

# Embodied Numerosity: Sensori-Motor and Body Movement Influence Spatial-Numerical Representation

Rongjun Zhu, Yuan Zhou, Yu Zhang, Xuqun You

Key Laboratory for Behavior and Cognitive Neuroscience of Shaanxi Province, School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi  
Email: youxuqun@snnu.edu.cn

Received: Oct. 12<sup>th</sup>, 2016; accepted: Oct. 27<sup>th</sup>, 2016; published: Oct. 31<sup>st</sup>, 2016

Copyright © 2016 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 SNAs effect refers to the association effect between space and a wide range of quantities including Arabic numerals. In this paper, the effects of visual system and vestibular system, body motion and finger counting on SNAs are described in detail from the perspective of sensation and body movement. A new explanation is given with the theory of embodiment in this paper indicating that the cognition of numbers origins from the senses and physical experiences. Future research needs to explore the neurophysiological mechanism of SNAs based on sensory and body motion by means of brain imaging and other research methods, and examine the essential relationship between finger counting activity and SNAs from the perspective of longitudinal development.

## Keywords

SNAs Effect, Sensori-Motor, Body Movement, Finger Counting, Embodied Cognition

---

# 具身数量：感觉运动和身体运动对空间数量表征的影响

朱荣娟, 周 圆, 张 宇, 游旭群

陕西师范大学心理学院, 陕西省行为与认知神经科学重点实验室, 陕西 西安  
Email: youxuqun@snnu.edu.cn

收稿日期: 2016年10月12日; 录用日期: 2016年10月27日; 发布日期: 2016年10月31日

## 摘要

空间数量联结效应(Spatial-Numerical Associations, SNAs)是指包括阿拉伯数字在内的形式更广泛的数量与空间之间的联结效应。本文从感觉和身体运动的角度, 详细概述了视觉系统和前庭系统, 身体运动和手指计数对空间数量表征的影响, 并用具身理论对其进行新的解释, 认为数量认知源于感觉和身体经验。未来的研究需借助于脑成像等研究手段来深入探讨基于感觉和身体运动的空间数量表征的神经生理机制, 以及从纵向发展角度考查手指计数活动与空间数量表征之间的本质联系。

## 关键词

SNAs效应, 感觉运动, 身体运动, 手指计数, 具身认知

## 1. 引言

空间与数字之间的关联性最早可追溯到 19 世纪末 Galton 的研究, 他明确地提出了数字具有空间特性(Galton, 1880)。此后, Dehaene, Bossini, 和 Giroux (1993)在数字大小比较和奇偶判断实验中发现了数字加工和空间认知的关系, 即右(左)手对于大(小)数反应较快, 并将其命名为空间数字反应编码联合效应(Spatial Numerical Association of Response Coding), 即 SNARC 效应。自 SNARC 效应被发现之后, 众多研究都为这种数字和空间之间的联结效应提供了支持证据(Gevers, Reynvoet, & Fias, 2003; Schwarz & Keus, 2004)。近年来, 对这种联合效应的研究已从单纯的阿拉伯数字扩展到更广泛的数量形式, 包括文字符号数量(Pinel et al., 2001), 非符号数量(Piazza et al., 2007; Shaki, Petrusic, & Leth-Steensen, 2012)等, 这种包括阿拉伯数字在内的形式更广泛的数量与空间之间的联结被称为空间数量联结: Spatial-Numerical Associations (SNAs)。

Dehaene 等(1993)改变双手的空间位置对 SNARC 效应进行探讨, 使被试双手交叉情况下进行数字判断任务, 结果存在 SNARC 效应, 于是他认为 SNARC 效应与反应的位置有关而与人体效应器没有关系。然而, Wood 在对被试双手交叉情况下的数字与空间关系研究中却没有发现 SNARC 效应, 因此他认为 SNARC 效应可能还与反应手有关(Wood, Nuerk, & Willmes, 2006), 即身体的空间形式可能对 SNARC 效应有一定影响。因此, 这一矛盾观点推动着后来的研究者探讨 SNARC 效应的产生与人体效应器(反应手)之间的关系。近年来, 对空间数量表征的研究呈现出多样性, 主要体现在从身体部位的状态、感知、运动等角度来探究空间数量联结效应, 认为数量的空间表征这一认知过程是认知、身体和环境组成的一个动态的统一体, 试图从这一新的视角更深入地解释数量空间之间存在的广泛联系。这种基于身体的空间数量表征称之为具身数量(embodied numerosity)。

