

类SNARC效应的特殊性及其内在机制

杨宇涵, 严 格, 黄 珂, 吴忠林, 尹月阳*

江苏师范大学教育科学学院, 江苏 徐州

收稿日期: 2024年4月15日; 录用日期: 2024年6月10日; 发布日期: 2024年6月20日

摘 要

数字和空间之间存在着联结现象。这种现象不仅出现在离散数字中, 在含有模拟量的材料中也有所体现, 本文将模拟量信息中出现的这种现象命名为类SNARC效应(SNARC-like effect)。对于类SNARC效应的发生机制, 研究者认为近似数量系统在类SNARC效应中起到重要作用, 并在双路径模型的基础上, 将类SNARC效应纳入其中, 提出了三路径理论模型。关于两种效应之间的具体区别, 仍需进一步神经机制研究的探索。

关键词

类SNARC, 模拟量, 近似数量系统, 先天性, 三路径模型

The Peculiarities of the SNARC-Like Effect and Its Internal Mechanism

Yuhan Yang, Ge Yan, Ke Hang, Zhonglin Wu, Yueyang Yin*

School of Educational Sciences, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu

Received: Apr. 15th, 2024; accepted: Jun. 10th, 2024; published: Jun. 20th, 2024

Abstract

There is a connection between digital and space. This phenomenon is not only seen in discrete numbers, but also in materials containing analog quantities, and this phenomenon is named SNARC-like effect in this paper. As for the mechanism of SNARC-like effects, the researchers believe that the approximate number system plays an important role in the SNARC-like effects, and on the basis of the two-path model, the SNARC-like effects are included in it, and a three-path theoretical model is proposed. The specific differences between the two effects still need to be explored by further neurological studies.

*通讯作者。

文章引用: 杨宇涵, 严格, 黄珂, 吴忠林, 尹月阳(2024). 类 SNARC 效应的特殊性及其内在机制. 心理学进展, 14(6), 171-177. DOI: 10.12677/ap.2024.146395

Keywords

SNARC-Like, Analogue, Approximate Number System, Innate, Three-Path Model

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

自数字产生以来,其在人类社会生活中的地位越来越高。Dehaene 等(1990, 1993)让被试对 0~9 的阿拉伯数字进行奇偶判断任务或数量大小任务,发现不管是奇数还是偶数,被试都表现为左手对小于 5 的数字反应更快,右手对大于 5 的数字反应更快。Dehaene 等人将这种现象命名为空间-数字反应编码联合效应(Spatial-Numerical Association of Response, SNARC)。这是 SNARC 效应第一次被明确提出(Dehaene et al., 1993)。

对于 SNARC 现象产生的原因,目前有三种被广泛认同的经典理论:心理数字线理论(mental number line)、极性编码理论(polarity correspondence theory)和双路径模型理论(dual-route model)。心理数字线理论认为,在人脑中存在一条从左到右排列的假想的具有空间属性的数字线,数值小的数字表征于这条数字线的左侧,而数值大的数字则表征于这条数字线的右侧;当数字表征与空间投射高度吻合时,人的反应速度就会加快,反之,人的反应就会变慢。极性编码理论认为,刺激与反应分别存在正负两个极性,在 SNARC 效应中,小数和左手被认为是负极,而大数和右手被认为是正极,当呈现的数字和反应手的极性一致时会促使 SNARC 效应的产生(Proctor & Cho, 2006)。双路径模型理论认为,存在平行激活的两条路线,一条是根据任务要求形成的“慢速条件路线”,另一条是自动激活的“快速无条件路线”,相比于两条路线冲突的情况,两条路线互不冲突时的反应速度更快(Gevers et al., 2005)。但是这些理论解释仍存在一定的限制,Ito 和 Hatta 等(2004)要求母语为日语的被试(阅读顺序为自上而下)进行数字奇偶判断任务,结果出现了与被试阅读习惯相反的 SNARC 效应,这显然无法用上述理论来解释。

