

# 纯小数加工的心理机制：选择通达还是平行通达？

孙悦亮<sup>1,2</sup> 郑伟意<sup>1</sup> 何先友<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 华南师范大学心理应用研究中心/心理学院/心理健康与认知科学广东省重点实验室, 广州 510631)

(<sup>2</sup> 韩山师范学院教育科学学院, 广东 潮州 521041)

**摘 要** 采用数字线索提示的目标觉察范式, 以 60 名在校大学生与研究生为被试, 设计 3 个实验探讨纯小数(整数部分是零的小数, 例如 0.2)的加工及其与空间表征的联系。实验 1 探讨纯小数作为线索时是否能引起空间注意的空间-数字反应编码联合效应(Spatial Numerical Association of Response Codes, SNARC), 结果发现, 纯小数数量大小的加工可以引起空间注意的 SNARC 效应; 实验 2 探讨纯小数的加工是否会同时激活小数点后对应的自然数, 结果发现, 对纯小数数量大小相同、小数点后对应的自然数是否有 0(例如 0.2 和 0.20, 0.4 和 0.40)的加工能引起空间注意的转移; 实验 3 比较纯小数的加工对纯小数本身及小数点后对应的自然数激活强度, 结果发现, 在纯小数数量大小判断和纯小数小数点后对应的自然数数量大小判断冲突的条件下, 纯小数的加工未能引起注意的 SNARC 效应。该研究结果表明, 在目标觉察范式中, 纯小数的加工采取了平行通达的方式, 引发了注意的 SNARC 效应, 并且纯小数空间注意的转移受到纯小数本身以及对应的自然数的影响。

**关键词** 纯小数; SNARC 效应; 空间注意转移; 平行通达假说

**分类号** B842

## 1 前言

数字的出现是基于人类对计算物体数目的需要。随着人类社会活动的增加, 抽象思维也不断得到发展, 人们发现测量物体时往往会得到不是整数的数, 古人就发明了小数来补充整数。小数是十进制分数的一种特殊表现形式。小数由整数部分、小数部分和小数点组成。整数部分是零的小数叫做纯小数, 整数部分不是零的小数叫做带小数, 例如 0.3 是纯小数, 3.1 是带小数。由此可见, 小数与整数具有紧密的关系。要全面理解数字的加工与认知, 同样需要关注纯小数的加工(Siegler, Thompson, & Schneider, 2011; Varma & Schwartz, 2011)。

近年来, 对数字的认知加工和心理表征吸引了越来越多研究者的兴趣。已有一些研究者对整数的认知机制进行了研究, 特别是对 10 以内的整数的研究更为普遍(Moyer & Landauer, 1967; Dehaene, Dupoux, & Mehler, 1990)。这些研究为我们认识数

字的认知机制提供了很多证据。由于纯小数与整数在数的性质上存在一定的差异, 因此关于纯小数的加工和表征可能也与整数不尽相同。纯小数的加工与表征是否也与空间存在关联, 这种关联与整数与空间的关联是否相同, 整个数字大家族与空间的关联如何等都是值得探讨的问题。

自 Dehaene 和同事首次发现数字加工和空间认知的关系后(Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993; Dehaene et al., 1990), 数字的空间表征和加工机制一直是数字认知研究的热点问题。在 Dehaene 等(1990)的实验中, 被试的任务是对数字做奇偶判断, 数字的大小是任务不相关的, 结果发现, 不论是奇数还是偶数, 被试对小数字的反应左手要显著快于右手, 而对大数字的反应则是右手显著快于左手, 这种现象被称为空间-数字反应编码联合效应(Spatial Numerical Association of Response Codes, SNARC), 这种效应显示, 人们对数字进行加工和表征时, 存在一条“心理数字线(Mental Number

Line, MNL)”,其方位很可能是自左向右的,小数字表征在心理数字线的左侧,大数字则表征在心理数字线的右侧。更重要的是,数字加工与空间认知的联合关系似乎说明了对数字的空间信息的编码和表征很可能是在较低水平加工,并且是快速和自动完成的(Dehaene et al., 1993; Mapelli, Rusconi, & Umiltà, 2003)。此后,很多研究者采用不同的范式和刺激材料更深入地探讨了这一效应,结果都一致证明了数字和空间的确存在着编码联合效应(Nuerk, Wood, & Willmes, 2005; 刘超, 买晓琴, 傅小兰, 2004; Schwarz & Keus, 2004; Fischer, Warlop, Hill, & Fias, 2004; Gevers, Reynvoet, & Fias, 2003)。

Fischer, Castel, Dodd 和 Pratt (2003)从空间注意的角度对数字加工引起的空间信息的自动激活进行了研究(Fischer et al., 2003),发现仅仅注视数字就会引起空间注意的转移,当呈现刺激为小数字(1 或 2)时,左侧刺激的探测要快于右侧;当呈现刺激为大数字(8 或 9)时,右侧刺激的探测要快于左侧。由此可以看出,数字大小和注意密切相关,大小信息能引起空间注意的分配和转移,而且注意转移的方向是由大小数字在心理数字线上的空间位置决定的。

自从 Fischer 等(2003)证实空间注意和数字加工的关系以后,对于空间注意如何影响数字加工的研究不断涌现。Dehaene, Molko, Cohen 和 Wilson (2004)提出了数字加工的顶叶三回路理论。刘超等(2004)比较了不同注意条件对数字加工的影响,结果发现,注意对大数字和小数字的影响方式是不一样的:无论是采用内源性线索还是外源性线索,空间注意都在 SNARC 效应中发挥着重要作用;无论是哪一种注意条件,SNARC 效应会随注意强度的减弱而逐渐弱化,而且外源性注意起到的作用要大于内源性注意,这表明自下而上的自动化注意对 SNARC 效应起主要作用。这与 Fischer 等(2003)的研究一致,即 SNARC 效应的发生是一种自动化的过程。

上述研究从不同角度探讨了数字加工和表征与空间表征的关系,但对纯小数的认知加工和表征及其与空间表征的关系还不很清楚。先前对数字加工和表征的研究关注了自然数(整数、正数和负数),特别是对 10 以内的整数的研究,但尚未涉及小数,然而这些研究为探索小数加工的机制提供了重要的启示。

先前对自然数的表征和加工研究,一方面关注

大小比较中一位自然数和多位自然数的连续性和分离性问题,并提出了连续性假说(continuous hypothesis)和分离假说(discrete hypothesis);另一方面从语义和语法的角度关注十进制中的位置值符号系统(place-value symbol system)在命名大量数字时所带来的语义和语法的干扰效应对位置值成分加工(place-value components processed)的影响(Moyer & Landauer, 1967; Nuerk, Weger, & Willmes, 2001; Korvost & Damian, 2008)。

