

# 数字和非数字提示线索对SNARC效应的影响

龚孝侠

济南大学教育与心理科学学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年3月5日; 录用日期: 2024年4月15日; 发布日期: 2024年4月25日

## 摘要

SNARC效应是指数字在促进空间反应时的差异, 表现为个体对小数左侧的空间反应更快, 而对大数的右侧空间反应更快。本研究以数字和时间单位作为刺激材料, 通过数字大小判断任务探讨了数字和非数字线索对SNARC效应的影响。研究结果显示, 数字线索的空间表征主要取决于个体对长时记忆中存储的数字顺序空间表征的依赖, 从而产生SNARC效应。而时间单位作为非数字线索, 在心理空间表征方面更大程度上受到个体当前言语工作记忆的影响, 其信息加工模式更为灵活, 不仅仅依赖于长时记忆中存储的数字顺序。这些发现揭示了空间-数字的反应编码联合效应受文化经验和工作记忆的共同影响, 从而导致特定的反应模式。

## 关键词

SNARC效应, 数字, 时间单位, 心理数字线, 工作记忆假说

# The Impact of Numerical and Non-Numerical Cueing on the SNARC Effect

Xiaoxia Gong

School of Education and Psychology, University of Jinan, Jinan Shandong

Received: Mar. 5<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 15<sup>th</sup>, 2024; published: Apr. 25<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The SNARC effect refers to the difference in spatial response facilitation for numbers, manifested by individuals responding faster to the left for small numbers and to the right for large numbers. This study investigates the influence of numerical and temporal units as cues on the SNARC effect through a number size judgment task. The results reveal that the spatial representation of numerical cues primarily depends on individuals' reliance on the spatial representation of number sequence stored in long-term memory, thereby eliciting the SNARC effect. In contrast, temporal

units as non-numerical cues are more greatly influenced by individuals' current verbal working memory in psychological spatial representation, exhibiting a more flexible information processing pattern that does not solely rely on the stored number sequence in long-term memory. These findings elucidate the joint influence of cultural experience and working memory on the spatial-numerical response encoding, leading to specific response patterns.

## Keywords

SNARC Effect, Numbers, Temporal Units, Mental Number Line, Working Memory Hypothesis

Copyright © 2024 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

一个多世纪以前, Galton (1880)提出了利用空间位置来心理表征数字的可能性。Dehaene 等人(1993)在进行奇偶判断任务时,首次观察到了空间-数字反应编码联合效应(SNARC 效应)。在这个任务中,被试需要判断中央呈现的阿拉伯数字是奇数还是偶数,并做出相应的按键反应。研究结果显示,个体对左侧呈现的小数字的反应速度比对右侧呈现的小数字更快,而对右侧呈现的大数字的反应速度比对左侧呈现的大数字更快。此后,大量的行为、神经心理学和脑成像的研究支持了数字与空间认知表征之间的联系,并在灵长类动物的研究中得到了证实(Fischer & Shaki, 2018; Shaki et al., 2018; Walsh, 2003)。同时,这种效应不仅存在于数字领域,非数字领域也得到了广泛的研究和支持。时间单位作为一个重要的时间知觉的顺序加工刺激符号,已有研究发现,中国时间单位作为数字信息与心理空间存在一定的关系。研究表明,尽管中国日期格式编码方式是大日期在前而小日期在后(例如 2015 年 8 月 27 日),但表征小的时间单位(如分、秒、时)的反应更快是左手,而表征大时间单位(如周、月、年)的反应更快是右手。这表明时间单位作为非数字的序列信息具有空间偏向。除了时间单位,其他更为抽象的概念,如角度大小(Fumarola et al., 2016)、图像表面的物理大小(Prpic et al., 2021)、亮度(Ren et al., 2011)、响度(Hartmann & Mast, 2017)以及情绪大小等(Fantoni et al., 2019; Holmes & Lourenco, 2012),也都表现出了 SNARC 效应。这些研究结果表明,在处理数字和非数字的序列信息时,人们会表现出一种空间偏向,显示了 SNARC 效应的灵活性和普遍性。目前,关于 SNARC 效应的研究较多集中在单一数字特性,少有研究探讨了其他非数字信息提示线索与数字同时呈现对 SNARC 效应的影响。那么,同时具有空间属性的非数字提示线索与数字随机混合呈现如何影响人们心理空间表征?

