

# 听觉通道下负数的低水平加工引起注意的 SNARC 效应\*

孔 风 赵晶晶 游旭群 张 宇

(陕西师范大学心理学院, 西安 710062)

**摘 要** 采用刺激探测任务, 探讨了听觉通道下负数的低水平加工能否引起注意的 SNARC 效应。结果表明: (1) 负数的低水平加工能够产生注意的 SNARC 效应, 即线索为绝对值小的负数时, 被试对左耳目标反应更快; 线索为绝对值大的负数时, 被试对右耳目标反应更快。(2) 负数的加工所引起听觉空间注意的转移并不依赖于负数所在的情境, 而仅通过其绝对值大小与空间表征发生关联。这一结论与视觉条件下所得到的结论不一致, 并支持了系统发生论假说。

**关键词** 负数, 空间注意转移, 心理数字线, SNARC 效应。

**分类号** B842

## 1 引言

数字在人们的日常生活中扮演着重要的角色, 它是人类对生存环境认识需要的结晶, 并为人类提供了一种描述生存环境的方式。近年来, 数字加工与空间表征关系的研究引起了越来越多研究者的关注。在 Dehaene 等人的经典实验中要求被试对数字进行大小比较或是奇偶判断, 结果发现被试对大数的反应右手显著快于左手, 而对小数的反应左手快于右手 (Dehaene, Bossin, & Giraux, 1993; Dehaene, Dupoux, & Mehler, 1990)。他们将这一现象称为反应编码的空间数字联合效应 (*spatial-numerical association of response codes effect*, 简称 SNARC 效应)。随后, 研究者采用不同的数字形式 (如阿拉伯数字、言语数字、听觉数字等) 以及不同的反应方式 (如眼动反应、双脚反应等) 都发现了这种效应的存在 (Nuerk, Wood, & Willmes, 2005; Schwarz & Keus, 2004; Schwarz & Müller, 2006)。而且在一些数字大小不相关任务 (如奇偶判断任务、音位检测任务等) 中, 这种效应也被证实 (Dehaene, Dupoux, & Mehler, 1990; Fias, Brysbaert, Geypens, & d'Ydewalle, 1996)。这说明数字加工与空间表征的联结不需要外显的数字大小信息, 具有一定的稳定性和自动性。

SNARC 效应的发现表明人们对数字的加工会对视觉空间注意有显著的影响。Fischer, Castel, Dodd 和 Pratt (2003) 从空间注意的角度探讨了数字加工与空间注意的关系。在他们的实验中, 采用刺激探测任务, 即短暂呈现一个数字 (1、2、8 或 9) 后对随后出现的目标刺激进行反应, 结果发现简单的数字知觉引起了空间信息的自动激活: 当小数字 (1 和 2) 出现时, 被试对左视野目标反应更快; 当大数字 (8 和 9) 出现时, 被试对右视野目标反应更快。这与 SNARC 效应很类似, Dodd 等将这种数字加工与空间注意的关系称为注意的 SNARC 效应 (Attentional SNARC, Dodd, Van der Stigchel, Leghari, Fung, & Kingstone, 2008)。随后, Casarotti、Michielin、Zorzi 和 Umiltà (2007) 在 Fischer 等人的经典范式的基础上进行了改进, 提出了 TOJ (即时间顺序判断) 技术, 结果发现数字知觉仍可引起视觉空间注意的转移。最近, 研究者同样采用数字知觉任务, 用口头反应代替原来的单手反应, 同样可以引发二者的联结 (Nicholls, Loftus, & Gevers, 2008), 这进一步验证了数字加工与空间注意间紧密关联的结论。不过, Dodd 等 (2007) 的研究中发现只有阿拉伯数字的简单知觉才能引起视觉空间注意的转移, 而其它顺序刺激 (如月份、星期、字母等) 则需要更深的加工, 如