随着近些年工作记忆概念的提出,不少研究者开始关注工作记忆和 SNARC 效应之间的关系,并提出了工作记忆理论来解释 SNARC 效应(Abrahamse et al., 2014; Fias & van Dijck, 2016; van Dijck et al., 2009; van Dijck & Fias, 2011)。该理论认为,SNARC 效应的产生主要依赖于工作记忆中的顺序表征,即工作记忆中的序列位置效应,而不是处于长时记忆中心理数字线。具体来说,心理数字线理论强调的是数量性,而工作记忆中的序列位置效应强调的是顺序性(戴隆农,潘运,2021; 邓之君等,2017; van Dijck & Fias, 2011)。工作记忆解释中的序列位置效应可以弥补早期理论的不足,如为什么具备顺序信息的字母、月份、时间等刺激也会出现 SNARC 效应(Bonato & Umiltà, 2014; Gevers et al., 2005)。另外,也有研究者尝试从生物学的角度来解释 SNARC 效应,例如,大脑半球偏侧化的生物学认为,SNARC 效应的产生,是由于大脑半球的偏侧化引起了左右行为的偏差,而多或少的元素会占据不同的大脑半球,最终形成了 SNARC 效应(Felisatti et al., 2022)。

2. 类 SNARC 效应

在 SNARC 效应的早期研究中,通常把数字作为激活这种效应的必要条件。研究者所使用的实验材料,包括阿拉伯数字,简体/繁体中文数字、外文数字等,均是以数字作为基本载体的符号数字(刘超,傅

小兰, 2004; Dehaene et al., 1993; Nuerk et al., 2005)。这些数字的共同特点是离散属性, 即量与量之间具有间隔。

然而, 随着研究的深入, 胡林成和熊哲宏(2011)发现在具有模拟量的材料中出现了反应编码的空间联系。其中, 模拟量是与离散量相对的概念, 是指可以连续变化的量, 在一定范围内可以任意取值的数量。随后, 研究者们发现在时间、音高、点阵、面积、亮度等模拟量的材料中也存在类似于 SNARC 效应的现象(胡林成, 熊哲宏, 2011; 王岚, 2018; 杨林霖等, 2013; Hurewitz et al., 2006)。例如, 胡林成和熊哲宏(2011)要求被试进行面积比较任务、亮度比较任务, 结果发现被试左手对小面积的反应更快, 右手对大面积的反应更快; 左手对亮度较暗的反应更快, 右手对亮度较亮的反应更快, 即出现了面积和亮度的空间联结效应。其次, 杨林霖等人(2013)通过将时间中的“过去”和“将来”两类时间概念的词语作为实验材料, 发现左手和过去的词语相联系, 右手与将来的词语相联系, 并将这种现象称为时间-空间联结效应。再者, Rusconi et al. (2006)以没有音乐基础的中国人作为被试, 要求被试对纯音的音高进行判断, 发现在水平维度上, 当纯音为高音时, 被试对右侧按键反应更快; 当纯音为低音时, 对左侧按键反应更快。在垂直维度上, 当纯音为高音时, 被试对方按键反应更快; 当纯音为低音时, 对下方按键反应更快, 即出现了音高的空间联结效应。最后, 点阵材料中也存在类似的 SNARC 效应, 且仅出现在水平方向上(司继伟等, 2013; Hurewitz et al., 2006)。研究者将这种在模拟量材料中出现的反应编码的空间联系现象称为类 SNARC 效应(SNARC-like effect)。

3. 类 SNARC 效应的特殊性

近些年, 随着类 SNARC 效应在越来越多的领域发现, 研究者开始着重于了解经典 SNARC 效应和类 SNARC 效应之间的区别。模拟量作为类 SNARC 效应的重要特征, 其属性特征也是类 SNARC 效应特殊性的所在。基于此类原因, 本文将通过连续性和先天性两个方面来阐述类 SNARC 效应的特殊性。

3.1. 类 SNARC 效应的连续性

相比于经典 SNARC 效应中的离散属性, 类 SNARC 效应中包含的模拟量信息具有更好的连续性。有部分研究者认为, 模拟量是区分经典 SNARC 效应和类 SNARC 效应的中重要特征。胡林成等对比了两种空间联结效应, 结果发现被试对模拟量的空间联结快于对离散量的空间联结, 这说明材料的连续性会影响被试的反应速度。此外, 不少研究者通过 Stroop 任务范式发现, 面积和数量(Hurewitz et al., 2006)、亮度和数量(Cohen et al., 2007)等模拟量之间存在交互作用。例如, 王静等(2011)认为当离散信息和模拟信息同时存在时, 两种信息会相互干扰并影响被试的判断。实验中要求被试进行点阵的个数和累积面积的 Stroop 任务, 结果发现在两种任务情境下, 被试都能同时提取两种线索信息, 但对离散量线索的抑制难于对模拟量信息的抑制, 并在强一致条件下, 累积面积任务的反应速度快于个数任务, 而在弱一致条件下, 累积面积任务的反应速度却慢于个数任务, 这说明这种连续性会使被试对大范围的变化更加敏感, 还增大了被试在小范围任务中的反应难度, 可以反应出连续性在不同范围内的不同作用效果, 可以更精确的研究 SNARC 的发生机制。