根据心理数字线假说(Mental Number Line, MNL),数字在人类的心理中以从左向右的空间方式进行响应,这受到文化经验(如阅读和写作习惯)的影响(Aleotti et al., 2023; Bulf et al., 2022)。研究还发现,数字形式不仅局限于数字序列,还可能与按序排列、通过机械记忆学习的元素相关,例如年月日。数字、字母和颜色更普遍以心理数字线的形式进行表征(Sagiv et al., 2006)。根据相对左侧和右侧空间编码的定义,SNARC 效应的产生是因为空间编码是数字表示的一部分。在长时记忆中,数字以从左到右的方式进行组织,并放置在不同的连续点上。当感知到与任务相关的数字特征时,执行动作反应。因此,数字在心理上等同于从左到右在刻度尺上组织的默认空间位置。这意味着数字会自动触发相关的空间表征,即使这些空间表示与任务无关。研究还指出,数字的大小导致了这种特定的表征模式(Seron et al., 1992)。

但是, van Dijck 等人(2013)的研究对 MNL 假说提出了挑战。实验中他们要求被试对先前记忆的随机数字序列进行奇偶性判断的 SNARC 任务。实验结果显示,左手对序列开头的数字的反应更快,而右手对序列结尾的数字的反应更快。这表明 SNARC 效应不是由整数序列中数字的相对位置(从左到右)所决定,而是基于数字在记忆序列中的相对位置。由此,他们提出了工作记忆假说,认为 SNARC 效应是由工作记忆阶段数字和空间之间的临时和灵活关联驱动的,而不是由长期语义记忆中数字大小稳定的空间组织所驱动。Azhar 等人(2021)探讨了阅读方向和空间处理与数值处理之间的关系,要求两组被试分别按从左到右(LTR)或从右到左(RTL)的方式进行数字 10 以内的加减运算,发现对于 LTR 被试表现出更强的 SNARC 效应(较小数字的左侧反应优势和较大数字的右侧优势),而 RTL 被试则没有。工作记忆理论认为,SNARC 效应并不源自心理数字线轴上从左到右的编码,而是可能源自进化上的预设或有意识的训练(Abrahamse et al., 2017)。这些研究结果表明,工作记忆的负荷干扰了数字的空间表示。

如果 SNARC 效应的发生直接源于数字与非数字信息在长时记忆中按从左到右的顺序组织形成的线索,那么在数字与非数字信息提示线索的处理过程中,应该出现典型的 SNARC 效应。即,数字与非数字提示线索在长时记忆中的大小顺序将映射到心理空间位置关系。另一方面,如果 SNARC 效应主要受工作记忆阶段数字与非数字信息以及空间之间的临时和灵活关联所驱动,那么在数字和非数字信息提示线索混合并随机呈现的情况下,可能会干扰数字与非数字提示线索在工作记忆中的在线空间建构。这种混合的情况可能通过人脑对其他非数字信息提示线索的语义认知加工影响 SNARC 效应,激活自上而下的加工模式,最终表现为数字与非数字信息提示线索相互作用后产生的效应。

基于此,本研究拟采用数字大小判断任务,探讨带有空间属性的时间单位作为非数字信息提示线索与数字同时呈现对 SNARC 效应的影响,这有助于进一步理解 SNARC 效应的认知机制,扩展以往的发现,针对更广泛的刺激范围进行研究。

## 2. 研究方法

### 2.1. 被试

60 名视力或矫正视力正常的大学生参与了实验,均为右利手,平均年龄为 19.96 岁(范围为 17~23 岁),其中包括 16 名男生。未向个体透漏该研究目的,并且实验结束后给予一定报酬。