收稿日期: 2011-3-16

\* 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) 的资助。

作者简介: 孔 风, 男, 陕西师范大学心理学院研究生。

通讯作者: 游旭群, 男, 陕西师范大学心理学院教授, 博士生导师。Email: youxuqun@snnu.edu.cn。

顺序比较,这表明注意的 SNARC 效应对数字刺激具有特异性。

上述研究表明,数字加工与空间注意是密切关联的,但这些研究仅仅局限于正数。对于负数的研究则相对较少,且这些研究存在着不一致。Nuerk, Iversen 和 Willmes (2004) 采用经典的奇偶判断任务探讨了负数的加工与空间注意的关系,但并没有得到数字加工与空间表征之间的联结。高在峰等人 (2009) 的研究采用快速数字大小区分范式发现负数的空间表征仅与数字的绝对值有关,而与负号无关。Shaki 和 Petrusic (2005) 的研究发现负数的加工和表征依赖于数字情境,负数在心理数字线的表征方向依赖于是否有正数的存在。这在张宇,雷维娜和游旭群 (2010) 的研究中得到验证。他们采用视觉刺激探测任务发现负数的低水平加工可以引起视觉空间注意的转移,但仅在正负数混合呈现时才可心理数字线延伸到零的左边。不过, Fischer 和 Rotmann (2005) 的研究显示在正负数混合的条件下对数字进行正负性判断时,负数的数量加工并没有引发二者的联结,随后, Dodd (2011) 的研究中使用视觉刺激探测任务再次验证这一结论。产生这些不一致结果的原因除了这些研究使用不同任务外,还可能是由于不同的文化背景导致的。中国个体在不同的任务中都表现出 SNARC 效应,这可能是因为相对于西方个体而言,中国个体对负数的认识较早,因此更容易形成稳固的负数的空间表征,当正负数混合呈现时,位于数字左边的负号也可以与外部空间发生关联。例如,在刺激探测任务中,德国被试没有发现注意的 SNARC 效应 (Dodd, 2011),而中国被试中发现注意的 SNARC 效应,且被数字所在的情境所调节 (张宇,雷维娜,游旭群, 2010)。

对于这种空间数字联合效应,一些研究者认为这是由于日常的阅读和写作习惯造成的 (Dehaene, et al., 1993; Shaki, Fischer, & Petrusic, 2009; Zebian, 2005)。而以往对于这种效应的研究多集中于视觉通道,但这种条件下对这些印刷词阅读的方向性行为极有可能影响这种空间偏向。因此,听觉任务比视觉任务更合适。但目前对于听觉通道则缺乏系统研究。已有研究发现,听觉通道下正数具有空间分布表征,且与视觉通道下的空间表征模式相似 (Nuerk, et al., 2005; Schwarz & Müller, 2006)。随后, Salillas, Graná, El-Yagoubi 和 Semenza (2009) 首次将视觉刺激探测范式迁移到听觉通道,即中央耳短

暂呈现一个数字 (1、2、8 或 9) 后对随后出现在左耳或右耳的目标刺激 (即白噪音) 进行反应,结果发现被试对正数的简单知觉便引起听觉空间注意的转移。但目前鲜有研究者探讨听觉条件下负数的低水平加工与空间注意间的关系。本研究认为听觉条件下负数的负号和数字是序列呈现而不是像视觉条件下同时呈现,同时负数的负号不具有任何空间位置信息。因此,听觉条件下负数的空间表征可能具有特异性。基于此,本研究采用听觉刺激探测任务探讨负数的低水平加工能否和如何引起听觉空间注意的转移。根据前人的研究,本研究假设,在听觉通道下,负数的表征也受其数字情境的影响:仅负数被呈现时,出现反转注意的 SNARC 效应;正负数混合被呈现时,出现标准注意的 SNARC 效应。

## 2 实验一

采用负数材料以探测形式考察被试听觉空间注意的转移,检测听觉通道是否存在注意的 SNARC 效应。基于先前的研究 (张宇,雷维娜,游旭群, 2010),本研究假设,听觉通道下负数的低水平加工会出现注意的 SNARC 效应。

### 2.1 方法

#### 2.1.1 被试

被试为 21 名在校本科生,年龄在 18~28 岁之间,平均年龄为  $21.3 \pm 2.5$  岁,均为右利手,听力均正常。

#### 2.1.2 实验材料与装置

实验在保持日光灯照明的室内进行,被试坐在距离计算机屏幕 45cm 处,实验材料包括四个负数 (-1、-2、-8 和 -9) 及两个白噪音。数字刺激由语音合成软件 V2.36 合成,均由男声汉语普通话读出。两个白噪音由 GoldWave5.58 合成,分别在左右耳单声道呈现,持续时间为 100ms。所有刺激音频格式为 PCM,平均数据速率为 44100kb/s,采样率为 22.25kHz,音频采样大小为 16 位,立体声。全部实验在显示器为 15 英寸的联想机上完成,刷新频率为 75Hz,分辨率为 800×600,实验程序由 E-prime 编制,所有刺激均通过挂式耳机呈现。