连续性假说认为数字 1~9 所具有的量级大小在心理上是通过距离效应来进行表征:比较一对数字的大小时,二者的量级差异越大,反应时间越快。比如人们比较 1 和 9 的速度要快于 1 和 3 的速度。分离假说认为十进制数字是以结构的形式来表征:基于十进制数字符号系统和具体化的语法表达。十进制数字符号结构的语义意义是通过语义数位值成分中的语法结构规律来呈现和计算的。比如,“29”被表征为十位是 2、个位是 9 的结构,它是由十进制算法所计算出来的。

以往对自然数大小比较的研究验证了上述两种假说,一位自然数在心理加工过程中具有连续的量级大小表征(Moyer & Landauer, 1967),多位自然数的大小比较是被分离表征的,而且其数位价值成分(place-value components)是平行加工的(Hinrichs, Berie, & Mosell, 1982; Poltrock & Schwartz, 1984; Wood, Mahr, & Nuerk, 2005; Korvost & Damian, 2008)。比如人们比较 21 和 87 时相对更快,因为十位数上 2 小于 8,因而 21 小于 87,个位数的 1 也小于 7,因此 21 小于 87。相反,在比较 29 和 83 时反应相对较慢,因为十位数产生的判断是 2 小于 8,而个位数会产生 9 大于 3,二者存在一定的冲突,因此反应时延长。

由于纯小数与整数在数的性质上存在一定的差异,先前研究未能涉及纯小数的数位价值成分平行加工问题。直至 2013 年,Varma 等人采用大小比较任务首次对纯小数的加工与空间表征的关系进行了研究,该研究的意义在于:首先,Varma 和 Karl (2013)在综述先前自然数的表征和加工研究成果基础上,从纯小数的语义和语法关系角度论述了纯小数表征和加工的选择通达假说(elective access hypothesis)和平行通达假说(parallel access hypothesis)。选择通达假说认为,纯小数的加工与表征只激活了一个正确的指示物(referent),并且这个指示物就是纯小数本身。与之相反,平行通达假

说认为, 纯小数的加工与表征同时激活了正确的和不正确的指示物, 即不仅激活了纯小数本身, 同时还激活了小数点右边的自然数。平行通达假说支持语义干扰效应, 即当纯小数的加工与表征同时激活了正确的和不正确的指示物时会产生冲突的判断, 导致反应时变慢, 如比较 0.2 和 0.87 会相对较快, 因为 0.2 小于 0.87, 2 小于 87, 而 0.27 和 0.9 的判断会更慢, 因为 0.27 小于 0.9, 而 27 大于 9。其次, Varma 和 Karl (2013) 的研究结果发现, 纯小数的大小表征存在语义干扰效应 (semantic interference effect), 语义干扰效应的发现证明了平行通达假说, 而不是选择通达假说; 同时, 纯小数也存在 SNARC 效应。

因此, Varma 和 Karl (2013) 的研究拓展了数字的加工与认知研究领域, 为探索纯小数加工的机制提供了重要的证据和启示。正是基于 Varma 和 Karl (2013) 研究的启示和对纯小数加工的机制的探究, 启发我们改进研究范式, 从而对纯小数的加工及其与空间表征的联系进行深入研究。

已有研究认为, 任务要求可能影响数字表征, 特定的任务要求可能诱导被试产生不同的表征 (Bächtold, Baumüller, & Brugger, 1998; Fischer & Rottmann, 2005; Hung, Hung, Tzeng Ovid, & Wu, 2008; Lindemann, Abolafia, Pratt, & Bekkering, 2008; Shaki & Fischer, 2008; Shaki & Petrusic, 2005)。要探究不同符号数字以及非数字信息的空间表征机制, 自动加工范式有其独特优势, 这可以使线索信息的加工不会受到任务要求和有意反应策略的影响 (Kadosh, 2008; Kadosh, Henik, & Rubinsten, 2008; Tzelgov & Ganor-Stern, 2004)。自动化加工可以给探究表征机制问题提供一种更好的途径 (Ganor-Stern & Tzelgov, 2008; Ganor-Stern, Tzelgov, & Ellenbogen, 2007)。Tzelgov 和 Ganor-Stern (2004) 认为, 当数字被自动加工而且被试按要求无意识完成实验任务时, 可以更好地对心理表征进行探测, 因此, 为了解数字心理表征的基本特征, 应该使用把有意策略最小化的实验范式。

尽管 Varma 和 Karl (2013) 对纯小数的加工和表征的研究取得了意义重大的结论, 但由于 Varma 和 Karl (2013) 的研究使用的实验任务属于有意控制任务, 被试的反应可能受到自身的有意反应策略的影响, 而且, 大小判断等二分类别判断可能产生言语编码, 进而影响了数字自动表征的结果。因此, 我们认为, 使用有意策略最小化的实验范式可以更好

的探究纯小数的加工及其与空间表征的联系, 研究结论将为纯小数的加工与表征机制提供新的研究证据。

因此, 本研究采用 Dodd 等 (Dodd, van der Stigchel, Leghari, Fung, & Kingstone, 2008) 使用的目标觉察范式 (该实验范式中实验任务与考察目标无关, 而且实验任务完成过程中排除了其他认知过程), 对纯小数的加工及其与空间表征的联系进行深入研究。本研究设计了 3 个实验, 探讨纯小数的加工是否能引起空间注意的 SNARC 效应, 从而探讨纯小数的通达方式。实验 1 采用目标觉察范式 (Dodd et al., 2008), 使用纯小数和小数点后自然数的数量大小判断一致的材料, 探讨纯小数作为线索时是否可以引起空间注意的 SNARC 效应。研究逻辑是, 如果纯小数能够诱发注意的空间转移, 那么在目标觉察任务中, 纯小数大小表征会影响空间目标觉察反应, 就会引发注意 SNARC 效应, 则支持平行通达假设。实验 2 探讨数量值大小相同但表达方式不同的纯小数能否引起注意的 SNARC 效应。研究逻辑是, 如果纯小数的加工符合平行通达假说, 即同时激活了纯小数本身及小数点右边的自然数, 那么在数量值大小相同但表达方式不同的纯小数之间就会出现注意 SNARC 效应, 则支持平行通达假说。反之, 如果纯小数的加工符合选择通达假说, 即只是激活了纯小数本身, 则不会出现注意 SNARC 效应。实验 3 比较纯小数的加工对小数本身及对应的自然数激活强度的大小。研究逻辑是, 在纯小数本身大小判断与对应自然数大小判断不一致的条件下, 如果纯小数的加工同时激活了纯小数本身及小数点右边的自然数, 并且纯小数本身与小数点右边的自然数激活强度一样大时, 那么不会出现注意 SNARC 效应, 则支持平行通达假设; 如果纯小数本身的激活强度与小数点右边的自然数不一样, 则会出现注意 SNARC 效应, 则支持选择通达假说。

