

负数的空间表征引起的空间注意转移*

张 宇 游旭群

(陕西师范大学心理学院, 西安 710062)

摘 要 本研究采用数字线索提示的刺激探测任务, 通过三个实验探讨负数的低水平加工能否, 以及怎样引起空间注意的转移。实验一探讨只有负数单独呈现作为线索时能否引起空间注意的转移。结果表明: 对负数绝对值大小的加工能引起空间注意的转移。实验二进一步探讨在正数、负数和零混合作为线索时能否引起空间注意的转移。结果表明: 对负数数量大小的加工能引起空间注意的转移。实验三再次用正数, 负数和 0 三种数字混合作为探测刺激前的线索, 但仅对负数和零作为提示线索之后的探测刺激进行反应, 又一次得到了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。本研究表明, 对负数的低水平加工可以引起空间注意的转移, 然而, 是对绝对值的加工还是数量大小的加工引起注意转移依赖于共同参与的其它数字加工产生的影响。

关键词 负数; 空间注意转移; 数字认知; 数字加工与表征; 心理数字线

分类号 B842

1 引言

近年来, 人类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, 尤其是自 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, Dupoux, & Mehler, 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 等的实验中被试的任务是对数字做奇偶判断 (Dehaene et al., 1990), 数字的大小是任务不相关的, 结果却发现不论是奇数还是偶数, 被试对小数的反应左手要显著快于右手, 而对大数的反应则是右手显著快于左手。

这种现象被称为空间数字编码联合效应 (SNARC Effect), 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, 其方位很可能是自左向右的, 小数表征在心理数字线的左侧, 大数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表征和加工在低水平就能完成。因此, 数字

的空间表征和加工很可能是快速和自动完成的 (Dehaene et al., 1993; Mapelli, Rusconi, & Umiltà, 2003)。

Zorzi 等人 2002 年的研究为数字数量大小的加工与空间注意联合关系的存在提供了更为直接的证据 (Zorzi, Priftis, & Umiltà, 2002)。实验要求患有左侧忽视症的病人说出两个数的中位数 (比如 1-3、1-5、2-6), 结果发现病人会做出偏向右侧的错误选择 (如 2-6, 病人说出的中位数是 5)。在 Zorzi 等最近的一项研究中, 同样让病人对真实的线段进行平分, 发现病人找到的中点往往会偏向线段的右侧 (Zorzi, Priftis, Meneghello, Marenzi, & Umiltà, 2006)。Priftis 等的研究也提供了相似的证据 (Priftis, Zorzi, Meneghello, Marenzi, & Umiltà, 2006)。这些研究都表明数字不仅传递大小信息而且传递空间信息, 并且大小信息和空间信息一定程度上是联合在一起的。

数字的自动空间编码引发了数字加工与空间注意之间关系的问题。Fischer 等人 (Fischer, Castel, Dodd, & Pratt, 2003) 从空间注意的视角对数字加工

收稿日期: 2011-07-25

* 国家自然科学基金委员会与中国民航局联合资助项目 (项目批准号: 61079004)。

通讯作者: 游旭群, E-mail: youxuqun@snnu.edu.cn

引起的空间信息的自动激活进行了研究,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(1 或 2)时,左侧刺激的探测要快于右侧;当呈现刺激为大数(8 或 9)时,右侧刺激的探测要快于左侧。

为进一步探讨对数字的加工是如何引起空间注意转移的,Casarotti 和同事采用 TOJ 技术(Temporal Order Judgment task),通过一组系列实验对这一问题进行了更深入的研究(Casarotti, Michielin, Zorzi, & Umiltà, 2007)。TOJ 技术允许将注意分配作为一个灵敏的指标来测量注意的各种效应(Shore, Spence, & Klein, 2001),而不要求被试作出快速的手动反应。Casarotti 和同事认为低水平的加工或根本没有对数字进行加工不可能引起空间注意的转移,只有较高水平的加工才能使数字的加工信息激活与其相对应的空间表征(Casarotti et al., 2007)。