#### 2.1.3 实验设计与程序

实验采用 2 (目标位置:左和右) × 2 (数字大小:小和大) × 3 (可变延迟:250ms, 450ms 和 650ms) 的被试内设计。因变量为反应时。首先会有 500ms 的延迟,接着在耳机中央会随机出现一

个负数（即-1、-2、-8或-9）作为线索，呈现500ms，线索消失后会随机出现一个可变延迟，分别为250ms、450ms和650ms，然后在左耳或右耳会随机出现一个白噪音，要求被试听到白噪音均用右手按空格键反应。每次试验结束后，空屏700ms，然后开始下一次试验。为避免被试过早反应，加入一定次数的空白实验，即没有白噪音出现时不做出反应。

要求被试保证眼睛在整个实验过程都是紧闭的。在正式实验前，要求被试完成16次练习，正确率达到98%方可进行正式实验。正式实验共包括280次实验，其中空白实验40次，占总实验次数的14.3%。

## 2.2 结果与讨论

首先剔除不合格数据，即被试反应错误，反应优先目标出现和所有反应时小于200ms或大于1200ms的数据，删除的数据占全部数据不到5.0%。每个被试的正确率均在95%以上。

实验结果采用 $2 \times 2 \times 3$ 的重复测量方差分析，结果表明可变延迟的主效应显著， $F(2,40) = 30.33$ ,  $p < 0.001$ ，见图1。进一步的分析发现，450ms的可变延迟下反应时最短（390.14ms），其次是250ms可变延迟下的反应时（400.14ms），再次是650ms可变延迟下的反应时（421.94ms）。目标位置与数字大小的交互作用显著， $F(1,20) = 12.27$ ,  $p = 0.002$ ，即出现注意的SNARC效应。见图2。当探测刺激前的线索为绝对值小的负数（-1和-2）时，对左侧刺激（401.35ms）的探测显著快于右侧（407.06ms），当数字探测前的线索为绝对值大的负数（-8和-9）时，对右侧刺激（401.97ms）的探测显著快于左侧（405.92ms）。目标位置的主效应不显著， $F(1,20) = 0.01$ ,  $p > 0.05$ 。数字大小的主效应不显著， $F(1,20) = 0.04$ ,  $p > 0.05$ 。三个变量间的交互作用也不显著， $F(2,40) = 0.07$ ,  $p > 0.05$ 。

本实验结果表明，简单的数字知觉可以引起听觉注意的SNARC效应。这一结果与在视觉条件下中国被试中发现的结论相一致（张宇，雷维娜，游旭群，2010），如张宇等人采用视觉刺激探测任务发现负数的低水平加工可以引起视觉空间注意的转移，在仅呈现负数的条件下这种空间偏向仅仅依赖于数字的绝对值大小，而不是数值大小。但是，该实验中，刺激仅包括负数。当所有刺激出现时，被试会迅速适应，使符号变得没有意义，从而只对整

数部分进行加工。在张宇等人的研究中，当正负数混合时，对负数的低水平加工所引起的视觉空间注意转移的方式会发生变化，不是依赖于负数的绝对值而是数量大小的加工。因此，在实验二中，采用正负数混合呈现作为目标刺激前的线索，从而确保被试不会忽视负号而将负号和整数部分作为整体进行加工。因此，本研究假设正负数混合呈现时，负数的空间加工依赖于其数量大小，因而得到反转的注意的SNARC效应。

