Attentional Shifts along the Vertical Axis on Number Processing: An Eye-Tracking Study with Optokinetic Stimulation. *Cognition*, 221, Article ID: 104991. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104991>
- Fischer, M. H. (2008). Finger Counting Habits Modulate Spatial-Numerical Associations. *Brain and Cognition*, 72, 333-336.
- Fischer, M. H., & Shaki, S. (2014). Spatial Associations in Numerical Cognition—From Single Digits to Arithmetic. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67, 1461-1483. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.927515>
- Klatzky, R. L. (1998). Allocentric and Egocentric Spatial Representations: Definitions, Distinctions, and Interconnections. In C. Freksa, C. Habel, & K. F. Wender (Eds.), *Spatial Cognition: An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge* (Vol. 1, pp. 1-18), Springer.
- Galton, F. (1880). Visualised Numerals. *Nature*, 21, 252-256. <https://doi.org/10.1038/021252a0>
- Gevers, W., & Lammertyn, J. (2005). The Hunt for SNARC. *Psychology Science*, 47, 10-21.
- Gevers, W., Caessens, B., & Fias, W. (2005). Towards a Common Processing Architecture Underlying Simon and SNARC Effects. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17, 659-673. <https://doi.org/10.1080/09541440540000112>
- Gevers, W., Lammertyn, J., Notebaert, W., Verguts, T., & Fias, W. (2006a). Automatic Response Activation of Implicit Spatial Information: Evidence from the SNARC Effect. *Acta Psychologica*, 122, 221-233. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.11.004>
- Gevers, W., Reynvoet, B., & Fias, W. (2003). The Mental Representation of Ordinal Sequences Is Spatially Organized. *Cognition*, 87, B87-B95. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(02\)00234-2](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(02)00234-2)
- Gevers, W., Verguts, T., Reynvoet, B., Caessens, B., & Fias, W. (2006b). Numbers and Space: A Computational Model of the SNARC Effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 32-44. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.1.32>
- Guida, A., Leroux, A., Lavielle-Guida, M., & Noël, Y. (2016). A SPOARC in the Dark: Spatialization in Verbal Immediate Memory. *Cognitive Science*, 40, 2108-2121. <https://doi.org/10.1111/cogs.12316>

- Hartmann, M., Gashaj, V., Stahnke, A., & Mast, F. W. (2014). There Is More than “More Is Up”: Hand and Foot Responses Reverse the Vertical Association of Number Magnitudes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*, 1401-1414. <https://doi.org/10.1037/a0036686>
- Holmes, K. J., & Lourenco, S. F. (2012). Orienting Numbers in Mental Space: Horizontal Organization Trumps Vertical. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *65*, 1044-1051. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.685079>
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between Number and Space in Parietal Cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*, 435-448. <https://doi.org/10.1038/nrn1684>
- Imbo, I., Brauwer, J. D., Fias, W., & Gevers, W. (2012). The Development of the SNARC Effect: Evidence for Early Verbal Coding. *Journal of Experimental Child Psychology*, *111*, 671-680. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.09.002>
- Ito, Y., & Hatta, T. (2004). Spatial Structure of Quantitative Representation of Numbers: Evidence from the SNARC Effect. *Memory & Cognition*, *32*, 662-673. <https://doi.org/10.3758/bf03195857>
- Karnath, H., & Rorden, C. (2012). The Anatomy of Spatial Neglect. *Neuropsychologia*, *50*, 1010-1017. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.06.027>
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). The Metaphorical Structure of the Human Conceptual System. *Cognitive Science*, *4*, 195-208. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog0402\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog0402_4)
- Lindemann, O., Abolafia, J. M., Pratt, J., & Bekkering, H. (2008). Short Article: Coding Strategies in Number Space: Memory Requirements Influence Spatial-Numerical Associations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*, 515-524. <https://doi.org/10.1080/17470210701728677>
- Michel, C., Cavezian, C., d'Amato, T., Dalery, J., Rode, G., Saoud, M. et al. (2007). Pseudoneglect in Schizophrenia: A Line Bisection Study with Cueing. *Cognitive Neuropsychiatry*, *12*, 222-234. <https://doi.org/10.1080/13546800601033266>