上述研究从不同角度研究了数字加工和表征与空间表征的关系,但研究全部针对正数,对负数的认知加工和表征及其与空间表征的关系研究尚少,因此关于负数加工是否也能引起空间注意的转移则缺少研究证据。到目前为止,仅有三篇研究报告了负数的认知加工与空间表征。Nuerk 等采用奇偶判断任务研究负数的认知加工与空间表征的关系,然而他们的研究并没有得到负数表征与空间表征相联合的可靠证据(Nuerk, Iversen, & Willmes, 2004)。Fischer 于 2003 年报告了他的另一项研究结果(Fischer, 2003)。研究结果表明负数与左侧空间相关联,负数的加工和表征可能会传递一些左侧的空间信息。在最近的一项研究中,Fischer 和 Rottmann (2005)用一系列的实验进一步探讨了负数是否会表征在心理数字线上。非常有趣的是,研究结果发现对负数的数量加工并没有引发显著的 SNARC 效应,这似乎与 Fischer 之前对负数的研究结果相反。Fischer 和 Rottmann 认为导致这个现象的原因可能是由于被试对即将呈现的刺激位置形成了预期而忽略了任务不相关的负号,而仅仅将注意集中在负数的数字部分,并没有对其大小进行加工。在后面的实验中,Fischer 等通过确保让被试注意到负号否定了上述推测,进一步认为负数加工没有能够引起 SNARC 效应的原因是由于负数与正数涉及不同的加工机制,而且负数不会以心理数字线的形式表征,心理数字线也因此没有延伸至零的左侧。

但是 Fischer 等用来推翻推测的证据显得不充

分并且没有足够的说服力,被试注意到负号的原因可能是与数字归类任务有关,所以存在这样一种可能性:在奇偶判断任务中,被试对负数做奇偶判断可能仍然会忽略负号,因为负号是任务不相关的,而只依据其绝对值大小进行奇偶判断。因此,负数没有因其数量大小引起显著的 SNARC 效应可能是由于被试并没有对负数的数量大小进行加工。

很明显,当前用来研究正数的奇偶判断的任务范式已经不能用来有效地研究负数的加工和表征与空间的关系了,因为负数的负号在奇偶判断任务中总是任务不相关的,而负号却是加工负数数量所必须要被加工的部分,因此,探讨这一问题需要更有效的任务范式。

目前关于负数的不一致的证据,不仅对负数是否也存在 SNARC 效应不能给予充分说明,更重要的是,它引发了更多关于负数加工,心理数字线的性质的问题:负数的加工是在较低水平的自动加工,还是较高水平的加工;负数的加工是数字和负号的整体加工还是部分加工;心理数字线是否能够延伸至零的左边,心理数字线是如何形成的等问题。

本研究采用 Fischer 等人 2003 年采用的刺激探测任务(Fischer, Castel, Dodd, & Pratt, 2003),用三个实验来探讨负数的加工是否能引起空间注意的转移。之所以采用刺激探测任务而非奇偶判断任务,是因为刺激探测任务可以使负数的数字及其负号作为一个整体知觉和加工,而不会使负数的任何一部分在任务相关性上具有优势,从而避免了任务不相关引起的对负数负号的忽略。并且本研究从空间注意的角度进一步探讨负数的加工是基于数量大小还是绝对值大小,为进一步揭示负数的加工机制与表征提供证据。

2 实验一

在实验一中,我们想要探讨负数的加工与表征是否也同正数相似,与空间存在着关联,实验采用 Fischer 等人(2003)研究采用的刺激探测任务,实验任务仅涉及低水平的加工,实验材料中仅用负数作为提示线索,探讨仅有负数参与的情况下是否会产生空间注意的转移,旨在研究负数的低水平加工与表征是否也与空间存在关联,进而探讨产生空间注意转移是基于负数数量的大小还是其绝对值的大小。

2.1 方法

2.1.1 被试 20 名大学本科生参与了本实验,研

究目的事先完全未向被试透露。被试平均年龄为 21.9 岁(20~24 岁), 其中男 7 名, 女 13 名, 一名被试左利手, 其余均为右利手, 视力或矫正视力正常, 无弱视、斜视等视力问题。每位被试被支付 10 元人民币作为报酬。