## 2 实验 1 纯小数引发的注意 SNARC 效应研究

### 2.1 实验目的

采用目标觉察范式, 使用纯小数和小数点后自然数的数量大小判断一致的材料, 探讨纯小数作为线索时是否可以引起空间注意的转移。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 被试

选取 20 名右利手被试, 其中男 8 名, 女 12 名,

视力或矫正视力正常, 完成实验给予适当的报酬。被试来自华南师范大学的在校本科生或研究生, 平均年龄 22 岁, 母语为汉语。

### 2.2.2 实验材料

4 个纯小数: 0.17, 0.27, 0.83, 0.93 作为刺激材料的提示线索, 随机出现于探测刺激之前。4 个纯小数组成数量的两个水平: 小(0.17, 0.27); 大(0.83, 0.93)。探测刺激是视角为  $4^\circ$  的黑色方块。

### 2.2.3 实验设计

实验采用  $2 \times 2 \times 4$  完全组内设计。3 个自变量分别是: (1) 线索类型: 数值小和数值大; (2) 探测刺激位置: 左边(目标出现在注视点的左边)和右边(目标出现在注视点的右边); (3) SOA (延迟): 100 ms、250 ms、500 ms 和 750 ms。实验因变量为目标觉察的反应时和反应错误率。实验中的控制变量为反应手和刺激呈现位置。要求被试使用右利手进行按键反应。

### 2.2.4 实验程序

实验在保持日光灯照明的房间内进行, 被试坐在距离计算机屏幕 60 cm 左右处, 按键盘空格键作反应。实验的刺激材料呈现于联想 17 寸彩色显示器, 刷新频率为 100 Hz, 分辨率为  $1024 \times 768$ 。

实验中每个 trial 从中央注视点(圆点, 黑色, 直径为  $0.3^\circ$  视角)开始, 在注视点水平左右各有 1 个白色的正方形方框, 方框的直径  $1.5^\circ$  视角, 其中左右方框到注视点的距离为  $4^\circ$  视角, 作为实验材料呈现在黑色背景的计算机屏幕上, 实验流程如图 1 所示。

首先在白色屏幕正中呈现一个视角为  $0.3^\circ$  的注视点(黑色圆点)500 ms, 不采用“+”为注视点字是为了避免实验中被试将“+”看成或联想到“十”, 而对实验结果产生污染。实验要求被试凝视中央的注视点, 并且眼睛不要移动; 然后注视点被数字(黑

色, 视角为  $0.8^\circ$ )取代, 其中不同大小的纯小数随机出现在中央注视点位置, 每个数字出现的概率相同, 呈现的时间均为 300 ms。指导被试忽视呈现在注视点的数字, 这些数字和实验任务无关, 并且不能预测即将出现的目标的位置; 随后在注视点处出现一个  $0.3^\circ$  视角的黑色圆点, 持续时间分别为 100 ms、250 ms、500 ms 或 750 ms, 不同的持续时间随机变化, 以避免被试的习惯性反应; 随后在屏幕左右视野两个方框之一中出现黑色的方块(方框的直径为  $1.5^\circ$  视角), 方块出现在左右空间视野是随机的, 但是呈现的概率相等, 呈现的方块持续的时间由被试控制, 按键反应进入下一个界面; 指导被试当其觉察到目标时就尽可能快的按空格键作反应。为了避免提早发生反应, 线索-目标 SOA 在 trials 中是随机变化的。反应小于 100 ms 或者长于 1000 ms 被认为是做了错误反应, 在练习阶段给予反馈; 被试按键反应之后, 出现黑色的缓冲界面, 持续时间为 500 ms, 随后是下一轮 trial。

### 2.3 结果与分析

使用 SPSS 17.0 对数据进行统计分析。反应时短于 100 ms 或长于 1000 ms 的反应被认为是做了错误的反应, 所有 trials 错误率小于 2%, 这些错误 trials 在随后的进一步分析中被排除。实验结果采用  $2$ (探测刺激位置: 左边和右边)  $\times 2$ (线索类型: 数字数量值小和大)  $\times 4$ (SOA 延迟: 100 ms, 250 ms, 500 ms, 750 ms) 的重复测量方差分析。

不同条件下目标觉察的反应时与标准差见表 1, 分析结果表明, SOA 的主效应显著,  $F(3, 17) = 19.88$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.41$ ,  $1 - \beta = 0.996$ ; 其他主效应不显著,  $p > 0.05$ ; 位置  $\times$  数值  $\times$  延迟的三重交互作用显著,  $F(3, 57) = 12.73$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2 = 0.31$ ,  $1 - \beta = 0.991$ , 如图 2 所示。当探测刺激前的提示线索为数量值大

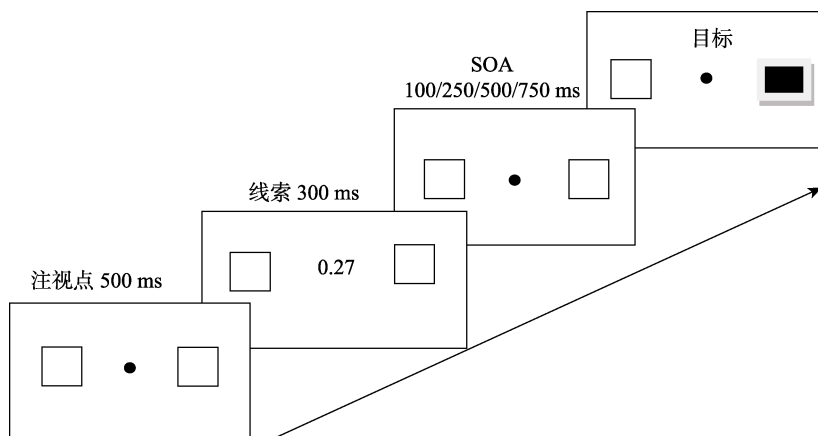


图 1 实验流程图示

的数字(0.83, 0.93), 数字提示线索与探测刺激之间的延迟为 500 ms 时, 被试对右侧目标刺激的探测显著快于左侧,  $F(1,19) = 6.51, p < 0.001, \eta^2 = 0.20, 1-\beta = 0.997$ ; 当探测刺激前的提示线索为数量值小的数字(0.17,0.27)时, 当数字提示线索与探测刺激之间的延迟为 500 ms 时, 被试对左侧刺激的识别要快于右侧,  $F(1,19) = 4.79, p < 0.001, \eta^2 = 0.18, 1-\beta = 0.989$ ; 在其他延迟时间均没有发现显著差异( $p > 0.05$ )。