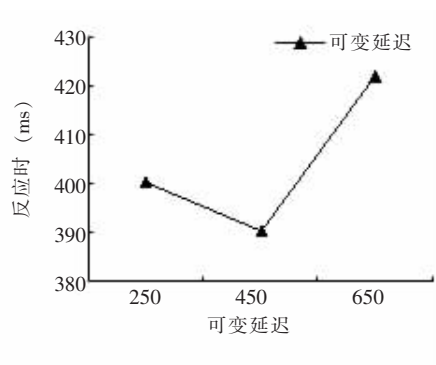


图1 实验一不同延迟下的反应时

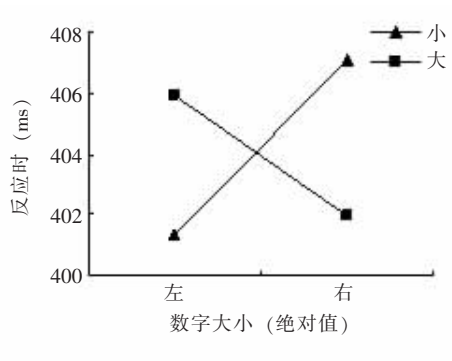


图2 实验一负数的注意的SNARC效应

## 3 实验二

### 3.1 方法

#### 3.1.1 被试

被试为22名在校本科生和研究生，年龄在18~28岁之间，平均年龄为 $20.1 \pm 2.6$ 岁，均为右利手，听力均正常。

#### 3.1.2 实验设计与程序

本实验采用 $2$ （目标位置：左和右） $\times 2$ （数字大小：小和大） $\times 3$ （可变延迟：250ms、450ms和650ms）的被试内设计。

除实验材料加入负数所对应的4个正数刺激（1、2、8和9）外，实验装置及其余实验条件与实



验一相同。正式实验前要求被试完成 16 次练习。正式实验分成 3 个组块, 每个组块包含 160 次试验, 总共 480 次实验, 其中空白实验次数占 10%。组间休息 2 分钟。

### 3.2 结果与讨论

同实验一, 首先剔除不合格数据, 即被试反应错误, 反应优先目标出现和所有反应时小于 200ms 或大于 1200ms 的数据, 删除的数据占全部数据不到 5.0%。每个被试的正确率均在 95% 以上。

实验结果采用  $2 \times 2 \times 3$  的重复测量方差分析, 结果表明可变延迟的主效应显著,  $F(2, 42) = 33.68$ ,  $p < 0.001$ , 见图 3。进一步分析发现, 450ms 的可变延迟下反应时最短 (353.75ms), 其次是 250ms 可变延迟下的反应时 (364.18ms), 再次是 650ms 可变延迟下的反应时 (380.10ms)。目标位置与数字大小的交互作用显著,  $F(1, 21) = 13.32$ ,  $p = 0.001$ , 即出现注意的 SNARC 效应, 见图 4。当探测刺激前的线索为绝对值小的负数 (-1 和 -2) 时, 左侧刺激 (361.98ms) 的探测显著快于右侧 (366.08ms), 当数字探测前的线索为绝对值大的负数 (-8 和 -9) 时, 右侧刺激 (365.28ms) 的探测显著快于左侧 (370.68ms)。目标位置的主效应不显著,  $F(1, 21) = 0.12$ ,  $p > 0.05$ 。数字大小的主效应不显著,  $F(1, 21) = 2.67$ ,  $p > 0.05$ 。三个变量间的交互作用也不显著,  $F(2, 42) = 1.03$ ,  $p > 0.05$ 。

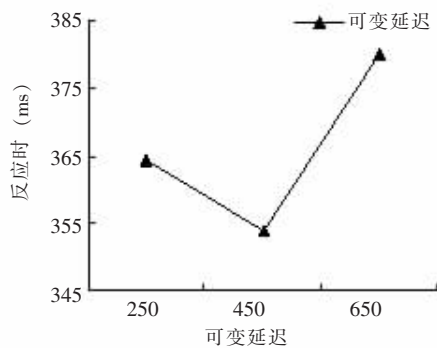


图3 实验二不同延迟下的反应时

本实验结果表明, 简单的数字知觉仍然可以引起听觉注意的 SNARC 效应, 这与实验一得结果相一致, 即听觉条件下负数的注意的 SNARC 效应依赖于负数的绝对值大小, 而不是数值大小。但这与本实验假设不一致, 表明听觉条件下负数的空间表征方式与视觉条件下其空间表征方式不同。听觉条件下负数所

在的数字情境对于注意的 SNARC 效应的方向没有任何影响, 说明听觉条件下负数的空间表征依赖于正数的空间分布表征, 或者说心理数字线无法延伸到零的左侧。本研究认为造成这些结果的原因可能是, 听觉条件下负数的负号和数字是序列呈现而不是像视觉条件下同时呈现, 同时负数的负号不像视觉条件下位于数字部分的左侧, 也就是不具有任何空间位置信息。因此, 听觉条件下负数的空间表征是相当稳定的, 仅仅依赖于其绝对值大小。