2.1.2 实验装置 实验刺激呈现于 17 寸纯平彩色显示器上, 程序采用 E-prime (Psychology Software Tool) (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002) 编写, 在 IBM 兼容奔腾 IV 计算机上运行。反应键为标准键盘上的空格键。

2.1.3 实验材料 四个负数: -9, -8, -2, -1 作为提示线索, 随机呈现于探测刺激之前。探测刺激为白色背景上的黑色方块。四个负数组成数字绝对值的两个水平: 小(-2, -1); 大(-9, -8); 或者负数数量的两个水平: 小(-9, -8); 大(-2, -1)。探测刺激为视角为 2° 的黑色方块。

2.1.4 实验设计与程序 实验采用 2 (探测刺激位置: 左和右) $\times$ 2 (数字数量: 大和小) $\times$ 6 (可变延迟: 50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400 ms 和 500 ms) 被试内实验设计。

实验任务是又快又准确地对探测刺激做出反应, 当探测刺激随机出现在左视野或右视野时, 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。提示线索为四个负数: -9, -8, -2, -1, 其中的一个随机呈现在每一次试验的探测刺激之前。探测刺激为黑色的方块(2°), 随机呈现在注视点的左侧或右侧, 注视点为屏幕正中心的视角为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的黑色十字。

实验刺激呈现序列如图 1 所示。首先呈现注视点黑色“+”字, 和其左右两边 4° 位置的视角为 2° 的虚线标记, 标记为探测刺激将会出现的位置, 呈现 500 ms。之后注视点消失, 在注视点的位置随机呈现四个负数中的一个作为探测刺激前的提示线索, 数字的字体为 Times New Roman, 视角为 1° , 呈现 500 ms。数字呈现之后是一个延迟, 这时屏幕呈现与序列 1 相同, 为注视点黑色“+”字, 和其左右两边各 4° 位置的视角为 2° 的虚线标记, 但是这次呈现的延迟时间是可变的, 每次试验中的延迟时间随机地为: 50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400 ms, 或 500 ms。设置可变延迟的目的是检查注意转移可能发生的时间。延迟过后即是探测刺激, 随机出现在注视点左侧或者右侧的虚线标记内(50%的试验中探测刺激出现在注视点左侧的虚线标记内,

50%的试验中探测刺激出现在注视点右侧的虚线标记内)。

被试坐在距显示器 45 cm 处, 并要求在整个实验过程中始终保证眼睛注视在屏幕中心的十字标记上。实验前, 每位被试被告知将会在探测刺激前出现的数字: -9, -8, -2, -1。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 120 次的练习。正式实验包括 480 次的试验。