表 1 不同条件下目标觉察的平均反应时( $M \pm SD$ )

| 线索类型 | SOA      |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|
|      | 100 ms   | 250 ms   | 500 ms   | 750 ms   |
| 数量值小 |          |          |          |          |
| 左    | 401 ± 49 | 383 ± 49 | 335 ± 71 | 347 ± 64 |
| 右    | 407 ± 51 | 394 ± 57 | 369 ± 54 | 359 ± 51 |
| 数量值大 |          |          |          |          |
| 左    | 410 ± 53 | 390 ± 48 | 372 ± 49 | 361 ± 80 |
| 右    | 397 ± 62 | 376 ± 71 | 335 ± 61 | 345 ± 59 |

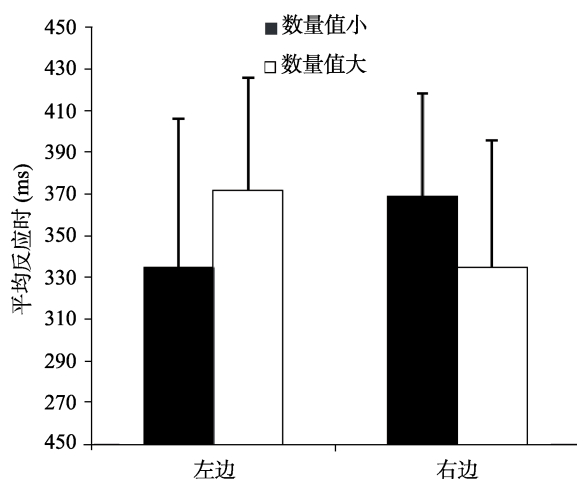


图 2 纯小数数量值大小与探测刺激位置的交互作用

实验 1 的结果显示, 纯小数的加工和表征与空间存在关联, 能够引起空间注意的转移。这一结果表明, 被试的心理表征中存在一条表征纯小数数量值的心理数字线, 数量值小的小数表征在心理数字线的左侧, 数量值大的纯小数表征在心理数字线的右侧。在 500 ms 时, 纯小数大小与探测刺激方向的交互作用效应显著, 这一研究结果和先前研究者用其他数字作为材料得到的结果一致(Fischer et al., 2003; Dodd et al., 2008)。

据此, 我们还不能认为, 纯小数的加工可以自动地引起基于纯小数真实数量大小的空间注意的转移。因为按照 Varma 和 Karl (2013)年提出的平行

通达假说, 纯小数在大小加工时会同时激活纯小数点右边的自然数, 在实验 1 的材料中, 每一个纯小数对于纯小数本身的数量大小和对于对应自然数大小判断是一致的(比如 0.27 对应 0.93 判断为小, 27 对应 93 判断也为小), 因此我们不能确定此时的空间注意转移是由纯小数本身的数量大小还是同时激活的自然数大小引起的。以往研究结果表明, 自然数大小可以引起空间注意的转移(Fischer et al., 2003; Dehaene et al., 2004; 刘超等, 2004; Casarotti, Michielin, Zorzi, & Umiltà, 2007), 因此, 我们要解决这一问题, 就需要先确定纯小数的大小加工是否激活了纯小数点右边的自然数。

### 3 实验 2 表达方式不同但数值相同的纯小数引发的注意 SNARC 效应研究

#### 3.1 实验目的

探讨数量值大小相同但表达方式不同的纯小数能否引起注意的 SNARC 效应, 进一步验证纯小数的加工是否符合平行通达假说。

#### 3.2 研究方法

##### 3.2.1 被试

选取 20 名右利手被试, 其中男 6 名, 女 14 名, 视力或矫正视力正常, 完成实验给予适当的报酬。被试来自华南师范大学的在校本科生或研究生, 平均年龄 22 岁, 母语都是汉语, 而且被试没有参加过实验 1。

##### 3.2.2 实验材料

4 个纯小数: 0.2, 0.20, 0.3, 0.30 作为刺激材料的提示线索, 随机出现于探测刺激之前。探测刺激为白色背景上的黑色方块。4 个纯小数分成百分位无 0 (0.2, 0.3)和百分位有 0 (0.20, 0.30)两个水平。探测刺激是视角为 4°的黑色方块。

##### 3.2.3 实验设计

实验采用 2×2×4 完全组内设计。3 个自变量分别是: (1)线索类型: 百分位无 0 和百分位有 0; (2)探测刺激位置: 左边(目标出现在注视点的左边)和右边(目标出现在注视点的右边); (3) SOA 延迟: 100 ms、250 ms、500 ms 和 750 ms。实验因变量为目标觉察的反应时和反应错误率, 实验中的控制变量为反应手和刺激呈现位置。要求被试使用右利手进行按键反应。

##### 3.2.4 实验程序

实验程序同实验 1。



### 3.3 结果与分析

使用 SPSS 17.0 对数据进行统计分析。反应时短于 100 ms 或长于 1000 ms 的反应被认为是做了错误的反应, 所有 trials 错误率小于 1.8%, 这些错误 trials 在随后的进一步分析中被排除。实验结果采用 2(探测刺激位置: 左边和右边)  $\times$  2(线索类型: 百分位有 0 和百分位无 0)  $\times$  4(SOA 延迟: 100 ms, 250 ms, 500 ms, 750 ms) 的重复测量方差分析。

不同条件下的平均反应时和标准差见表 2, 分析结果表明, 数字类型的主效应显著,  $F(1,19) = 65.87, p < 0.01, \eta^2 = 0.70, 1-\beta = 0.997$ ; SOA 的主效应显著,  $F(3,17) = 17.78, p < 0.01, \eta^2 = 0.38, 1-\beta = 0.995$ 。其他主效应不显著,  $p > 0.05$ ; 更重要的是, 位置  $\times$  数字  $\times$  延迟的三重交互作用显著,  $F(3,57) = 13.10, p < 0.01, \eta^2 = 0.33, 1-\beta = 0.965$ , 如图 3 所示。当探测刺激前的提示线索为百分位有 0(0.20, 0.30), 探测刺激之间的延迟为 500 ms 时, 被试对右侧目标刺激的探测显著快于左侧,  $F(1,19) = 9.52, p < 0.001, \eta^2 = 0.18, 1-\beta = 0.998$ ; 当探测刺激前的提示线索为百分位无 0(0.2, 0.3), 数字提示线索与探测刺激之间的延迟为 500 ms 时, 被试对左侧刺激的识别要快于右侧,  $F(1,19) = 5.81, p < 0.001, \eta^2 = 0.13, 1-\beta = 0.987$ ; 在其他延迟时间均没有发现显著差异( $p > 0.05$ )。