## 2. 感觉运动(Sensori-Motor)对空间数量表征的影响

### 2.1. 视觉系统在空间数量表征中的作用

根据神经科学研究发现(Andres, Olivier, & Badets, 2008), 运动系统不仅仅控制或调节运动行为, 还可

能对认知表征产生影响。Gherri 和 Eimer (2010)的研究发现空间一侧的双手反应准备能够破外空间另一侧刺激的注意方向, 该研究认为控制空间注意和行为的脑区存在一个共同区域。Hommel, Müsseler, Aschersleben, 和 Prinz (2001)提出事件编码理论(Theory of Event Coding, TEC), 该理论认为知觉和与行为相关的事件是以编码的形式储存和整合在一个共同的特征编码(feature code)框架内, 这些特征编码登记来自于感觉系统的信息输入和调节基于外部输入和内部经验的运动系统的活动。即当加工一个给定的刺激时, 它首先激活所有的与刺激相关的特征编码, 包括感知觉和相关的活动。虽然该理论没有检验数量表征和空间活动之间的关系, 但是后来的很多研究者阐述了感觉运动与空间数量表征之间的联系, 即数量的具身表征(Fischer, 2008)。

视觉系统和前庭系统是人体两个重要的感觉系统, 对人的生理和心理方面产生了重要的作用。到目前为止, 视觉系统被认为是空间数量表征编码联合效应形成的一个“具身”通道, 有众多的研究表明视觉系统和空间数量表征在成年人中存在相互作用。例如, 学前期儿童对出现在视野左侧的小数字和出现在视野右侧的大数字反应较快(Patro & Haman, 2012)。然而 Crollen, Dormala, Seron, Lepore 和 Collignon (2013)发现先天盲视被试仍然具有空间数量表征联结效应, 他们将数字映射在自己的身体空间内, 而不是外部的空间(即小数字与左视野联系)。这说明了视觉系统的损伤会改变空间数量联结效应的本质和编码方式。

## 2.2. 前庭系统在空间数量表征中的作用

此外, 前庭系统在空间数量表征中起着一定的调节作用。研究表明, 在没有视觉和听觉线索的条件下, 来自于内部的前庭信息也能够对数量空间表征产生影响(Hartmann, Grabherr, & Mast, 2011)。因为在我们的所有感觉器官中, 前庭器官尤为敏感, 当身体倾斜或运动时, 前庭感觉接受器会改变前庭系统的传达流程, 随时告诉我们身体运动的方向, 对空间定向起着重要的作用。因此, 身体处于运动状态时, 前庭器官能够对数字的空间特性产生影响。

## 3. 身体运动对空间数量表征的影响

以往对空间数量表征多采用双手按键反应, 几乎没有涉及到主体自身的身体感觉运动对空间数量表征的影响。而目前, 众多的研究认为低级的感觉运动能够影响高级认知。例如, Loetscher, Schwarz, Schubiger 和 Brugger (2008)采用口头随机生成数字任务来研究头部运动对数字认知的影响, 结果发现当头部作向左转向运动时, 被试随机说出更多的小数, 而当头部作向右转向运动时, 被试随机说出更多的大数。他认为头部运动会导致空间注意的改变, 从而会激活心理数字线上的数量表征。后来 Loetscher, Bockisch, Nicholls 和 Brugger (2010)采用同样的研究方法来研究眼睛的运动与数字认知, 发现被试的眼睛的运动能够预测下一位随机数字生成的大小。Hartmann 等(2011, 2012)认为头部运动是身体的主动运动, 于是他从身体被动运动的角度出发, 在没有视觉线索条件下, 研究了整个身体运动与数字认知之间的相互影响。这说明了从身体的局部运动到全身的运动, 均会对数量空间表征产生影响。Eerland, Guadalupe 和 Zwaan (2011)发现身体的物理状态也会影响数量表征, 即被试在不同的身体姿势下估计埃菲尔铁塔的高度, 结果表明当身体左倾和正立时比身体向右倾时对埃菲尔铁塔的高度的估计要小很多。以上的研究表明了身体运动经验能够影响数量空间表征, 由于生理解剖机制的不同, 身体各个部位的身体经验也存在差异, 因此身体运动对数量空间表征的影响具有身体广泛性, 且当身体运动的方向与数量空间表征的方向一致时能够促进数字空间编码的激活。