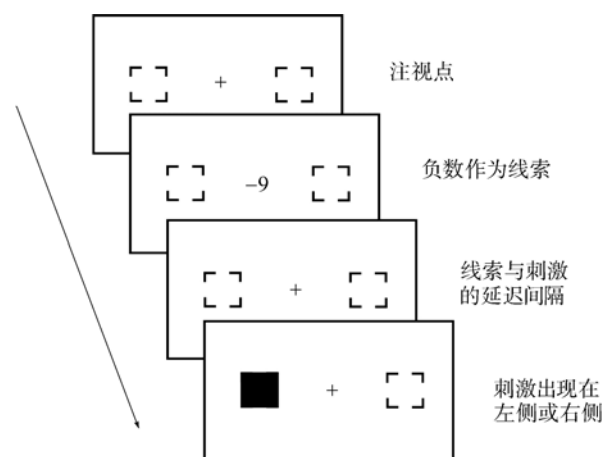


图 1 刺激呈现序列

2.2 实验结果与分析

实验结果采用 2 (探测刺激位置: 左和右) $\times$ 2 (数字数量: 小和大) $\times$ 6 (可变延迟: 50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400 ms, 500 ms) 的重复测量方差分析, 分析表明数字绝对值大小与探测刺激呈现位置(左和右)的交互作用显著, $F(1,19)=16.20$, $p<0.001$, 如图 2 所示。另外, 负数绝对值大小的主效应显著, $F(1,19)=74.97$, $p<0.001$; 可变延迟的主效应显著, $F(5,95)=17.78$, $p<0.001$ 。简单效应分析表明, 当探测刺激前的提示线索为绝对值大的数字(-8, -9)时, 被试对右侧探测刺激的探测显著快于左侧, 当数字提示线索与探测刺激之间的可变延迟为 100 ms 时, 两侧差异显著, $F(1,19)=7.92$, $p<0.05$; 当数字提示线索与探测刺激之间的可变延迟为 200 ms 时, 两侧差异显著, $F(1,19)=23.22$, $p<0.001$, 分别如图 3, 图 4 所示。当探测刺激前的提示线索为绝对值小的数字(-1, -2)时, 被试对左侧探测刺激的探测要快于右侧, 当数字提示线索与探测刺激之间的可变延迟为 100 ms 时, 两侧差异显著, $F(1,19) = 4.79$, $p<0.05$, 如图 3 所示。在其他可变延迟时均没有发现显著效应($p>0.05$)。

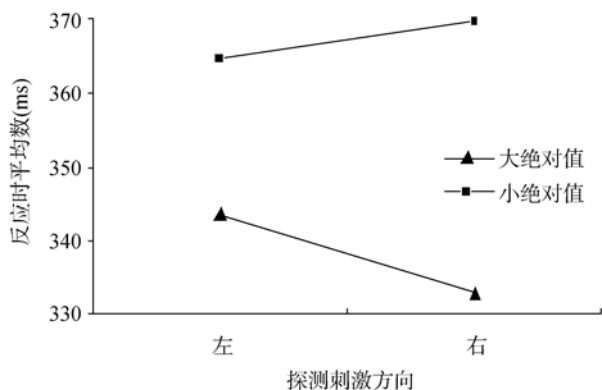


图2 数字绝对值大小与探测刺激方向的交互作用

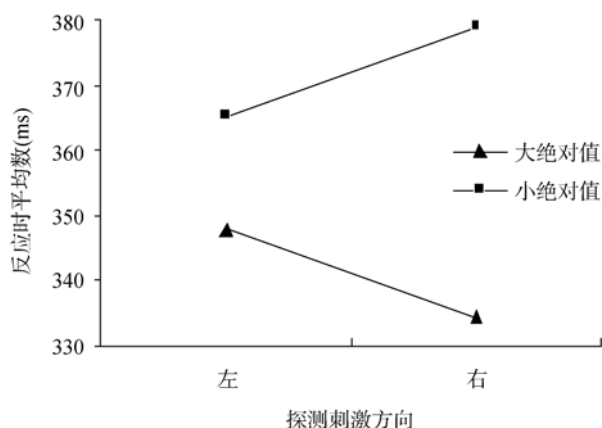


图3 100 ms 时数字绝对值大小与探测刺激方向的交互作用

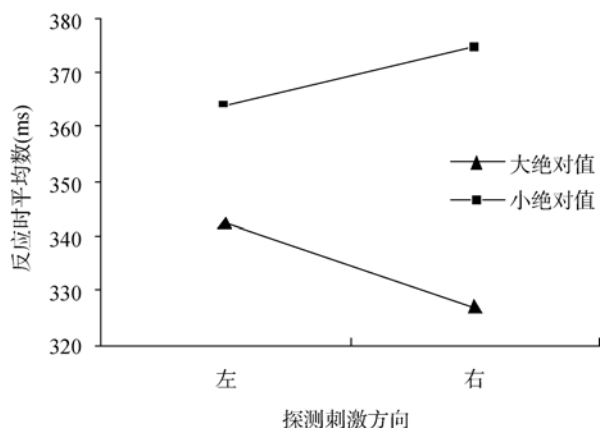


图4 200 ms 时数字绝对值大小与探测刺激方向的交互作用

2.3 讨论

实验一的结果表明负数加工可以引起空间注意的转移,但只有负数出现在探测刺激前作为提示线索时,这种转移是由其绝对值大小而非其数量大小所引起。在 100 ms 和 200 ms 时,左右两侧探测刺激的反应时间差异显著。这表明注意转移的产生需要时间,注意转移最快只能在 100 ms 时产生,更