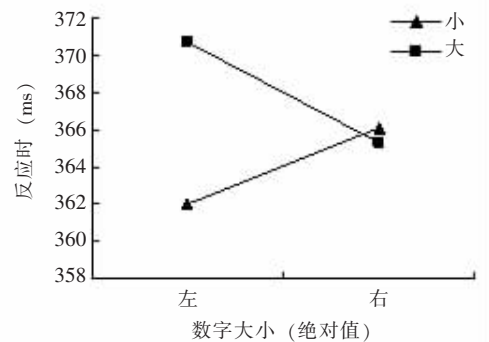


图4 实验二负数的注意的 SNARC 效应

## 4 总讨论

本研究中两个实验采用不同的数字刺激作为线索, 首次探讨了听觉条件下负数如何引起听觉空间的注意转移。实验一在只有负数作为线索的条件下, 发现负数加工可以引起空间注意的转移, 但依靠其绝对值的大小。实验二采用正负数混合作为线索, 得到与实验一相类似的结果, 即当探测刺激前的线索为绝对值小的负数时, 左侧刺激的探测显著快于右侧, 当数字探测前的线索为绝对值大的负数时, 右侧刺激的探测显著快于左侧。两个实验的结果表明, 听觉条件下负数的加工方式是单一的。尽管设置了不同的数字情境, 但是, 个体仍然很难将负号和整数部分作为一个整体被加工, 而只能依赖于其绝对值大小, 因此, 负数很难以常态的方式映射到心理数字线上, 即小数表征在心理数字线左侧, 大数表征在心理数字线右侧。这与在视觉条件下负数的低水平加工所引起的空间注意的作用模式不一致 (张宇, 雷维娜, 游旭群, 2010), 表明负数的加工与空间表征的联结有赖于通道的特异性。听觉条件下负数是以绝对值大小的方式映射于这条心理数字线上, 或者说, 负数的空间加工有赖于正数

的空间分布表征。而视觉条件下负数的空间表征受文化的影响较大。在西方文化中, 很难引发二者的联结 (Nuerk et al., 2004; Fischer & Rotmann, 2005; Dodd, 2011)。但在中国文化中负数的空间表征很容易受负数所在数字情境以及加工深度的影响。在刺激探测任务中, 当正负数混合呈现时, 心理数字线有能力延伸到零的左侧 (张宇, 雷维娜, 游旭群, 2010)。但在视觉刺激探测任务中, 负数的空间表征仅仅依赖于其绝对值大小, 很难表征到心理数字线上。当然, 本研究首次验证了负数加工与空间表征的关联在听觉条件下仍可稳定的产生, 从而补充了负数空间表征存在的实证基础。

本研究结果进一步支持了系统发生论假说 (*Phylogenetic hypothesis*)。该假说与个体发生论假说相对立, 其基本观点是, 人们对正数的数量表征能力是先天的, 是通过物种进化和遗传得来的 (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004; Fischer, 2003), 而负数的概念则从后天学习得来, 是人们在数学发展的过程中创造出来的。因此, 负数很难像正数一样按一定的空间分布排列到心理数字线上, 它的表征依赖于正数的空间分布表征, 符号也不会影响负数在心理数字线上的表征方向。因此, 负数的空间表征是按照其绝对值的大小从左到右表征在心理数字线上的, 比如-3 表征在心理数字线的左侧, -9 表征在心理数字线的右侧。这一假说也得到一些研究的支持, 如国内高在峰等的研究要求对负数进行快速大小区分, 发现 SNARC 效应受负数绝对值大小的影响, 当正负数混合呈现时, 尽管确保被试加工符号, 但并没有对这种表征产生任何影响。

本研究结果还扩展了抽象概念可以引起空间注意转移的实证基础。先前的研究发现对于空间方位词和表示过去或将来的时间词的简单知觉便可以引起空间注意的转移, 如当线索词为过去时间词时, 左视野目标的探测更快; 相反当线索词为将来时间词时, 右视野目标的探测更快 (Ho & Spence, 2006; Kong & You, 2011; Ouellet, Santiago, Funes, & Lupiáñez, 2010)。这些结果与传统使用箭头作为中央线索的结果模式相一致, 表明这些概念线索与传统线索可能具有共同的注意定向机制。

另外, 两个实验结果均发现在延迟时间为 450ms 时, 被试的反应时最短。这可能是因为在听觉条件下, 这个时间是工作记忆负荷的指标。此时任务相关的刺激与工作记忆中内部表征极易发生匹