Chen, Zhou 和 Yeh (2015)在近体空间(peripersonal space)内研究距离和数字之间的联系, 结果表明数字不仅仅是映射在从左至右的心理数字线上, 而是映射在近体空间的整个横切面上。这表明了从身体空

间的角度来研究数量空间表征能够进一步的找到数量空间映射的本质。此外, Fischer, Moeller, Bientzle, Cress 和 Nuerk (2011)借助于跳舞毯来创设全身的反应运动, 幼儿园儿童在跳舞毯上练习数字大小比较任务, 结果表明, 身体运动练习组儿童比控制练习组儿童在数字有关的任务中的表现要好。Badets, Boutin 和 Heuer (2015)研究发现一系列反应时任务中的感觉运动练习能够改变数字数量和具有空间指向的运动行为之间的联系。这表明基本感觉运动的体验对数量空间表征起着重要的作用, 并且身体运动与空间数量联结之间存在功能性的联系, 即训练人们的基本感觉运动可能会提高与数字相关的任务的表现。

综合以上的研究, 可以看到头部运动、眼部运动、身体倾斜、全身运动以及感觉系统均与空间数量表征存在一定的联系。除此之外, 手指的运动对空间数量联结效应产生了重要的影响。手指运动属于基本感觉运动的一部分, 由于手指的感知运动属于精细动作, 全身的运动属于大动作, 并且在基本感觉运动与空间数量表征关系研究中, 大部分研究从手指的感知运动出发来探讨 SNARCs 效应。相对身体大幅度运动而言, 手指的感知运动的研究相对更成熟一点, 因此, 本文将手指感知运动对空间数量表征的影响研究与身体运动的相关研究分别进行分析。

## 4. 手数认知和 SNARC 效应的起源

### 4.1. 手数认知的提出

阅读习惯一直被认为是 SNARC 效应的影响因素, 但是很多研究者对阅读习惯的作用持有不一致的观点(Dehaene et al., 1993; Fischer, Mills, & Shaki, 2010; Rugani, Vallortigara, & Regolin, 2011)。鉴于阅读习惯的局限性, 一些研究者认为手指计数习惯是空间数量表征产生的根源(Wood & Fischer, 2008)。手指计数具有普遍性, 是儿童在习得数字符号概念之前最常用的计数工具(Penner-Wilger et al., 2009), 它可能会更好地解释成年人的数字空间表征联合效应。Wood 和 Fischer (2008)将手指计数习惯与 SNARC 效应之间的关系解释称之为手数认知(manumerical cognition), 即强调手指活动和数量概念之间的联系。手指计数活动与个体身体紧密相联, 手指的组合能够表示数量概念, 且具有直观性, 能够促进儿童具体形象性思维的发展, 从而为掌握符号数概念奠定一定基础, 故手指计数可能是产生空间数量表征的源泉。众多的研究为手数认知提供了依据, 包括行为研究和神经科学研究。

### 4.2. 手指活动对空间数量表征影响的行为研究

Fischer (2008)从苏格兰被试中挑选从左手开始计数和从右手开始计数的被试来进行数字奇偶判断任务, 结果发现两类被试表现出不同的 SNARC 效应大小, 从左手开始计数的被试表现出显著的 SNARC 效应, 而从右手开始计数的被试并未发现 SNARC 效应。这一结果表明, 手指计数习惯和方式可能是 SNARC 效应发生的原因。且 Pitt 和 Casasanto (2014)发现手指计数习惯能够决定心理数字线的方向。进一步的研究发现成年人的手指计数经验能够影响抽象的心理数字表征的结构(Domahs, Moller, Huber, Willmes, & Nuerk, 2010), 手指计数经验的获得使他们形成手指表示的数量概念的空间图式, 即手指表示的数量与符号数之间的空间映射关系。因此当呈现的数字刺激与手指之间的映射与被试手指计数方向具有一一对应关系时会使反应加快(Di Luca, Grana, Semenza, Seron, & Pesenti, 2006)。并且在命名由手指组合成的数量大小时, 标准的手指组合姿势(一种特定文化下形成的约定俗成的手指数量表征方式)下的反应时要快于非标准的手指组合姿势下的反应时(Di Luca, Lefevre, & Pesenti, 2010)。Riello 和 Rusconi (2011)让一批习惯于从大拇指开始计数的被试对数字进行单手判断任务, 结果发现当被试左手手掌掌心向上时或者右手手掌掌心向下时出现 SNARC 效应。该研究说明了 SNARC 效应不仅与计数的方式有关, 而且与手掌的姿势有关。更进一步的研究探究了手指的运动对数量加工的影响, Badets 和 Pesenti (2010)在研究中首先向被试呈现手指张开和手指紧握运动中的一种, 然后呈现两个阿拉伯数字, 要求被试根据呈现的