短的时间是不足以产生注意转移的。而长于 200 ms 的时间,虽然足够产生注意转移,然而这种注意的分配如果得不到利用,就会很快消失,失去其价值,从而也不会刺激探测任务中产生作用,因此长于 200 ms 的时间没有能够产生显著差异。

虽然刺激探测任务通常不会有眼动的存在 (Pratt, Spalek, & Bradshaw, 1999), 但我们的实验结果解释有必要排除注意的转移是因眼动而产生的可能性。一方面,本实验的指导语要求被试在整个实验过程中要保持注视点在屏幕的中心位置,即十字和数字出现的位置。另一方面,为排除注意的转移是因眼动引起的可能性,在 Fischer 等 2004 年的一项研究中 (Fischer, Warlop, Hill, & Fias, 2004), 通过把眼动作为控制变量进行控制,发现在没有眼动时也得到了同样的结果,表明注意转移是由于低水平的编码加工而不是运动加工。因此,我们的实验中注意的转移也可认为是由数字的绝对值大小的加工所引起,而并非是眼动所产生。

Fischer 等 2005 年的研究认为只有负数的绝对值能被自动加工,而其数量大小是不能被自动加工的 (Fischer & Rottmann, 2005)。本研究实验一的结果与 Fischer 等 2005 年的研究结果一致,作为线索提示的负数,其低水平的加工能够引起注意的转移,但这种注意转移是基于负数的绝对值大小加工。

然而,我们并不想到此就得出结论:负数的低水平自动加工只能引起基于其绝对值的空间注意的转移,因为在实验一中,我们采用了刺激探测任务,而不是传统研究这一问题的奇偶判断任务;另一方面,实验一中我们仅用负数作为提示线索来探讨注意转移引起的原因。当所有的数字都为负数时,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负数,因此负数的负号会变得对负数加工没有意义,从而被试会忽视其负号而只对其绝对值进行加工。因此,在实验二中,我们采用正数,负数和零混合数字作为探测刺激前的提示线索,在这种混合条件下,负数的负号对数字的加工是有意义的,被试也因此不会忽视负数的负号,从而对负数的数字及其负号进行整体加工,我们假设此时低水平的加工可以对负数的数量值进行加工,从而得到基于数字数量值的空间注意转移。

3 实验二

在实验二中,我们将验证实验一中提出的假设:在一定的任务需求下,负数的较低水平的加工

可以对负数的数量值进行加工和表征,从而得到基于数量值的空间注意转移。在实验材料中,我们将正数,零,和负数混合在一起,探讨在混合数字作为提示线索时,是否能引起基于数字实际数量值引起的空间注意的转移,而并非是基于负数绝对值的大小。我们也预测,如果这一假设得到支持,那么我们会得到一条与实验一中形成的不同的心理数字线,负数,零,和正数将按照其实际数量值的大小自左向右地排列在心理数字线上。

3.1 方法

3.1.1 被试 16 名新招募的大学本科学生参与了实验二。被试平均年龄为 22.3 岁(21~24 岁),其中男 4 名,女 12 名,均为右利手。视力或矫正视力正常,无弱视、斜视等视力问题,每位被试被支付 10 元人民币作为报酬。

3.1.2 实验装置 实验装置同实验一。

3.1.3 实验材料 探测刺激前的提示线索为-9, -8, -1, -2, 0, 1, 2, 8, 9 九个数字,九个数组成数字数量大小的五个水平:极小(-9, -8);小(-2, -1);中等(0);大(1,2);极大(8, 9)。探测刺激为视角为 2° 的黑色方块。

3.1.4 实验程序和设计 实验采用 2 (探测刺激位置:左和右) × 5 (数字:极小,小,中等,大,极大) × 6 (可变延迟:50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400 ms 和 500 ms)被试内实验设计。