### 2.2. 仪器与实验材料

实验在安静明亮的自习室进行,使用了 Eprime 2.0 编写的程序。实验包括 12 个时间单位的数字刺激,如 1、2、8、9、1 秒、2 秒、8 秒、9 秒、1 年、2 年、8 年和 9 年,以随机方式呈现在计算机屏幕中央。探测刺激是黑色方块,随机出现在屏幕左右两侧,比例为 50%、50%。显示器为 15 英寸联想显示器,分辨率 1366 \* 768,刷新率 60 Hz。实验时被试距离屏幕 50 cm,反应键为空格键。

### 2.3. 实验设计

实验采用 2 探测刺激位置(左和右) × 2 数字(大和小) × 3 时间单位(无时间单位、小时间单位:秒和大时间单位:年)被试内实验设计。因变量为被试反应时。实验任务是又快又准确地对随机出现在屏幕左侧或右侧的探测刺激做出反应,尽快按下空格键反应。为平衡左右手造成的反应差异。一半被试用左手反应,一半被试用右手反应。

### 2.4. 实验程序

屏幕中央首先呈现黑色注视点“+”字,呈现 300 ms。随后注视点消失,屏幕中央位置随机呈现 12 个数字中的一个数字,作为探测刺激前的提示线索(1、2、8、9、1 秒、2 秒、8 秒、9 秒、1 年、2 年、8

年和9年), 数字的字体为宋体, 呈现 1000 ms。数字呈现之后是一个延迟, 为黑色“+”字。延迟过后是探测刺激(白色背景上的黑色方块), 屏幕注视点左侧或者右侧随机出现。

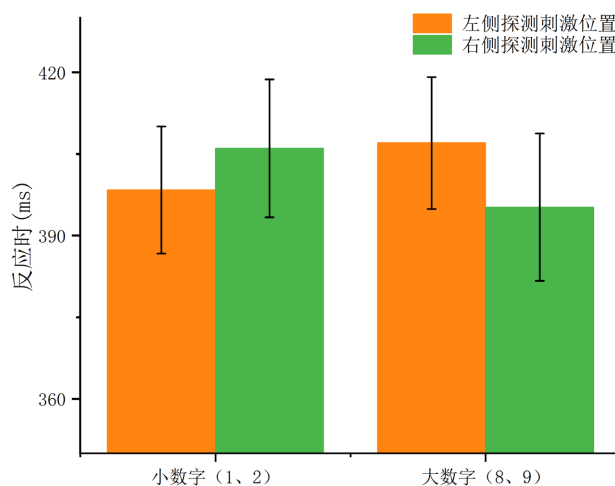
整个实验过程中, 要求被试眼睛始终保证注视在屏幕中心的十字标记上。实验前, 每名被试被告知将会在探测刺激前出现的数字, 并且告知被试这组数字与刺激探测任务是无关的。在正式实验前, 每个被试要求完成 24 次的练习。联系完成后, 被试如果不明白实验流程可以按“q”键继续练习; 按“p”键进入正式实验包括 480 次的试验。实验大约需要 15 分钟完成。

### 3. 实验结果

剔除反应时间中超出三个标准差的数据后, 数据总的剔除率为 0.69%。最终有效的被试人数为 48 人, 对剩余的反应时间进行了三因素重复测量方差分析。研究结果显示时间单位产生了显著的主效应,  $F(2,94) = 5.17, p < 0.01$ , 被试在处理带有时间单位的数字时(反应时为 400.80 毫秒), 明显比处理不含时间单位的数字时(反应时为 406.40 毫秒)更为迅速。此外, 处理含有大时间单位(年)的数字时(反应时为 399.91 毫秒)与处理含有小时间单位(秒)的数字时(反应时为 401.70 毫秒)之间的差异并不显著。三因素交互效应不显著。为了避免混合分析对数字、时间单位和探测位置的影响掩盖 SNARC 效应, 我们从数字与非数字提示线索两个角度探讨对 SNARC 效应的影响。