3.2. 类 SNARC 效应的先天性

研究者通常认为经典的 SNARC 效应是后天形成的。Van Galen 和 Reitsma (2008)考察了 SNARC 效应的年龄特征, 实验中测量了 7 岁、8 岁、9 岁的儿童以及成年被试的 SNARC 效应, 结果显示 7 岁的儿童仅在大小判断任务中出现了 SNARC 效应, 而 9 岁儿童在奇偶判断任务和大小判断任务中均出现了显著的 SNARC 效应。相比于大小判断任务, 奇偶判断任务还能考察数值信息的自动化激活。因此, 上述结

果说明 SNARC 效应受年龄因素的影响,呈现出随年龄增大而逐渐显著的趋势,进而说明 SNARC 效应是后天形成的。

相比于后天形成的 SNARC 效应,类 SNARC 效应却具有先天性(定险峰等, 2010; 康武等, 2013)。有研究者对不同年龄段的儿童与成人进行 SNARC 效应与类 SNARC 效应的奇偶判断任务,结果发现 6~7 岁儿童出现明显的类 SNARC 效应,而经典 SNARC 效应的产生则要推迟到 8~9 岁儿童,这说明类 SNARC 效应的产生早于经典 SNARC 效应(于晓等, 2022)。胡林成和熊哲宏(2016)也进行了类似的研究,他们以 5 岁儿童作为被试进行数字比较任务和面积比较任务,结果发现 5 岁的儿童在面积比较任务中出现了类 SNARC 效应和距离效应,而在数字比较任务中没有出现经典的 SNARC 效应,只出现了距离效应。胡林成认为产生这一差异的原因是因为五岁儿童在进行数字大小比较中,没有完全熟悉阿拉伯数字,多采用数数的方法进行数字大小比较,这也说明 SNARC 效应的并非先天形成,与数学训练的程度有关。

本文认为两种任务中均出现了距离效应,这说明数量信息在两种任务中均起作用。而数字比较任务未出现 SNARC 效应,是因为儿童对非数字材料的空间表征的发生先于符号数字,经典 SNARC 效应的产生需要后天数学能力的形成,而类 SNARC 效应的产生则先于这种数学能力的获得。儿童在未接受正式数学教育前,他们对数量信息的理解主要是来源于生活中的非数字的事物。由于该阶段儿童缺乏对数学知识的理解,主要依靠先天形成的数感来处理数量信息。而在点阵(司继伟等, 2013)、时间(杨霖霖等, 2013)、音高(王岚, 2018)、面积和亮度(胡林成, 熊哲宏, 2011)等方面发现类 SNARC 效应说明这些非数字信息所表达的数量信息也具有空间编码的特性。

综合上面研究所述,类 SNARC 效应存在先天性,依赖于先天形成的数感,不需要后天数学能力的支持,由数感激活的数量信息可以激发类 SNARC 效应的产生,但无法引起经典的数字 SNARC 效应的发生,八九岁是儿童掌握数学符号语言的关键时期,该阶段对数学能力的掌握才能使儿童将数字与数量相联系,在完成相关任务的时候自动激活空间信息从而表现出经典的数字 SNARC 效应。

4. 近似数量系统对类 SNARC 效应的影响

当被试对非符号数量进行加工时,成人和其他动物拥有理解和估计数量的能力(Feigenson et al., 2004),甚至 Di Giorgio 等的实验发现即使是没有经过教育培训的儿童依然拥有这种能力,研究者采用习惯化-去习惯化的研究范式,对 6 个月的婴儿进行点数比较任务,发现婴儿可以区分不同数量的点数,甚至以刚出生的小鸡为研究被试,也能发现其可以进行数量比较任务。可以发现人与动物共同拥有一种先天的对非符号进行表征的能力,这种不依靠数数而对数量进行评估的能力被认为是一种不精确的近似数量表征系统,研究者将它称为近似数量系统(Approximate Number system, ANS) (尹月阳, 2019; Di Giorgio et al., 2019; Izard et al., 2009)。