实验任务除了提示线索增加为九个数:-9, -8, -2, -1, 0, 1, 2, 8, 9, 此外全部同实验一。

在正式实验前,每个被试要求完成 120 次的练习。正式实验包括 600 次的试验。

3.2 实验结果与分析

实验结果采用 2 (探测刺激位置:左和右) × 5 (数字数量大小:极小,小,中等,大,极大) × 6 (可变延迟:50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400 ms 和 500 ms)的重复测量方差分析,分析结果表明数字数量大小与探测刺激呈现位置之间有显著交互作用, $F(4, 60)=4.03, p<0.01$, 如图 5 所示。另外,可变延迟的主效应显著, $F(5, 75)=5.06, p<0.05$ 。简单效应分析表明,当可变延迟为 200 ms,提示线索为数量值大的负数(-1, -2)时,右边的探测刺激探测要显著快于左侧, $F(1, 15)=7.43, p<0.01$ 。当可变延迟为 300 ms 时,提示线索为数量值小的负数时,左侧探测刺激探测要显著快于右侧, $F(1, 15)=6.08, p<0.05$ 。提示线索为数字 0 时,左右两侧刺激探测的反应时没有显著差异($p>0.05$)。综合来看,本实验的研究结

果表明对负数的数量大小的加工引起了空间注意的转移。

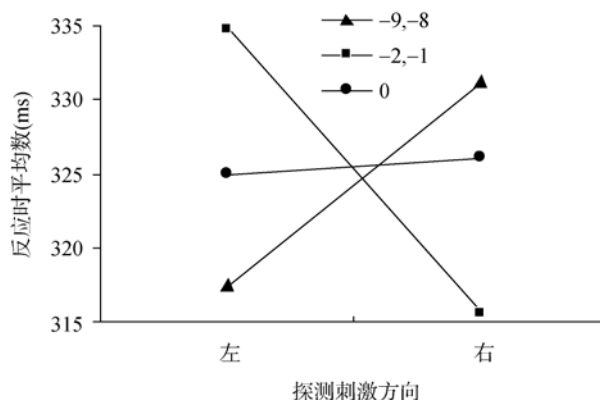


图 5 数字数量大小与探测刺激位置的交互作用

3.3 讨论

实验二中用正数,负数,和 0 三种数字混合作为探测刺激前的线索,我们得到了因数字数量大小引起的空间注意的转移。

然而在实验二中对左右两侧探测刺激探测速度出现显著差异的时间延迟为 200 ms 和 300 ms,比实验一中的要长,这说明对负数数量大小加工引起空间注意转移需要更长的时间,表明对负数的数量大小的加工比对其绝对值加工需要更长的时间,因而也说明负数数量的加工可能涉及更复杂的加工机制,或需要更多的资源。

Casarotti 等的研究表明正数的大小可以引起注意的转移,当探测刺激为小数时,左侧反应显著快于右侧,探测刺激为大数时,右侧反应显著快于左侧,但仅仅是在要求被试对数字进行报告的情况下,即被试对数字的加工程度比较深的时候才会出现此种结果(Casarotti et al., 2007)。然而 Galfano 等最新的研究表明仅把数字作为线索在刺激探测范式中的效应是比较微弱的,引起的左右两侧反应时的差异只有 6.5 ms,因此这种注意的转移可能并不是一定会发生的(Galfano, Rusconi, & Umiltà, 2006)。同样, Banato 等的研究表明数字作为线索引起注意转移同其他线索(如箭头)相比,作用特别微弱甚至没有作用(Bonato, Priftis, Marenzi, & Zorzi, 2005)。而本研究的实验二的结果表明,仅仅注视负数即对负数进行较低水平的加工就可以引起空间注意的转移,说明负数也可能与其负号作为一个整体在较低水平进行自动加工。这一结果与 Fischer 和 Rottmenn (2005)的研究结果不一致,他们的研究结果显示负数在较低水平加工的自动化程度远远

小于正数,并且低水平的加工只能加工其绝对值的大小。

我们认为,对这种不一致可能的解释是:一方面, Fischer 和 Rottmenn (2005)的研究与我们的研究的实验材料不同,这种不同产生的影响在这里是不能忽略的。我们的实验与 Fischer 和 Rottmenn 的研究中负数所处的数字环境或背景不同:我们的研究将负数放在了一个混合背景中,让负数同零和正数共同存在,对任务的完成产生影响,从而使负数的负号对加工有意义;而 Fischer 和 Rottmenn 的研究将负数单独呈现,从而使负数的负号对加工没有意义。这种负数所处的不同背景影响了负数的加工。另一方面,两个研究所采用的任务也不同, Fischer 和 Rottmenn 的研究中负数的负号是任务不相关的,很容易使负号被忽视;然而我们的研究采用刺激探测任务,负号与负数作为一个整体被知觉进而进行一定水平的加工是有意义的。然而,这个试验性的假设还需要进一步地研究负数在不同水平,在不同的数字背景下的加工机制,是否对负数的负号也作为整体进行了加工。是否这样的加工能够在较低水平自动化地完成。