#### 3.1. 数字 SNARC 效应

首先进行数字 SNARC 效应分析。实验结果采用 2 数字(小和大)  $\times$  2 探测刺激位置(左和右)的重复测量方差分析, 结果发现, 数字大小与探测刺激呈现位置(左和右)的交互作用显著,  $F(1,47) = 35.08, p < 0.001$ , 交互作用图见图 1。



**Figure 1.** Interaction plot of numerical magnitudes and the detection of stimulus positions  
**图 1.** 数字线索与探测刺激位置的交互作用

简单效应分析表明, 在无时间单位条件下, 当小数字作为提示线索时, 被试对出现在左侧探测刺激的平均反应时(400.24 ms)明显快于出现在右侧位置的平均反应时(412.09 ms),  $F(1,47) = 20.57, p < 0.001$ ; 而当大数字作为提示线索时, 被试对出现在左侧和右侧位置的探测刺激平均反应时没有明显差异,  $F(1,47) = 2.10, p > 0.05$ 。在小时间单位(秒)条件下, 当小数字作为提示线索时, 被试对出现在左侧探测刺激的平均反应时(398.77 ms)明显快于右侧位置的平均反应时(400.28 ms),  $F(1,47) = 7.49, p < 0.01$ ; 而当大数字作为提示线索时, 被试对出现在右侧探测刺激的平均反应时(390.96 ms)明显快于左侧位置探测刺激的反

应时(413.06 ms),  $F(1,47) = 9.13, p < 0.05$ 。在大时间单位(年)条件下, 当小数字作为提示线索时, 被试对出现在左侧探测刺激的平均反应时(390.65 ms)快于右侧位置的平均反应时(407.24 ms),  $F(1,47) = 3.77, p = 0.58$ , 而当大数字作为提示线索时,  $F(1,47) = 0.73, p > 0.05$ , 被试对出现在左侧和右侧位置探测刺激的平均反应时不存在明显差异。

### 3.2. 非数字 SNARC 效应

同时进行时间单位 SNARC 效应分析。实验结果采用 2 时间单位(无时间单位、秒和年)  $\times$  2 探测刺激位置(左和右)的重复测量方差分析, 结果发现, 时间单位与探测刺激呈现位置的交互作用显著,  $F(1,47) = 5.43, p < 0.01$ , 交互作用图见图 2。

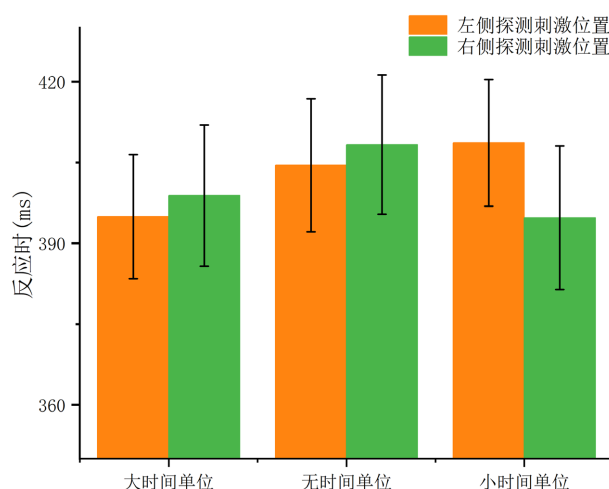


Figure 2. Interaction plot of non-numerical cue and the detection of stimulus positions  
图 2. 非数字线索与探测刺激位置的交互作用