手指运动类型来复述阿拉伯数字中的奇数或偶数, 结果表明手指紧握时被试对小数的反应时比较快。**Badets 等(2012)**让被试观看手指运动图片(手指张开, 手指紧握)后随机报告数字, 结果发现, 在观察手指紧握图片之后, 被试倾向于说出更小的数字。这说明了手指的运动知觉对数字语义大小的影响(**Badets & Pesenti, 2010**)。

手指计数习惯具有普遍性和跨文化变异性。互联网在线调查发现, 手指计数策略中, 中东地区被试和西方被试存在文化差异(**Lindemann, Alipour, & Fischer, 2011**), 不同的文化背景下个体所使用的手指表征数量的方式不同。因此手指计数方式的不同能够解释空间数量表征的文化差异性。因为手指计数有一种区别于书写或口头计数系统的独特属性, 即它是一种感知运动体验, 使身体运动 and 大脑活动形成了直接的联系, 从心理上影响我们表征和处理数字的方式。并且在很多的文化里, 儿童最初接触数量的概念是从掰手指开始的, 将手指作为他们的计数工具, 是儿童解决简单数字问题的一种普遍方式, 例如中国儿童在学龄儿童早期就能够数到数字 10 (**Yang et al., 2014**)。

### 4.3. 手指活动对空间数量表征影响的神经科学研究

**Kaufmann et al. (2008)**研究发现, 被试在手指数字的比较任务中, 相对于其它任务, 会激活顶内皮层中更多与数字相关的脑区。且数量大小表征与内顶皮层有关, 当涉及到数量表征的任务时都会激活该区域(**Nieder, 2005; Hubbard et al., 2005**)。**Rusconi, Walsh 和 Butterworth (2005)**使用重复穿颅磁刺激导致左侧角回的暂时性损伤, 结果对手指辨别和数字加工任务产生了影响。进一步的研究表明, 手指计数习惯能够激活与数字任务相关的运动皮层(**Tschentscher, Hauk, Fischer, & Pulvermuller, 2012**)。在简单的数字计算和手指辨别任务中, 双侧顶叶皮层上存在血氧信号的重叠(**Andres, Michaux, & Pesenti, 2012**), 这说明数字相关的脑区和手指相关的脑区都激活了, 都存在于顶叶区域。因此, 顶叶皮层可能是手指计数活动与数量表征的联结区域。

从上述的研究中可以看出手指计数活动能够自动地激活数字在空间表征中的位置, 并且在人类大脑中存在手指与数字的共同表征区域, 但是目前尚没有研究表明人脑中存在专门负责手指计数表征的区域。

## 5. 具身认知对空间数量表征的解释

感觉运动、身体运动以及手指计数与空间数量关系的研究符合近年来比较流行的具身认知的观点。具身认知观认为, 人类认知自己的世界是从自己的身体开始感知的, 强调身体运动体验的作用, 而空间关系是人类从自己的身体与外部事物的接触中获得的最直接的关系, 随着空间关系不断作用于人体, 最后形成抽象性的意向图式(**李其维, 2008; 叶浩生, 2010**)。意象图式是身体图式的细化, 意象图式是在人对世界的基本关系理解的基础之上形成的, 来源于人自身的经验。人的身体可以分为“身前”、“身后”、“上体”、“下身”等空间方位, 人身体的特点使得人们与外部世界形成一种空间关系。**王一峰等(2010)**认为数量是空间量化的直接、具体的形式, 数量空间映射是空间量化的直接、具体的形式, 数量的空间映射因而可以作为空间量化形成的有效指标。一些学者以数量表征为中心, 提出了空间量化的心理表征模型。具身的观点认为, 身体的这种空间概念是以人自身作为参照系, 因而, 在进行数量判断任务中, 将这种空间关系投射到数量表征中, 使数量表征也具有类似于身体的参照, 从而形成数量与空间之间的映射关系。例如在很多的文化中儿童手指计数方向的形成, 使得他们将小数与左手, 大数与右手联系, 从而形成了小数与空间左边位置联系的表征图式, 大数与空间右边位置联系的空间表征图式。