韦伯定律是心理物理学中一种反映比例加工机制的规律,其表明在中等强度的刺激条件下,当刺激强度按几何数级增长时,感觉的强度会按照算术级数增加。有研究者发现 ANS 遵循韦伯定律,而人们对于空间和光线的感知也同样符合韦伯定律。因此,ANS 不仅对数量进行表征,也对某些空间与光线的感知等含有模拟量信息的材料存在表征(Cantlon et al., 2009)。韦伯定律的性质决定了符合其定律的心理量和物理量之间是连续变化的关系,也就是说如果某种感觉刺激符合韦伯定律,那么对该感觉刺激的表征一定是连续的。可以看出,近似数量系统是通过连续的实数来实现对离散的数量表征的,相反,符号数量系统则是通过离散的数字符号来表征数量(尹月阳, 2019)。因此,近似数量系统可视为一种连续性的数量系统,而符号数量系统则可视为一种离散性的数量系统。而以模拟量为主要特征类 SNARC 效应,其材料的特点就是具有更好的连续性,更好的连续性会导致近似数量系统在其中的作用增大,对实验本身的反应也更加敏感,变化更加明显,而传统的 SNARC 效应则是着重研究以离散量为主体的数量信息,

主要是符号数量系统在其中发挥作用。

而在类 SNARC 效应中,无论是亮度还是面积,均是以模拟量作为特征的材料。不同于经典 SNARC,对这些模拟量材料进行的加工,凭借的是近似数量系统对于数量信息的加工,这是一种特有的数字直觉,不经过具体计算加工而对细小事物的数量信息间变化进行直观的感受。在经典的 SNARC 效应中,所选用的材料均是各种形式的数字,其在人脑中激活的是具体数值的数量信息。有研究表明,言语能力对经典的数字符号加工有着显著的预测作用(于晓等, 2022)。说明这种具体数值信息无法直接加工,需要人脑进行语义加工,才能转化为可以激发空间表征的数量信息。部分研究者认为,数字空间联结会受到阅读习惯及其书写习惯等社会文化因素的影响(Shaki & Fischer, 2009; Fischer et al., 2009)。而这种具体数值的数量信息的形成并非先天就拥有的,需要通过后天的社会文化教育才能习得这种数学运算能力。而在类 SNARC 效应中,不管是面积亮度,还是点阵,其依靠的是对数量的感知,即近似数量系统在其中发挥作用。对这种信息的处理无需进行语义加工,在掌握这种能力后,人脑会进行自动化加工这种信息,并做出判断。一些研究发现,近似数量系统敏锐度高的参与者在类 SNARC 效应任务中表现得越好,当被试需要进行点阵比较任务时,近似数量系统敏锐度高的参与者在点阵比较任务中可以更快更准确的判断点阵之间的区别(Barth et al., 2005)。这表明,更高的近似数量系统敏锐度可以对类 SNARC 效应的表现产生积极影响。人们具有更好的 ANS 敏锐度,可能对获得数学概念的认知转换有所帮助,影响着对于数学概念的理解和表现,从而可能对类 SNARC 效应产生影响。

综上所述,近似数量系统在对以模拟量信息为特征类 SNARC 效应中起着重要作用。其作为一个连续性数量系统,可以解释类 SNARC 效应中连续性的观点,而由于近似数量系统,也就是数感,是先天产生,与后天数学能力习得无关,也符合类 SNARC 效应中先天性的特点。由此可以说明,近似数量系统和类 SNARC 效应之间存在关系,近似数量系统对类 SNARC 效应产生重要影响。

5. 三路径模型理论

Gevers 认为 SNARC 效应的发生机制与 Simon 效应类似,Simon 效应激活的是外显信息的空间表征,而 SNARC 效应是对内隐信息的空间表征,因此 Gevers 根据 Simon 效应的理论,提出了 SNARC 效应的双路径模型理论(Gevers et al., 2005)。这种理论可以解释许多经典 SNARC 效应中的现象,但仍具有一定的局限性,该理论中的“快速无条件路线”中的 SNARC 效应在幼儿阶段无法形成,需要一定的数学能力,与理论中的“无条件”相违背(于晓等, 2022)。