在小数字(1、2)条件下, 未加任何时间单位作为非数字信息提示线索的数字显示出明显的效应: 被试对出现在左侧的探测刺激的反应时间(400.24 ms)明显快于出现在右侧的刺激(412.09 ms),  $F(1,47) = 14.65, p < 0.001$ ; 当数字后附带小时间单位(秒)作为提示线索时,  $F(1,47) = 0.09, p > 0.05$ , 左右位置的探测刺激的平均反应时间则没有明显差异; 当数字后附带大时间单位(年)作为提示线索时, 被试对出现在左侧的探测刺激的反应时间(390.65 ms)快于出现在右侧的刺激(407.24 ms),  $F(1,47) = 4.04, p < 0.05$ 。在大数字(8、9)条件下, 未加时间单位的数字作为提示线索时, 左右位置的探测刺激的平均反应时间没有显著差异,  $F(1,47) = 0.29, p > 0.05$ ; 当数字后附带小时间单位(秒)作为提示线索时, 被试对出现在右侧的探测刺激的反应时间(390.69 ms)明显快于出现在左侧的刺激(413.06 ms),  $F(1,47) = 3.78, p < 0.05$ ; 当数字后附带大时间单位(年)作为提示线索时, 左右位置的探测刺激的平均反应时间没有显著差异,  $F(1,47) = 0.08, p > 0.05$ 。

## 4. 讨论

人们普遍认为 SNARC 效应产生数字在人脑的空间表征(Guida et al., 2018; Guida & Campitelli, 2019; Wang et al., 2021), 但是 SNARC 效应直接源于数字在长时记忆还是直接源于数字在工作记忆中的空间表征学术界依然存在激烈争论(Abrahamse et al., 2017; van Dijck & Fias, 2011; Wang et al., 2021)。本研究探讨了具有空间属性的非数字信息提示线索与数字同时呈现对 SNARC 效应的影响。实验中, 不同大小数字被随机分配三个相同比例的带有不同时间单位(无时间单位、大时间单位: 年和小时间单位: 秒), 通过要求被试在呈现含有(或不含有)时间单位数字快速对屏幕两侧随机呈现的黑色方块进行按键反应, 直接激活

数字顺序信息，考察了时间单位加工对数字 SNARC 效应的干扰。结果显示，数字和非数字信息提示线索的时间单位分别影响了 SNARC 效应。在无时间单位的条件下，数字加工过程中表现出典型的 SNARC 效应，尤其在小数字条件下表现得更为显著。然而，与以往研究不同的是，时间单位的引入显示出反 SNARC 效应。具体而言，在小数字条件下，数字附带时间单位时，SNARC 效应消失，被试不再表现出数字大小相关的空间性偏好。而在大数字条件下，尽管 SNARC 效应依然存在，但反应时间表现出与无时间单位时相反的趋势，即左侧的反应时间更短。此外，研究还发现，被试对时间单位的加工明显快于数字的加工。

**Table 1.** Magnitude of the numerical SNARC effect under various temporal unit conditions  
**表 1.** 不同时间单位条件下数字 SNARC 效应大小

不同时间单位	回归系数
无时间单位	-1.97
小时间单位(秒)	-2.06
大时间单位(年)	-1.96

根据 Nuerk, Wood 和 Willmes (2005) 的研究，数字 SNARC 效应的大小可由回归系数的绝对值来衡量，即回归方程中的系数。本研究中，我们也观察到了典型的数字 SNARC 效应。表 1 所示，在三种时间单位的条件下，每个被试在不同数字水平上的反应时间与数字之间存在显著的负相关，表明了典型的 SNARC 效应。值得注意的是，本研究中引入了具有空间信息的时间单位作为非数字信息提示线索，但仍然观察到了典型的 SNARC 效应，这一结果也支持了从左到右的心理数字线(Fischer & Shaki, 2018)。换言之，较小的数字在左侧视野中检测目标的速度较快，而在右侧则相反。这可能表明，人脑对数字的空间加工并未明显受到当前工作记忆的影响，SNARC 效应的产生很可能直接源自数字在长时记忆中以从左到右的组织形式排列，因此心理数字线理论可能更好地解释了数字 SNARC 效应的现象。