表 2 不同条件下目标觉察的平均反应时( $M \pm SD$ )

| 线索类型   | SOA          |              |              |              |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|        | 100 ms       | 250 ms       | 500 ms       | 750 ms       |
| 百分位无 0 |              |              |              |              |
| 左      | 389 $\pm$ 46 | 365 $\pm$ 81 | 339 $\pm$ 50 | 335 $\pm$ 73 |
| 右      | 391 $\pm$ 51 | 374 $\pm$ 66 | 361 $\pm$ 65 | 341 $\pm$ 52 |
| 百分位有 0 |              |              |              |              |
| 左      | 410 $\pm$ 78 | 389 $\pm$ 61 | 375 $\pm$ 48 | 359 $\pm$ 64 |
| 右      | 402 $\pm$ 55 | 382 $\pm$ 48 | 342 $\pm$ 70 | 350 $\pm$ 78 |

实验 2 的结果显示, 左右两侧探测刺激的探测速度出现显著差异的时间仍然为 500 ms, 重复了实验 1 的结果, 这说明对小数点右边的自然数的激活是自动、快速的。据此, 我们可以说, 纯小数在大小表征时是同时激活了纯小数本身和小数点右边的自然数, 这个结果与平行通达假说预期一致。

由于我们采取的是两组数量值大小相同但是表达式不同的纯小数的提示线索, 但在这种实验条件下, 如果被试觉得对小数点和小数点左边的 0 的加工是没有意义的, 被试就会忽视小数点和小数点

左边的 0, 从而只对小数点右边的自然数进行加工, 如果真是这样, 我们仍不能确定平行通达假设的合理性。因此, 还有一个问题需要解决, 即对小数点右边的自然数激活程度如何, 是与纯小数本身一样大还是比纯小数本身激活程度更大。

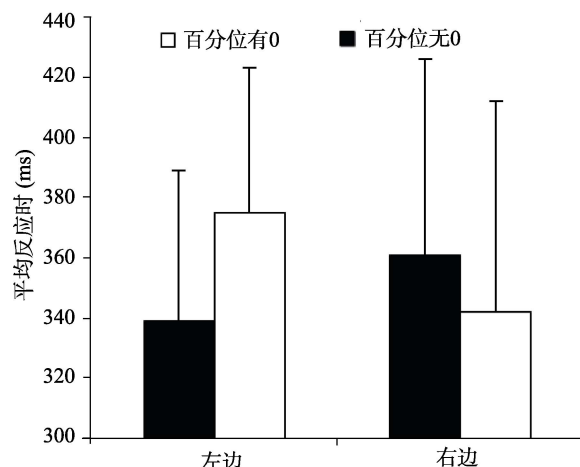


图 3 纯小数数字类型与探测刺激位置的交互作用

## 4 实验 3 纯小数加工对小数本身及对应的自然数激活强度的比较

### 4.1 实验目的

实验 2 中得到的对纯小数加工引起的空间注意的转移是否是对纯小数作为整体进行了加工呢? 纯小数的加工对小数本身及对应的自然数激活强度如何? 这些问题还需要进一步探讨。实验 3 通过选取特殊的材料, 将纯小数本身大小判断与对应的自然数大小判断冲突的两组纯小数混合在一起作为实验材料的提示线索, 进一步探讨纯小数加工。

### 4.2 研究方法

#### 4.2.1 被试

选取 20 名右利手被试, 其中男 8 名, 女 12 名, 视力或矫正视力正常, 完成实验给予适当的报酬。被试来自华南师范大学的在校本科生或研究生, 平均年龄 23 岁, 母语都是汉语, 而且被试没有参加过实验 1 和实验 2。

#### 4.2.2 实验材料

4 个纯小数: 0.17, 0.27, 0.8, 0.9 作为刺激材料的提示线索, 随机出现于探测刺激之前。探测刺激为白色背景上的黑色方块。4 个纯小数分成数量小但自然数大(0.17, 0.27)和数量大但激活的自然数小(0.8, 0.9)两个水平。探测刺激是视角为 4° 的黑色方块。

### 4.2.3 实验设计

实验采用  $2 \times 2 \times 4$  完全组内设计。3 个自变量分别是: (1) 线索类型: 数量小但自然数大(0.17, 0.27)和数量大但激活的自然数小(0.8, 0.9); (2) 探测刺激位置: 左边(目标出现在注视点的左边)和右边(目标出现在注视点的右边); (3) SOA 延迟: 100 ms、250 ms、500 ms 和 750 ms。实验因变量为目标觉察的反应时和反应错误率。实验中的控制变量为反应手和刺激呈现位置。要求被试使用右利手进行按键反应。

### 4.2.4 实验程序

实验程序同实验 1、实验 2

## 4.3 结果与分析

使用 SPSS 17.0 对数据进行统计分析。反应时短于 100 ms 或长于 1000 ms 的反应被认为是做了错误的反应, 所有 trials 错误率小于 2%, 这些错误 trials 在随后的进一步分析中被排除。实验结果采用  $2(\text{探测刺激位置: 左和右}) \times 2(\text{线索类型: 数量值小和数量值大}) \times 4(\text{SOA 延迟: 100 ms, 250 ms, 500 ms, 750 ms})$  的重复测量方差分析。

不同条件下的平均反应时和标准差见表 3, 分析结果表明, 纯小数数量大小的主效应显著,  $F(1,19) = 74.97, p < 0.05, \eta^2 = 0.53, 1-\beta = 0.748$ ; SOA 的主效应显著,  $F(3,17) = 19.53, p < 0.01, \eta^2 = 0.32, 1-\beta = 0.992$ 。数字的数量大小与探测刺激呈现位置交互作用不显著,  $F(3,17) = 16.20, p > 0.05, \eta^2 = 0.04, 1-\beta = 0.266$ 。