胡林成和熊哲宏在面积亮度比较任务和数字比较任务的对比中发现了类 SNARC 效应的反应快于“快速无条件路线”下的 SNARC 效应的现象(胡林成, 熊哲宏, 2011),由此可以推测在两条平行激活的双路径之外,还存在着一条优先于双路径激活的第三条路径。这条路径的激活依靠近似数量系统对连续性较好的模拟量信息进行作用,所形成的是类 SNARC 效应,而这种数学能力是先天形成,无需后天学习所得(定险峰等, 2010; 康武等, 2013; 于晓等, 2022),因此可以将该路径定义为三路径中的自动激活的“快速无条件路线”;而在原来双路径模型理论中的“快速无条件路线”激活的则是需要经过后天学习才能形成的经典数字 SNARC 效应,这类 SNARC 效应储存在长时记忆中,可以用心理数字线理论进行解释,其反应时快于后面根据任务情境灵活改变的 SNARC 效应,因而在三路径模型理论中被定义为“中速条件路线”,而根据任务情境灵活改变的 SNARC 效应,其反应时最长,与双路径模型理论中的根据任务要求形成的“慢速条件路线”相符合,其定义在三路径模型理论中同样适用。

原来的双路径理论模型,只能解释经典 SNARC 效应中的部分现象,而三路径理论模型的建立,扩大了这种路径模型的适用范围,将类 SNARC 效应也包含进模型的适用范围。很好地解释了类 SNARC 效应的先天性以及对经典 SNARC 效应存在优势加工的现象,我们可以根据三路径模型理论,更好地研

究类 SNARC 效应和经典 SNARC 效应的区别以及更好地探索事物与空间联结的具体发生机制。

6. 总结与展望

6.1. 总结

本文认为模拟量是区分经典 SNARC 效应和类 SNARC 效应的重要特征,模拟量的特殊属性导致的连续性和先天性也是类 SNARC 效应的特殊性所在。模拟量信息具有更好的连续性,使得在类 SNARC 效应上对大范围的变化反应更加敏感,还增大了小范围变化的难度,反应出类 SNARC 效应的连续性在不同范围的多样化。同时,本文认为经典 SNARC 效应依赖后天数学能力的形成,需要语义信息的加工以及符号数量系统的参与,而类 SNARC 效应具有先天性的特点,依赖的是近似数量系统的加工,不需要通过记忆和精确加工,只需要直观感知数量之间的大小和数量差异,并且近似数量系统敏锐度越高,类 SNARC 效应的发生越明显。此外,本文在双路径模型理论的基础上,衍生出三路径模型理论,即由近似数量系统起作用的完全“快速无条件路线”;依靠符号数量系统,由长时记忆中心理数字线起作用的“中速条件路线”;以及根据任务情境灵活变化的“慢速条件路径”。

6.2. 展望

类 SNARC 效应与经典的数字 SNARC 效应的区别目前大多数都是在研究结果的基础上进行一定的推论,缺乏神经科学研究对于类 SNARC 效应和经典 SNARC 效应区别的实证支持,无法从生理学角度说明两者之间的差异。未来的研究可以结合神经影像技术,如功能磁共振成像(fMRI)和脑电图(EEG),探索类 SNARC 效应与大脑不同区域之间的关联,进一步揭示数字和空间信息处理的神经回路和机制。此外,类 SNARC 效应和近似数量系统的关系也可以成为研究的方向,两者有许多相似的特点,揭示出两者之间存在着某种联系,未来研究可以将对近似数量系统的研究纳入对类 SNARC 效应的研究中,这将有助于我们更全面的了解两者之间的关系。

总而言之,对类 SNARC 效应的研究还存在许多等待解决的问题,需要进一步的实证与神经机制来支持理论观点,以更好的了解 SNARC 效应和类 SNARC 效应之间的联系与不同。对类 SNARC 效应的研究有助于我们用更加普适的观点去解释 SNARC 效应产生的底层机制,并为各种物体与空间联结的关系提供更全面的视角。