- Mihulowicz, U., Klein, E., Nuerk, H., Willmes, K., & Karnath, H. (2015). Spatial Displacement of Numbers on a Vertical Number Line in Spatial Neglect. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, Article 240. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00240>
- Mourad, A., & Leth-Steensen, C. (2017). Spatial Reference Frames and SNARC. *Journal of Cognitive Psychology*, *29*, 113-128. <https://doi.org/10.1080/20445911.2016.1249483>
- Müller, D., & Schwarz, W. (2007). Is There an Internal Association of Numbers to Hands? The Task Set Influences the Nature of the SNARC Effect. *Memory & Cognition*, *35*, 1151-1161. <https://doi.org/10.3758/bf03193485>
- Nieder, A. (2005). Counting on Neurons: The Neurobiology of Numerical Competence. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*, 177-190. <https://doi.org/10.1038/nrn1626>
- Price, M. C., & Mentzoni, R. A. (2008). Where Is January? The Month-SNARC Effect in Sequence-Form Synaesthetes. *Cortex*, *44*, 890-907. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2006.10.003>
- Proctor, R. W., & Cho, Y. S. (2006). Polarity Correspondence: A General Principle for Performance of Speeded Binary Classification Tasks. *Psychological Bulletin*, *132*, 416-442. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.416>
- Prpic, V., Fumarola, A., De Tommaso, M., Luccio, R., Murgia, M., & Agostini, T. (2016). Separate Mechanisms for Magnitude and Order Processing in the Spatial-Numerical Association of Response Codes (SNARC) Effect: The Strange Case of Musical Note Values. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *42*, 1241-1251. <https://doi.org/10.1037/xhp0000217>
- Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B., Umiltà, C., & Butterworth, B. (2006). Spatial Representation of Pitch Height: The SMARC Effect. *Cognition*, *99*, 113-129. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.01.004>
- Salvaggio, S., Masson, N., Zénon, A., & Andres, M. (2022). The Predictive Role of Eye Movements in Mental Arithmetic. *Experimental Brain Research*, *240*, 1331-1340. <https://doi.org/10.1007/s00221-022-06329-3>
- Schwarz, W., & Keus, I. M. (2004). Moving the Eyes along the Mental Number Line: Comparing SNARC Effects with Saccadic and Manual Responses. *Perception & Psychophysics*, *66*, 651-664. <https://doi.org/10.3758/bf03194909>
- Shaki, S., & Fischer, M. H. (2012). Multiple Spatial Mappings in Numerical Cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *38*, 804-809. <https://doi.org/10.1037/a0027562>
- Shaki, S., Fischer, M. H., & Petrusic, W. M. (2009). Reading Habits for Both Words and Numbers Contribute to the SNARC Effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*, 328-331. <https://doi.org/10.3758/pbr.16.2.328>
- Shelton, A. L., & McNamara, T. P. (2004). Orientation and Perspective Dependence in Route and Survey Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *30*, 158-170. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.1.158>
- Vallortigara, G. (2017). Comparative Cognition of Number and Space: The Case of Geometry and of the Mental Number Line. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *373*, 20170120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0120>
- van Dijck, J., & Fias, W. (2011). A Working Memory Account for Spatial-Numerical Associations. *Cognition*, *119*, 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.12.013>

- Viarouge, A., Hubbard, E. M., & Dehaene, S. (2014). The Organization of Spatial Reference Frames Involved in the SNARC Effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*, 1484-1499. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.897358>
- Wood, G., & Fischer, M. (2008). Numbers, Space, and Action—From Finger Counting to the Mental Number Line and Beyond. *Cortex*, *44*, 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.01.002>
- Zebian, S. (2005). Linkages between Number Concepts, Spatial Thinking, and Directionality of Writing: The SNARC Effect and the REVERSE SNARC Effect in English and Arabic Monoliterates, Biliterates, and Illiterate Arabic Speakers. *Journal of Cognition and Culture*, *5*, 165-190. <https://doi.org/10.1163/1568537054068660>
- Zhou, D., Luo, J., Yi, Z., Li, Y., Yang, S., Verguts, T. et al. (2020). The Hand-Lateralization of Spatial Associations in Working Memory and Long-Term Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *73*, 1150-1161. <https://doi.org/10.1177/1747021819899533>
- Zhou, D., Zhong, H., Dong, W., Li, M., Verguts, T., & Chen, Q. (2019). The Metaphoric Nature of the Ordinal Position Effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *72*, 2121-2129. <https://doi.org/10.1177/1747021819832860>