表 3 不同条件下目标觉察的平均反应时( $M \pm SD$ )

| 线索类型 | SOA      |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|
|      | 100 ms   | 250 ms   | 500 ms   | 750 ms   |
| 数量值小 |          |          |          |          |
| 左    | 398 ± 46 | 395 ± 81 | 369 ± 60 | 347 ± 73 |
| 右    | 391 ± 51 | 387 ± 66 | 377 ± 75 | 352 ± 52 |
| 数量值大 |          |          |          |          |
| 左    | 399 ± 78 | 369 ± 53 | 360 ± 46 | 336 ± 64 |
| 右    | 397 ± 55 | 372 ± 42 | 357 ± 80 | 340 ± 78 |

实验 3 的结果显示, 纯小数大小加工没有引起空间注意的转移, 被试并没有形成像实验 1 或实验 2 一样的心理数字线。这个结果可以很好的回答实验 2 所产生的疑问。因为在实验 3 的条件下, 如果被试只对小数点右边的自然数进行加工, 那么实验结果应该出现经典的注意 SANRC 效应, 即我们可以得到一条与实验 1 中形成的不同的心理数字线, 这条线并没有按照纯小数的实际数量值大小进行

排列, 而正好相反, 本身数量值小的纯小数(如, 0.27 对应得到的自然数为 27, 比 9 大)排在数字线的右端, 数量值大的纯小数(如, 0.9 对应得到的自然数为 9, 比 27 小)排在数字线的左端。说明被试对纯小数的大小判断出现了冲突, 这个冲突导致了被试不能形成一条清晰的心理数字线。这个结果说明了实验 2 的结论是正确的, 纯小数在大小表征时同时激活了纯小数本身和小数点右边的自然数。同时实验 3 也再次证明了平行通达假说的合理性。

实验 3 结果表明, 纯小数的加工与表征对本身与对应的自然数激活强度是一样的。在时间进程上, 3 种延迟条件都没有出现显著差异, 这主要与实验任务有关。我们的实验任务使得被试只是对纯小数进行了低水平的加工, 并没有让被试最终对纯小数的真实数量大小做出判断, 这和 Varma 和 Karl (2013)的研究是不一样的。Varma 和 Karl (2013)使用的是大小判断任务来研究纯小数的加工和表征, 在这种实验任务下, 被试虽然会因为纯小数本身的大小判断和激活的自然数的大小判断出现了冲突导致反应时间加长, 但最终被试还是会对纯小数真实的数量大小进行了判断, 使得实验结果出现经典的 SNACR 效应。

## 5 讨论

本研究采用不同的数字组作为提示线索, 采用目标觉察范式(Dodd et al., 2008), 探讨了纯小数的加工与表征是否也与空间存在关联, 是否也可以引起空间注意的转移, 产生空间注意的转移原因是基于纯小数的数量大小还是同时与纯小数点后面的自然数有关, 以及可能形成的心理数字线, 从而进一步验证平行通达假说的正确性。

实验 1 发现, 在中央注视点位置呈现大小判断一致的纯小数能够自动诱发注意的 SNARC 效应, 当呈现数量值较小的纯小数时, 发现左侧的刺激探测要显著快于右侧; 当呈现数量值较大的纯小数时, 右侧的刺激探测要显著快于左侧。值得注意的是, 在实验中, 虽然明确告知被试呈现在固定点的数字线索信息与实验的目标觉察任务无关或者不能提供什么信息, 即意味着纯小数本身与任务没有直接的联系, 但实验结果还是观察到纯小数线索能够自动地诱发注意空间转移, 并且影响到随后目标的觉察。Kadosh 等(2008)认为, 分析自动加工(即数字加工与任务无关时)是了解内部表征本质的一种更好的方法, 因此本实验更好地说明了纯小数的空间表

征机制。

实验 2 是将数量值大小相同但是表达式不同的纯小数作为探测刺激前的线索,当呈现百分位无 0 (如 0.2, 0.3)的纯小数时,发现左侧刺激识别要显著快于右侧;当呈现百分位有 0 的纯小数(如 0.20, 0.30)时,右侧刺激探测要显著快于左侧。这表明空间注意的转移是基于小数点后面的自然数而不是纯小数的真实数量大小。综合实验 1 和实验 2 的研究结果可以看出,纯小数在大小加工时会同时激活小数点右边的自然数,验证了 Varma 和 Karl (2013)提出的平行通达假说。

实验 3 进一步验证了 Varma 和 Karl (2013)提出的平行通达假说,同时说明被试对于纯小数是作为一个整体进行自动化加工的,并没有出现忽视小数点及小数点左边的 0 的情况。实验 3 中我们将纯小数本身大小判断与对应的自然数大小判断冲突的纯小数作为探测刺激前的线索,该条件下我们并没有得到由有效提示线索所引发的对数字数量大小加工引起的空间注意的转移。这说明被试对纯小数的大小判断出现了冲突,这个冲突导致了被试不能在心理形成一条清晰的心理数字线。

### 5.1 纯小数的加工及表征与空间的关联问题

在 3 个实验中,我们通过呈现不同类型的数字组作为提示线索,两个实验结果发现,纯小数的加工引发了空间注意的转移,说明纯小数的加工与空间存在关联,能够引起空间注意的转移。但在目标觉察范式中,究竟是对纯小数整体的加工还是部分的加工引起了空间注意的转移呢?纯小数与分数、负数一样相对于自然数属于更抽象的数字,在他们的表达式里含有一定的数学符号,这些数学符号会不会影响到空间注意的转移呢?Shaki 和 Petrusic (2005)针对负数的心理表征提出了数量-极性假说(Magnitude-Polarity Hypothesis),他们认为负数的心理表征取决于任务设置以及任务的需求:若个体在提前获知需要加工负数或者正数的条件下,会优先加工数字数量,而后加工数量的极性(正或负),此时负数的心理表征由其绝对值决定,形成的心理数字线也仅仅按照负数的绝对值部分将其排列在心理数字线上;反之,若个体在未提前获知的条件下,符号和数量会作为一个整体同时得到加工,负数的心理表征由实际数量值决定,形成的心理数字线也会相应地按照负数的实际数量值将其排列在数字线上。张宇和游旭群(2012)采用刺激探测任务研究了负数加工,得到了与 Shaki 和 Petrusic (2005)

采用大小比较任务一致的结果。

在本研究中,我们必须排除这种可能:当所有的数字都为纯小数时,由于数字与反应任务无关,被试会迅速适应于所有的提示线索数字都是纯小数,并且对数字每次出现在屏幕的位置也会熟悉,进而形成预期,因此纯小数的小数点和小数点左边的 0 都会变得对纯小数加工没有意义,从而被试会忽视纯小数点和小数点左边的 0,而只对纯小数点右边的自然数进行加工。在实验 2 中,我们采取的是两组数量值大小相同但是表达式不同的纯小数的提示线索,在这种条件下,如果被试觉得对小数点和小数点左边的 0 的加工是没有意义的,被试就会忽视小数点和小数点左边的 0,从而只对纯小数点右边的自然数进行加工,这样也有可能引起空间注意的转移,如果真是这样,我们将不能确定实验得到的空间注意转移是被试仅仅对自然数部分进行了加工还是对纯小数整体进行了加工引起的。