配, 即负数的数量加工与空间位置间极易发生联结。这需要未来的研究采用认知神经科学技术 (如 ERP 等) 做进一步验证。

## 5 结论

本研究得出如下结论: (1) 听觉条件下负数的低水平加工可以引起听觉空间的转移, 即产生注意的 SNARC 效应。(2) 听觉条件下的负数加工与空间注意的关系依赖于负数的绝对值大小, 而与所处的数字情境无关。该结果进一步支持了系统发生论假说。

## 参 考 文 献

- 高在峰, 水仁德, 陈晶, 陈雯, 田瑛, 沈模卫. (2009). 负数的空间表征机制. *心理学报*, 41, 95-102.
- 张宇, 雷维娜, 游旭群. (2010). 负数的低水平加工引起的空间注意转移. *心理科学*, 33, 819-822.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 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: Human Perception and Performance*, 16, 26-641.
- Dodd, M. D. (2011). Negative numbers eliminate, but do not reverse, the attentional SNARC effect. *Psychological Research*, 75, 2-9.
- Dodd, M. D., Van der Stigchel, S., Leghari, M. A., Fung, G., & Kingston, A. (2008). Attentional SNARC: There's something special about numbers (let us count the ways). *Cognition*, 108, 810-818.
- Feigenson, L., & Dehaene, S. (2004). Spelke E. Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 307-314.
- Fias, W., Brysbaert, M., Geypens, F., & d'Ydevalle, G. (1996). The importance of magnitude information in numerical processing: Evidence from the SNARC effect. *Mathematical Cognition*, 2, 95-110.
- Fischer, M. H., Castel, A. D., Dodd, M. D., & Pratt, J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 6, 555-556.
- Fischer, M. H., & Rottmann, J. (2005). Do negative numbers have a place on the mental number line? *Psychological Science*, 47, 22-32.
- Ho, C., & Spence, C. (2006). Verbal interface design: Do verbal directional cues automatically orient visual spatial attention? *Computers in Human Behavior*, 22, 733-748.
- Kong, F., & You, X. (2011). Space-time compatibility effects in

- the auditory modality. *Experimental Psychology*. DOI: 10.1027/1618-3169/a000129.
- Nicholls, M. E. R., Loftus, A. M., & Gevers, W. (2008) . Look, no hands: A perceptual task shows that number magnitude induces shifts of attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 413–418.
- Nuerk, H. C., Iversen, W., & Willmes, K. (2004) . Notational modulation of the SNARC and the MARC (Linguistic markedness of response codes) effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 57, 835–863.
- 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.
- Ouellet, M., Santiago, J., Funes, M. J., & Lupiáñez, J. (2010) . Thinking about the future moves attention to the right. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36, 17–24.
- Salillas, E., Graná, A., El-Yagoubi, R., & Semenza, C. (2009) . Numbers in the blind's "eye" . *PLoS One*, 4, e6357.
- 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.
- 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.
- Schwarz, W., & Muller, D. (2006) . Spatial associations in number-related tasks: A comparison of manual and pedal responses. *Experimental Psychology*, 53, 4–15.
- Shaki, S., & Petrusic, W. M. (2005) . On the mental representation of negative numbers: Context-dependent SNARC effects with comparative judgments. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 931–937.
- Weger, U., & Pratt, J. (2008) . Time flies like an arrow: Space-time compatibility effects suggest the use of a mental time-line. *Psychonomic Bulletin and Review*, 15, 426–430.
- 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 & Culture*, 5, 166–190.

## The Attentional SNARC Effect Caused by Low-level Processing of Negative Numbers in Auditory Modality

Kong Feng, Zhao Jingjing, You Xuqun, Zhang Yu

(College of Psychology, Shanxi Normal University, Xi'an 710062)

### Abstract

By using stimuli detection task, the present study was to investigate whether low-level processing of negative numbers could cause attentional SNARC (*Spatial Numerical Association of Response Codes*) effect in the auditory modality. The results showed that: (1) Low-level processing of negative numbers could elicit the attentional SNARC effect in the auditory modality. Left (right) targets are detected significantly faster than right (left) ones when numbers with small (large) absolute value are preceded. (2) The spatial shifts of attention caused by negative numbers depended upon their absolute value, independent of their context, which was inconsistent with the findings in the visual modality, revealing that the spatial shifts of attention caused by negative numbers were special in different modalities and supported the phylogenetic hypothesis.

**Key words** negative numbers, spatial shifts of attention, mental number line, SNARC effect.