空间数量表征联结效应是数字认知的一种现象, 按具身认知的观点, 数字认知是通过身体的运动体验而形成的。**Moller 等**提出的具身数量理论框架, 认为数量的具身表征概括了手指表征和身体体验的空间数量表征, 且数字大小的空间表征与身体运动之间存在共享的位置(**Moeller et al., 2012**)。结合具身认知

的理论，组成我们知识的概念表征都建立在具体的感觉和运动经验的基础上，并表现在感觉运动水平的加工。例如空间数量表征效应发生时，低级的感觉运动模块会得到再激活，相关的感知觉运动过程得到模拟。

近年，基于镜像神经元的发现，具身认知的理论拥有更有力的证据。镜像神经元最早是由意大利 Pellergrino 等人在豚尾猴的前运动区皮层研究中发现，这些神经元不仅会在豚尾猴执行动作时放电，也会在处于安静状态下观察其他个体(猴或人)执行形似动作时被激活。由于这些神经元能像镜子一样影射其他个体的活动，之后的研究者称其为“镜像神经元”(mirror neurons) (陈巍, 汪寅, 2013; Gallese, Fadiga, Fogassi, & Rizzolatti, 1996)。由于镜像神经元在动作执行和动作观察时皆被激活，叶浩生认为所谓内部心理过程可能就是身体动作经验的心理模拟过程(叶浩生, 2012)。换言之，内部的心理过程，是基于身体的动作经验和心理模拟构成。因此，结合镜像神经机制，对具身数量的解释，可以认为存在对数字的空间量化表征比较大小的心理模拟过程，从而理解身体的精细动作和大动作及其对应的数字之间的意义。目前，普遍认可的人类经典镜像神经元系统只包含两个脑区：额下回的后部和顶下小叶喙部(Rizzolatti & Craighero, 2004; Kilner & Lemon, 2013; Cook et al., 2014)，在上文已提及，顶叶皮层可能是手指计数活动与数量表征的联结区域，基于镜像神经元机制，推测在顶叶皮层的手指计数活动与数量表征的联结区域与镜像神经元的存在一定的重合区域，也为具身数量理论提供了合理的解释。

具身认知是基础认知的下位概念，强调认知是具身的，也是嵌入的，大脑嵌入身体，身体嵌入环境，构成了一体的认知系统(叶浩生, 2010, 2014)。Fischer 和 Brugger (Fischer & Brugger, 2011; Fischer, 2012) 在研究中提出了数字认知的层次化观点，即基础认知(grounded cognition)，具身认知(embodied cognition) 和情境认知(situated cognition)。按照此观点，基础认知强调数量空间表征的一般性或普遍性联系，具身认知强调数量空间表征的身体效应，情境认知强调数量空间表征的情境性。因此，从基本的身体感觉运动体验来探讨数量空间联结效应是对以往研究的进一步深化，将这种一般性的数量空间联系拓展到主体自身以及主体与环境相互作用层面。

## 6. 小结与研究展望

从基本的感知 - 运动系统来研究数量空间联结效应是对以往研究的一个突破，虽然数量空间联结效应的源研究中曾从身体形式(如交叉手)角度探讨过 SNARC 效应，但没有系统地深入研究，且存在不统一的观点(Dehaene et al., 1993; Wood et al., 2006)。近年来，已有大量研究从身体运动角度来看待数量空间联结效应，取得了诸多进展，但还是存在一些未解决的问题，需要进一步的研究。