同时，本研究还观察到了在时间单位作为提示线索时出现的反 SNARC 效应，呈现一种过去到未来的时间线。具体而言，当提示线索为较大的时间单位(年)时，被试对左侧空间刺激表现出更快的反应；而当提示线索为较小的时间单位时，被试则在右侧空间刺激上表现出更快的反应。对于时间单位表现反 SNARC 效应的解释，一个可能的假设是时间单位之间的比例差异(含有时间单位提示线索：不含有时间单位的提示线索 = 2:1)导致被试在时间视角下自动激活过去到未来的心理时间线。同时，这也可能说明，在再处理非数字信息的提示线索时，空间位置信息的激活很大程度上受到工作记忆加工需要的影响。当工作记忆需要维持空间或语音信息时，这类 SNARC 效应可能会被消除或反转，因为空间或方向偏差效应可能源于工作记忆中的序列处理和数字处理(Abrahamse et al., 2017)。本研究中观察到的非数字信息的反 SNARC 效应很可能是由于工作记忆阶段非数字信息的数字和空间之间的临时和灵活关联所驱动，空间编码可能源自对数字项目在工作记忆中空间模板的临时和任务特定映射，而不是由长期语义记忆中数字大小稳定的空间组织所驱动。

同时，本研究还观察到被试对时间信息的加工速度更快，这与先前的研究结果有所不同。根据 Dormal 和 Pesenti (2013) 的研究，序列呈现的刺激中，个体对数字、空间、时间三种刺激的自动加工呈现一种阶梯模式。其中，数字信息以自下而上的方式最为显著地激活，其次是空间信息，而时间信息则处于最后的位置。然而，在本研究中，被试对时间单位的加工速度明显快于对数字的加工速度。整体优先理论认为，个体更快地识别和处理复合刺激的整体特征。在本研究中，时间单位与数字提示线索之间的比例差

异(含有时间单位提示线索: 不含有时间单位的提示线索 = 2:1)可能导致被试在感知含有时间单位的提示线索时的加工速度明显快于纯数字提示线索的加工速度。

尽管时间加工速度快于数字,但这种速度并不影响数字空间编码过程。无论任务情境如何,空间编码都是长期数字表示的固有组成部分。然而,对于非数字提示线索中的时间单位,空间编码则源自对数字项目在工作记忆中的临时和任务特定的映射。尽管时间加工速度更快,但这种处理方式更为灵活,而不是受长期语义记忆中数字大小稳定的空间组织所驱动。未来,可以通过不同的研究范式、材料比例以及更精确的脑机制探索这一现象是否具有—贯性。