参考文献

- 戴隆农, 潘运(2021). 数字-空间联结的内在机制: 基于工作记忆的视角. *心理科学*, 44(4), 793-799.
- 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.
- 胡林成, 熊哲宏(2011). 刺激模拟量的空间表征: 面积和亮度的类 SNARC 效应. *心理科学*, 34(1), 58-62.
- 胡林成, 熊哲宏(2016). 符号数量和非符号数量的空间表征: 5 岁儿童的 SNARC 效应和距离效应. *心理科学*, 39(2), 364-370.
- 康武, 杨敏, 王丽平(2013). SNARC 效应: 现状, 理论及建议. *心理科学*, 36(5), 1242-1248.
- 刘超, 傅小兰(2004). 不同注意条件下大数与小数的加工差异. *心理学报*, 36(3), 307-314.
- 司继伟, 周超, 张传花, 仲蕾蕾(2013). 不同加工深度非符号数量信息的 SNARC: 眼动证据. *心理学报*, 45(1), 11-22.
- 王静, 陈英, 曹仕莹(2011). 类比数量表征的线索: 离散量还是连续量. *心理发展与教育*, 27(1), 1-8.
- 王岚(2018). 音高的 SNARC 效应研究及其在识谱教学中的应用. 硕士学位论文, 西安: 西安音乐学院.
- 杨林霖, 张志杰, 顾艳艳, 周文杰(2013). 空间-时间联合编码效应: 来自手动和眼动证据. *心理科学*, 36(6), 1347-1354.
- 尹月阳(2019). 符号数量系统与近似数量系统之间的双向映射机制. 博士学位论文, 长春: 吉林大学.

- 于晓, 戚玥, 蒋家丽, 陈英和(2022). 空间-数字联结如何发展: 符号和非符号 SNARC 效应的分离机制. 见 *第二十四届全国心理学学术会议摘要集*(pp. 48-50). 北京林业大学人文社会科学学院, 北京师范大学心理学部发展心理研究院.
- Abrahamse, E., Van Dijck, J., Majerus, S., & Fias, W. (2014). *Finding the Answer in Space: The Mental Whiteboard Hypothesis on Serial Order in Working Memory*. *Frontiers in Human Neuroscience*.
- Barth, H. C., La Mont, K., Lipton, J., & Spelke, E. S. (2005). Abstract Number and Arithmetic in Preschool Children. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 14116-14121. <https://doi.org/10.1073/pnas.0505512102>
- Bonato, M., & Umiltà, C. (2014). Heterogeneous Timescales Are Spatially Represented. *Frontiers in Psychology*, 5, Article No. 542. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00542>
- Cantlon, J. F., Platt, M. L., & Brannon, E. M. (2009). Beyond the Number Domain. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.007>
- Cohen, K. R., Henik, A., & Walsh, V. (2007). Small Is Bright and Big Is Dark in Synaesthesia. *Current Biology*, 17, R834-R835. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.07.048>
- 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>
- Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is Numerical Comparison Digital? Analogical and Symbolic Effects in Two-Digit Number Comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 626-641. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.16.3.626>
- Di Giorgio, E., Lunghi, M., Rugani, R., Regolin, L., Dalla Barba, B., Vallortigara, G., & Simion, F. (2019). A Mental Number Line in Human Newborns. *Developmental Science*, 22, 1-10. <https://doi.org/10.1111/desc.12801>
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core Systems of Number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>
- Felisatti, A., Ranzini, M., & Blini, E. (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>
- Fias, W., & Dijck, J. P. V. (2016). The Temporary Nature of Number-Space Interactions. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 70, 33-40. <https://doi.org/10.1037/cep0000071>
- Fischer, M. H., Mills, R. A., & Shaki, S. (2009). How to Cook a SNARC: Number Placement in Text Rapidly Changes Spatial-Numerical Associations. *Brain and Cognition*, No. 3, 333-336.
- 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>
- Hurewitz, F., Gelman, R., & Schnitzer, B. (2006). Sometimes Area Counts More than Number. *PNAS, USA*, 103, 19599-19604. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609485103>
- Ito, E., Hatta, T., Ito, Y., Kogure, T., & Watanabe, H. (2004). Performance of Verbal Fluency Tasks in Japanese Healthy Adults: Effect of Gender, Age and Education on the Performance. *Japanese Journal of Neuropsychology*, 20, 254-263.
- Izard, V. R., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn Infants Perceive Abstract Numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 10382-10385. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812142106>
- 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>
- Proctor, R., & Cho, Y. (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>
- Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B. L., 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>
- 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>
- 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>
- Van Dijck, J. P., Gevers, W., & Fias, W. (2009). Numbers Are Associated with Different Types of Spatial Information Depending on the Task. *Cognition*, 113, 248-253. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.08.005>
- Van Galen, M. S., & Reitsma, P. (2008). Developing Access to Number Magnitude: A Study of the SNARC Effect in 7- to 9-Year-Olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 101, 99-113. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.05.001>