首先，身体运动引发的数量空间联结效应的实质与机制尚不清楚。当身体运动参与到数量空间表征时，主体对数量的空间位置编码存在以身体为中心的体内空间参照和以外部世界为中心(如心理数字线)为中的体外空间参照这两种空间编码方式，两者如何起作用以及哪个占主导地位等都没有明确地结论。并且，几乎很少有研究借助于神经影像、脑电等技术来探讨身体运动引发的数量空间联结效应的神经生理机制。那么，未来的研究应着力于探讨身体运动以何种方式对数量进行空间表征，以及身体处于运动状态时数量空间编码联合效应的神经机制，从而进一步地研究身体运动引发的数量空间联结效应的本质。

其次，综合上述的文献可以看到，无论是在儿童群体还是在成人群体，手指计数习惯与 SNARC 效应之间存在一定联系，但是尚缺少研究从发展性的角度来考查儿童时期的手指计数方式是不是数量空间表征的根源。因此，今后的研究可以从纵向的发展角度来深入的研究手指计数对数量空间表征的作用。

最后，从身体角度探究数量空间表征的研究方法与手段比较单一。目前的研究中采用更多的是随机口头数字报告法。这可能是由于身体处于运动状态时，需要解决的技术问题太多，其它研究方法不方便操作等。因此，未来的研究应该突破技术难题，丰富研究方法，更全面地研究身体运动对数量空间表征

的作用。

## 7. 具身数量的应用价值

传统的空间数量表征的研究都是在二维空间里进行的,而近年来虚拟现实技术逐渐运用到心理学研究中,并且虚拟现实能够为被试提供三维立体视觉,是研究空间表征的良好工具。虚拟现实指利用计算机模拟产生一个三维空间的世界,提供使用者关于感觉、知觉、触觉等感官的模拟,使用者体验到如同身临其境一般。而人的身体在虚拟空间认知中发挥了重要的作用。因为在虚拟环境中,当不能形成良好的环境中心参照系表征时,被试可能会使用自身的身体为参照,这样身体便成了虚拟环境与现实空间的桥梁,从而将现实空间的空间能力映射到虚拟环境中。从身体运动来研究数量的空间表征,探讨空间数量表征的机制,研究身体在现实环境中对空间表征的作用,从而对于构建更适人化的虚拟环境具有重要的意义。

其次具身数量研究能够促进虚拟现实技术在空间认知中的应用,从二维空间向三维空间转化,为研究人们在大场景(或大尺度)中的空间表征提供启发。具身认知观强调身体活动在认知中的作用,而空间范围中的大尺度空间指人需要通过身体移动,空间更新才能接触到环境,因此人们在大尺度空间里的空间判断能力需要借助于具身的参照框架。未来的研究可以结合虚拟现实技术,探究在现实环境中人们进行空间数量表征的方式。一方面能够突破传统研究方法而更深入地探究空间数量表征的机制,另一方面又能够促进虚拟现实技术在心理学中的运用。