## 5. 结论

(1) 数字的空间表征很大程度上取决于人们依靠长时记忆中存储的数字顺序空间表征的影响,产生 SNARC 效应。

(2) 非数字线索的空间表征很大程度上取决于人们当前言语工作记忆的存储,而不仅仅依靠长时记忆中存储的数字顺序,其信息加工模式更为灵活。

## 参考文献

- Abrahamse, E., van Dijck, J., & Fias, W. (2017). Grounding Verbal Working Memory: The Case of Serial Order. *Current Directions in Psychological Science*, 26, 429-433. <https://doi.org/10.1177/0963721417704404>
- Aleotti, S., Massaccesi, S., & Priftis, K. (2023). The SNARC Effect: A Preregistered Study on the Interaction of Horizontal, Vertical, and Sagittal Spatial-Numerical Associations. *Psychological Research*, 87, 1256-1266. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01721-8>
- Azhar, M., Chen, Y., & Campbell, J. I. D. (2021). Reading Direction and Spatial Effects in Parity and Arithmetic tasks. *Psychological Research*, 85, 2186-2196. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01397-y>
- Bulf, H., Cappardini, C., Nava, E., de Hevia, M. D., & Cassia, V. M. (2022). Space Modulates Cross-Domain Transfer of Abstract Rules in Infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 213, Article ID: 105270. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105270>
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00426-012-0414-3>
- Fantoni, C., Baldassi, G., Rigutti, S., Prpic, V., Murgia, M., & Agostini, T. (2019). Emotional Semantic Congruency Based on Stimulus Driven Comparative Judgements. *Cognition*, 190, 20-41. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.04.014>
- Fischer, M., & Shaki, S. (2018). Number Concepts: Abstract and Embodied. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373, Article ID: 20170125. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0125>
- Fumarola, A., Prpic, V., Fornasier, D., Sartoretto, F., Agostini, T., & Umiltà, C. (2016). The Spatial Representation of Angles. *Perception*, 45, 1320-1330. <https://doi.org/10.1177/0301006616661915>
- Galton, F. (1880). Visualised Numerals. *Nature*, 21, 252-256. <https://doi.org/10.1038/021252a0>
- Guida, A., & Campitelli, G. (2019). Explaining the SPoARC and SNARC Effects with Knowledge Structures: An Expertise Account. *Psychonomic Bulletin & Review*, 26, 434-451. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01582-0>
- Guida, A., Megreya, A. M., Lavielle-Guida, M., Noel, Y., Mathy, F., van Dijck, J. P., & Abrahamse, E. (2018). Spatialization in Working Memory Is Related to Literacy and Reading Direction: Culture “Literarily” Directs Our Thoughts. *Cognition*, 175, 96-100. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.02.013>
- Hartmann, M., & Mast, F. (2017). Loudness Counts: Interactions between loudness, Number Magnitude, and Space. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70, 1305-1322. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1182194>
- Holmes, K., & Lourenco, S. (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>
- Nuerk, H. C., Wood, G., & Willmes, K. (2005). The Universal SNARC Effect: The Association between Number Magnitude and Space Is Amodal. *Experimental Psychology*, 52, 187-194. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.52.3.187>

- 
- Prpic, V., Mingolo, S., Agostini, T., & Murgia, M. (2021). Magnitude and Order Are Both Relevant in SNARC and SNARC-Like Effects: A Commentary on Casasanto and Pitt (2019). *Cognitive Science*, *45*, e13006. <https://doi.org/10.1111/cogs.13006>
- Ren, P., Nicholls, M., Ma, Y., & Chen, L. (2011). Size Matters: Non-Numerical Magnitude Affects the Spatial Coding of Response. *PLOS ONE*, *6*, e23553. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023553>
- Sagiv, N., Simner, J., Collins, J., Butterworth, B., & Ward, J. (2006). What Is the Relationship between Synaesthesia and Visuo-Spatial Number Forms? *Cognition*, *101*, 114-128. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.09.004>
- Seron, X., Pesenti, M., Noel, M. P., Deloche, G., & Cornet, J. A. (1992). Images of Numbers, or “When 98 Is Upper Left and 6 Sky Blue”. *Cognition*, *44*, 159-196. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90053-K](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90053-K)
- Shaki, S., Pinhas, M., & Fischer, M. (2018). Heuristics and Biases in Mental Arithmetic: Revisiting and Reversing Operational Momentum. *Thinking & Reasoning*, *24*, 138-156. <https://doi.org/10.1080/13546783.2017.1348987>
- van Dijck, J., Abrahamse, E., Majerus, S., & Fias, W. (2013). Spatial Attention Interacts with Serial-Order Retrieval from Verbal Working Memory. *Psychological Science*, *24*, 1854-1859. <https://doi.org/10.1177/0956797613479610>
- van Dijck, J. P., & 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>
- Walsh, V. (2003). A Theory of Magnitude: Common Cortical Metrics of Time, Space and Quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 483-488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.002>
- Wang, Q., Ma, L., Tao, W., Wang, Z., & Jin, G. (2021). Encoding Numbers in the Context of Multiple Overlapping Cues: Evidence from a Chinese Finger Number Cognition Study. *Perceptual and Motor Skills*, *128*, 2448-2468. <https://doi.org/10.1177/00315125211044051>