然而,通过实验 3,我们可以确定在本实验范式下,被试对纯小数进行了整体的加工。因为在实验 3 条件下,如果被试只对小数点右边的自然数进行加工,那么实验结果应该出现经典的注意 SANRC 效应,即我们可以得到一条与实验 1 中形成的不同的心理数字线,这条线并没有按照纯小数的实际数量值大小进行排列,而正好相反,本身数量值小的纯小数(如,0.27 对应得到的自然数为 27,比 9 大)排在数字线的右端,数量值大的纯小数(如,0.9 对应得到的自然数为 9,比 27 小)排在数字线的左端。实验 3 的结果说明了实验 1、实验 2 的所得到的空间注意的转移是由被试对纯小数整体的加工引起的。但是,与其他数字不同的是,纯小数的空间注意转移的方向同时受到纯小数本身以及对应的自然数的影响,当纯小数本身与空间关联的方向与对应的自然数的空间关联方向一致时,被试能够形成心理数字线,结果产生注意的 SNARC 效应;当纯小数本身与空间关联的方向与对应的自然数的空间关联方向不一致时,在本实验任务下,被试不能够形成心理数字线,结果没有出现注意的 SNARC 效应。

### 5.2 纯小数的加工是否同时激活了纯小数及小数点右边的自然数问题

关于纯小数的加工存在着两种不同的假说。选择通达假说认为,纯小数的加工只激活了一个指示物,并且这个指示物就是纯小数本身。与之相反,平行通达假说认为,纯小数的加工与表征不仅激活



了纯小数本身,同时还激活了小数点右边的自然数。Varma 和 Karl (2013)在大小比较任务中发现了语义冲突效应:当纯小数本身和小数点右边的自然数的大小判断出现冲突时,被试的反应时加长。比如,0.2 和 0.87 的大小判断应该比较快,因为纯小数本身和小数点右边的自然数的大小判断是一致的( $0.2 < 0.87$ ,  $2 < 87$ ),而 0.27 和 0.9 的大小判断应该比较慢,因为纯小数本身和小数点右边的自然数的大小判断出现了冲突( $0.27 < 0.9$ ,  $27 > 9$ )。语义冲突效应的发现证明了纯小数的加工和表征采取的是平行通达方式。然而,我们认为,Varma 和 Karl (2013)使用的实验任务属于有意控制任务,被试的反应可能受到自身的有意反应策略的影响。而且,大小判断等二分类别判断可能产生言语编码,进而影响了数字自动表征的结果。大小比较任务中一致性效应可能被言语因素驱动,言语表征可能会影响实验任务的完成(Nuerk, Bauer, Krummenacher, Heller, & Willmes, 2005)。因此,如果要探究数字的空间表征机制,使用自动加工范式有其重要的优势,其可以让线索信息的加工不会受到任务要求和有意反应策略的影响(Kadosh, 2008; Kadosh et al., 2008; Tzelgov & Ganor-Stern, 2005)。我们改进了实验方式,采用了目标觉察范式(Dodd et al., 2008)来探究纯小数的空间表征中是否存在注意 SNARC 效应,以此验证纯小数的空间表征是否激活了纯小数本身和小数点右边的自然数。目标觉察范式的实验任务与考察目标无关,这样可以更好的探究数字空间表征的内部机制以及数字诱发的相关效应。在实验 2 中,我们得到了注意的 SNARC 效应,究其原因,我们认为是纯小数的加工和表征不仅激活了纯小数本身,同时还激活了小数点右边的自然数,在纯小数本身的数量大小一致的情况下,基于纯小数激活的不同自然数数量大小加工引起了空间注意转移。据此,我们认为纯小数的加工和表征采取的是平行通达方式。

### 5.3 本研究的不足与未来研究

本研究虽然使用目标觉察范式验证了平行通达假说的正确性。但是对于纯小数的加工与表征为什么会同时激活纯小数本身以及纯小数点右边的自然数还没能进行探究。纯小数的概念更多是来自人们后天的学习和练习,并且在纯小数的学习与练习中,我们还会不断的使用到整数的法则。例如,纯小数大小的比较方法与整数基本相同,即从高位起,依次把相同数位上的数加以比较。这导致了纯

小数和整数一样在进行大小比较的时候会出现句法冲突效应(Nuerk et al., 2001; Varma & Karl, 2013)。正是因为人们进行纯小数大小比较的时候使用了整数的法则,可能使得人们在加工和表征纯小数时习惯性的激活了相应的整数,最终出现了语义冲突效应(Varma & Karl, 2013)。如果纯小数本身的激活与对应的自然数激活强度确实一样,那么,二者是否会随着人们对数字学习程度的变化而发生变化呢?个体对数字的学习一般都是先整数后小数,因此,未来的研究可以从发展的角度进一步探讨该问题。

## 6 结论

本研究采用策略性更小的目标觉察范式,探讨了纯小数加工及其与空间表征的联系,结果发现:(1)纯小数的加工可以引起空间注意的转移,即产生注意的 SNARC 效应;纯小数加工采取的是平行通达的方式。这一结论与前人研究基本一致。(2)本研究同时发现,纯小数的加工会同时激活纯小数本身和对应的自然数,并且对应自然数的激活强度与纯小数本身一样大,这是一种整体自动化的加工;纯小数引发的空间注意的转移方向同时受到纯小数本身以及对应的自然数的影响。

## 参 考 文 献

- Bächtold, D., Baumüller, M., & Brugger, P. (1998). Stimulus-response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 36, 731-735.
- Casarotti, M., Michielin, M., Zorzi, M., & Umiltà, C. (2007). Temporal order judgment reveals how number magnitude affects visuospatial attention. *Cognition*, 102, 101-117.
- 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, 626-641.
- Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. J. (2004). Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 218-224.
- Dodd, M. D., van der Stigchel, S., Leghari, M. A., Fung, G., & Kingstone, A. (2008). Attentional SNARC: There's something special about numbers (let us count the ways). *Cognition*, 108, 810-818.
- 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? *Psychology Science*, 47(1), 22-32.
- Fischer, M. H., Warlop, N., Hill, R. L., & Fias, W. (2004).