## 基金项目

陕西师范大学中央高校基本科研业务费专项资金(GK201505143)资助。

## 参考文献 (References)

- 陈巍,汪寅(2013). 独水上的桥梁:镜像神经元与教育实践——兼对“镜像教育”的批判. *全球教育展望*, 42(1), 74-85.
- 李其维(2008). “认知革命”与“第二代认知科学”刍议. *心理学报*, 40(12), 1306-1327.
- 王一峰,张丽,刘春雷,李红(2010). 空间量化的心理表征. *心理科学进展*, 18(4), 560-568.
- 叶浩生(2010). 具身认知:认知心理学的新取向. *心理科学进展*, 18(5), 705-710.
- 叶浩生(2014). 具身涵义的理论辨析. *心理学报*, 46(7), 1032-1042.
- 叶浩生(2012). 具身认知、镜像神经元与身心关系. *广州大学学报(社会科学版)*, 11(3), 32-36.
- Andres, M., Michaux, N., & Pesenti, M. (2012). Common Substrate for Mental Arithmetic and Finger Representation in the Parietal Cortex. *Neuroimage*, 62, 1520-1528. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.047>
- Andres, M., Olivier, E., & Badets, A. (2008). Actions, Words, and Numbers. A Motor Contribution to Semantic Processing? *Current Directions in Psychological Science*, 17, 313-317. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00597.x>
- Badets, A., & Pesenti, M. (2010). Creating Number Semantics through Finger Movement Perception. *Cognition*, 115, 46-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2009.11.007>
- Badets, A., Bouquet, C. A., Ric, F., & Pesenti, M. (2012). Number Generation Bias after Action Observation. *Experimental brain research*, 221, 43-49. <http://dx.doi.org/10.1007/s00221-012-3145-1>
- Badets, A., Boutin, A., & Heuer, H. (2015). Mental Representations of Magnitude and Order: A Dissociation by Sensorimotor Learning. *Acta Psychologica*, 157, 164-175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.03.004>
- Chen, Y. H., Zhou, J. F., & Yeh, S. L. (2015). Beyond the SNARC Effect: Distance-Number Mapping Occurs in the Peripersonal Space. *Experimental Brain Research*, 233, 1519-1528. <http://dx.doi.org/10.1007/s00221-015-4225-9>
- Cook, R., Bird, G., Catmur, C., Press, C., & Heyes, C. (2014). Mirror Neurons: From Origin to Function. *Behavioral and Brain Science*, 37, 177-192.
- Crollen, V., Dormala, G., Seron, X., Lepore, F., & Collignon, O. (2013). Embodied Number: The Role of Vision in the Development of Number-Space Interactions. *Cortex*, 49, 276-283. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2011.11.006>

- 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>
- Di Luca, S., Grana, A., Semenza, C., Seron, X., & Pesenti, M. (2006). Finger-Digit Compatibility in Arabic Numeral Processing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1648-1663. <http://dx.doi.org/10.1080/17470210500256839>
- Di Luca, S., Lefevre, N., & Pesenti, M. (2010). Place and Summation Coding for Canonical and Non-Canonical Finger Numeral Representations. *Cognition*, 117, 95-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2010.06.008>
- Domahs, F., Moller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H.-C. (2010). Embodied Numerosity: Implicit Hand-Based Representations Influence Symbolic Number Processing across Cultures. *Cognition*, 116, 251-266. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2010.05.007>
- Eerland, A., Guadalupe, T., & Zwaan, R. (2011). Leaning to the Left Makes the Eiffel Tower Seem Smaller: Posture-Modulated Estimation. *Psychological Science*, 22, 1511-1514. <http://dx.doi.org/10.1177/0956797611420731>
- Fischer, M. H. (2008). Finger Counting Habits Modulate Spatial-Numerical Associations. *Cortex*, 44, 386-392. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.004>
- Fischer, M. H. (2012). A Hierarchical View of Grounded, Embodied, and Situated Numerical Cognition. *Cognitive Process*, 13, S161-S164. <http://dx.doi.org/10.1007/s10339-012-0477-5>
- Fischer, M. H., & Brugger, P. (2011). When Digits Help Digits: Spatial-Numerical Associations Point to Finger Counting as Prime Example of Embodied Cognition. *Frontiers in Psychology Cognition*, 2, 260. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00260>
- 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, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2011). Sensori-Motor Spatial Training of Number Magnitude Representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 177-183. <http://dx.doi.org/10.3758/s13423-010-0031-3>
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action Recognition in the Premotor Cortex. *Brain*, 119, 593-609. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/119.2.593>
- Galton, F. (1880). Visualised Numerals. *Nature*, 21, 252-256. <http://dx.doi.org/10.1038/021252a0>
- Gevers, W., Reynvoet, B., & Fias, W. (2003). The Mental Representation of Ordinal Sequences Is Spatially Organized. *Cognition*, 87, B87-B95. [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-0277\(02\)00234-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-0277(02)00234-2)
- Gherri, E., & Eimer, M. (2010). Manual Response Preparation Disrupts Spatial Attention: An Electrophysiological Investigation of Links between Action and Attention. *Neuropsychologia*, 48, 961-969. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.017>
- Hartmann, M., Grabherr, L., & Mast, F. W. (2011). 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>
- Hartmann, M., Farkas, R., & Mast, F. W. (2012). Self-Motion Perception Influences Number Processing: Evidence from a Parity Task. *Cognitive Processing*, 13, S189-S192. <http://dx.doi.org/10.1007/s10339-012-0484-6>
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): A Framework for Perception and Action Planning. *The Behavioral and Brain Science*, 24, 849-878. <http://dx.doi.org/10.1017/S0140525X01000103>
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between Number and Space in Parietal Cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 435-448. <http://dx.doi.org/10.1038/nrn1684>
- Kaufmann, L., Vogel, S. E., Wood, G., Kremser, C., Schocke, M., Zimmerhackl, L. B., & Koenig, J. W. (2008). A Developmental fMRI Study of Nonsymbolic Numerical and Spatial Processing. *Cortex*, 44, 376-385. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.003>
- Kilner, J. M., & Lemon, R. N. (2013). What We Know Currently about Mirror Neurons. *Current Biology*, 23, R1057-R1062. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.051>
- Lindemann, O., Alipour, A., & Fischer, M. H. (2011). Finger Counting Habits in Middle Eastern and Western Individuals: An Online Survey. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 42, 566-578. <http://dx.doi.org/10.1177/0022022111406254>
- 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>
- Moeller, K., Fischer, U., Link, T., Wasner, M., Huber, S., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2012). Learning and Development of



- Embodied Numerosity. *Cognitive Processing*, 13, S271-S274.
- Nieder, A. (2005). Counting on Neurons: The Neurobiology of Numerical Competence. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 177-190.
- Patro, K., & Haman, M. (2012). The Spatial-Numerical Congruity Effect in Preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111, 534-542. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2011.09.006>
- Penner-Wilger, M., Fast, L., LeFevre, J., Smith-Chant, B. L., Skwarchuk, S., Kamawar, D. et al. (2009). Subitizing, Finger Gnosis, and the Representation of Number. In: *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 520-525).
- Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2007). A Magnitude Code Common to Numerosities and Number Symbols in Human Intraparietal Cortex. *Neuron*, 53, 293-305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2006.11.022>
- Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D., & LeBihan, D. (2001). Modulation of Parietal Activation by Semantic Distance in a Number Comparison Task. *NeuroImage*, 14, 1013-1026. <http://dx.doi.org/10.1006/nimg.2001.0913>
- Pitt, B., & Casasanto, D. (2014). Experiential Origins of the Mental Number Line. In P. Bello, M. Guarini, M. McShane, & B. Scassellati (Eds.), *Processing of the 36th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Riello, M., & Rusconi, E. (2011). Unimanual SNARC Effect: Hand Matters. *Frontiers in Psychology*, 2, 372. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00372>
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The Mirror Neuron System. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Rugani, R., Vallortigara, G., Vallinin, B., & Regoli, L. (2011). Asymmetrical Number-Space Mapping in the Avian Brain. *Neurobiology of Learning and Memory*, 95, 231-238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nlm.2010.11.012>
- Rusconi, E., Walsh, V., & Butterworth, B. (2005). Dexterity with Numbers: rTMS over Left Angular Gyrus Disrupts Finger Gnosis and Number Processing. *Neuropsychologia*, 43, 1609-1624. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.01.009>
- 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. <http://dx.doi.org/10.3758/BF03194909>
- Shaki, S., Petrusic, W. M., & Leth-Steensen, C. (2012). SNARC Effects with Numerical and Non-Numerical Symbolic Comparative Judgments: Instructional and Cultural Dependencies. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38, 515-530. <http://dx.doi.org/10.1037/a0026729>
- Tschentscher, N., Hauk, O., Fischer, M. H., & Pulvermuller, F. (2012). You Can Count on the Motor Cortex: Finger Counting Habits Modulate Motor Cortex Activation Evoked by Numbers. *NeuroImage*, 59, 3139-3148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.037>
- Wood, G., & Fischer, M. H. (2008). Numbers, Space, and Action—From Finger Counting to the Mental Number Line and Beyond. *Cortex*, 44, 353-358. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2008.01.002>
- Wood, G., Nuerk, H.-C., & Willmes, K. (2006). Crossed Hands and the SNARC Effect: A Failure to Replicate Dehaene, Bossini and Giraux (1993). *Cortex*, 42, 1069-1079. [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70219-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70219-3)
- Yang, T., Chen, C., Zhou, X., Xu, J., Dong, Q., & Chen, C. (2014). Development of Spatial Representation of Numbers: A Study of the SNARC Effect in Chinese Children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 117, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2013.08.011>

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ap@hanspub.org](mailto:ap@hanspub.org)