- Oculomotor bias induced by number perception. *Experimental Psychology*, 51(2), 91–97.
- Ganor-Stern, D., & Tzelgov, J. (2008). Across-Notation Automatic Numerical Processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(2), 430–437.
- Ganor-Stern, D., Tzelgov, J., & Ellenbogen, R. (2007). Automaticity and two-digit numbers. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 483–496.
- Gevers, W., Reynvoet, B., & Fias, W. (2003). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition*, 87, B87–B95.
- Hinrichs, J. V., Berie, J. L., & Mosell, M. K. (1982). Place information in multidigit number comparison. *Memory & Cognition*, 10, 487–495.
- Hung, Y. H., Hung, D. L., Tzeng Ovid, J. L., & Wu, D. H. (2008). Flexible spatial mapping of different notations of numbers in Chinese readers. *Cognition*, 106, 1441–1450.
- Kadosh, R. C. (2008). Numerical representation: Abstract or nonabstract?. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(8), 1160–1168.
- Kadosh, R. C., Henik, A., & Rubinsten, O. (2008). Are Arabic and verbal numbers processed in different ways?. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory, and Cognition*, 34(6), 1377–1391.
- Korvorst, M., & Damian, M. F. (2008). The differential influence of decades and units on multidigit number comparison. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 1250–1264.
- Lindemann, O., Abolafia, J. M., Pratt, J., & Bekkering, H. (2008). Coding strategies in number space: Memory requirements influence spatial-numerical associations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(4), 515–524.
- Liu, C., Mai, X. Q., & Fu, X. L. (2004). The spatial numerical association of response codes effect of number processing in different attention conditions. *Acta Psychologica Sinica*, 36(6), 671–680.
- [刘超, 买晓琴, 傅小兰. (2004). 不同注意条件下的空间——数字反应编码联合效应. *心理学报*, 36(6), 671–680.]
- Mapelli, D., Rusconi, E., & Umiltà, C. (2003). The SNARC effect: An instance of the Simon effect? *Cognition*, 88, B1–B10.
- Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgments of numerical inequality. *Nature*, 215, 1519–1520.
- Nuerk, H. C., Weger, U., & Willmes, K. (2001). Decade breaks in the mental number line? Putting the tens and units back in different bins. *Cognition*, 82, B25–B33.
- Nuerk, H. C., Bauer, F., Krummenacher, J., Heller, D., & Willmes, K. (2005). The power of the mental number line: How the magnitude of unattended numbers affects performance in an Eriksen task. *Psychology Science*, 47(1), 34–50.
- Nuerk, H. C., Wood, G., & Willmes, K. (2005). The universal SNARC effect. *Experimental Psychology*, 52(3), 187–194.
- Poltrock, S. E., & Schwartz, D. R. (1984). Comparative judgments of multidigit numbers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 32–45.
- 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(4), 651–664.
- Shaki, S., & Fischer, M. H. (2008). Reading space into numbers - A cross-linguistic comparison of the SNARC effect. *Cognition*, 108(2), 590–599.
- 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.
- Siegler, R. S., Thompson, C. A., & Schneider, M. (2011). An integrated theory of whole number and fractions development. *Cognitive Psychology*, 62, 273–296.
- Tzelgov, J., & Ganor-Stern, D. (2004). Automaticity in processing ordinal information. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of mathematical cognition* (pp. 55–66). New York: Psychology Press.
- Varma, S., & Schwartz, D. L. (2011). The mental representation of integers: An abstract-to-concrete shift in the understanding of mathematical concepts. *Cognition*, 121, 363–385.
- Varma, S., & Karl, S. R. (2013). understanding decimal proportions: Discrete representations, parallel access, and privileged processing of zero. *Cognitive Psychology*, 66, 283–301.
- Wood, G., Mahr, M., & Nuerk, H.-C. (2005). Deconstructing and reconstructing the base-10 structure of Arabic numbers. *Psychology Science*, 47, 84–95.
- Zhang, Y., & You, X. Q. (2012). Spatial representation of negative numbers induces spatial shifts of attention. *Acta Psychologica Sinica*, 44(3), 285–294.
- [张宇, 游旭群. (2012). 负数的空间表征引起的空间注意转移. *心理学报*, 44(3), 285–294.]

## The processing of pure decimal numbers: Selective access or parallel access?

SUN Yueliang<sup>1,2</sup>; ZHENG Weiyl<sup>1</sup>; HE Xianyou<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Center for Studies of Psychological Application, School of Psychology, Guangdong Key Laboratory of Mental Health and Cognitive Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

(<sup>2</sup> School of Education Science, Hanshan Normal University, Chaozhou, 521041, China)

### Abstract

The Spatial Numerical Association of Response Codes (SNARC) Effect and Spatial Shifts of Attention effect have demonstrated the connection between number processing and representation of space. However, previous studies on digital cognitive mechanisms have focused mainly on positive integers, whereas abstract numbers such as decimal numbers between 0 and 1 have drawn less attention.

Varma & Karl (2013) first studied such pure decimal numbers, finding that there was a SNARC effect, as well as observing a semantic interference effect. Sashank proposed the parallel access hypothesis to explain the semantic interference effect. However, we argue that some defects existed in the methods used in the previous research, and the conclusion of processing and representation of pure decimal numbers still need further investigation. Whether the processing and representation of pure decimal numbers is also associated with space, and whether pure decimal numbers and natural numbers proximal to the displayed decimal point will be activated at the same time. Existing research has not yet provided an answer. Using the target detection task paradigm with number cues we conducted three experiments to test the processing of pure decimal numbers and its connection with space representation.

The purpose of Experiment 1 was to explore whether pure decimal numbers as cues could result in the SNARC effect. The results showed that larger pure decimal numbers could cause the SNARC effect. Experiment 2 was to explore whether the pure decimal number characterization could activate the corresponding number at the same time. The results showed that the processing of pure decimal numbers with the same size and different natural number places (such as 0.2 and 0.20, 0.4 and 0.40) both could lead to the shift of spatial attention. Experiment 3 compared the processing intensity of pure decimal numbers and natural numbers after the decimal point. The results showed that the processing to the inconformity of judging the quantity size of pure decimal numbers and natural numbers after the decimal point failed to cause the effect of SNARC.

The results showed participants used a parallel access pattern and caused the attention effect of SNARC when processing the decimal number in the target detection task paradigm. The pure decimal number and its natural number affected Spatial Shifts of Attention for the pure decimal number.

**Key words** pure decimal numbers; SNARC effect; spatial shifts of attention; parallel access hypothesis