4 实验三

在实验三中,我们将进一步对实验二的疑问进行研究和讨论:实验二中得到的对负数进行较低水平的加工引起的空间注意的转移是否是对负数的负号也作为整体进行了加工,是否这样的加工能够在较低水平自动化地完成。通过有效的控制和适当的实验设计,我们确保被试在实验三中对负数的负号进行加工。我们依然将正数,零,和负数混合在一起作为实验材料的提示线索,然而被试的任务将变为只对负数和零作为提示线索之后的探测刺激进行反应,而对正数作为提示线索之后的探测刺激不进行反应。这样设计实验任务可以保证被试对负数的负号进行加工,并且是对负数的数字部分及其负号作为整体加工的。同时,0 也作为有效提示线索,对 0 之后的探测刺激也进行反应,这进一步排除了被试忽略符号加工的可能性,因为被试有可能只是做一个类别判断,带有一个符号的数字后的刺激就进行反应,而没有符号的数字后的刺激不进行反应。这种情况如果发生,依然不能保证对符号进行了加工。而 0 也是不带有符号的,如果要求对 0 也进行反应,这就保证了被试是对数字及符号整体进行了知觉和加工,而不仅仅是一个有无符号

的类别判断。另外,实验三我们将关注产生空间注意转移的进程及时间,进一步探讨负数加工的自动化程度。

4.1 方法

4.1.1 被试 30 名新招募的大学本科生参与了本实验(实验三中的被试均未参加实验一和实验二),研究目的事先完全未向被试透露。被试平均年龄为 21.7 岁(20~24 岁),其中男 11 名,女 19 名,均为右利手。视力或矫正视力正常,无弱视、斜视等视力问题,每位被试被支付 10 元人民币作为报酬。

4.1.2 实验装置 实验装置同实验一。

4.1.3 实验材料 探测刺激前的提示线索为-9, -8, -1, -2, 0, 1, 2, 8, 9 九个数字。但因为在本实验中被试的任务为只对负数和零作为提示线索之后的探测刺激进行反应,而对正数作为提示线索之后的探测刺激不进行反应,因此有效提示线索仅为-9, -8, -1, -2, 0 五个数字,五个数组成数字数量大小的 3 个水平:小(-9, -8);大(-2, -1);(0)。探测刺激为视角为 2°的黑色方块。

4.1.4 实验程序和设计 采用 2 (探测刺激位置:左和右) × 3 (数字:小,大,0) × 6 (可变延迟:50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400 ms 和 500 ms)被试内实验设计。

实验任务同实验一,只是提示线索增为九个数:-9, -8, -2, -1, 0, 1, 2, 8, 9, 其中有效提示线索仅为-9, -8, -1, -2, 0 五个数,随机呈现在每一次试验的探测刺激之前。

被试坐在距离显示器 45cm 处,并要求保证在整个实验过程中始终保证眼睛注视在屏幕中心的十字标记上。实验前,每位被试被告知将会在探测刺激前出现的数字(在实验三中为:-9, -8, -2, -1, 0, 1, 2, 8, 9, 其中有效提示线索仅为-9, -8, -1, -2, 0 五个数),并且告知被试这组数字与刺激探测任务是不相关的。

在正式实验前,每个被试要求完成 120 次的练习。正式实验包括 600 次的试验。

4.2 实验结果与分析

实验结果采用 2 (探测刺激位置:左和右) × 3 (数字数量大小:大,小,0) × 6 (可变延迟:50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400 ms 和 500 ms)的重复测量方差分析。

分析结果表明数字数量大小与探测刺激呈现位置之间有显著交互作用, $F(2,58)=8.32$, $p<0.01$, 如图 6 所示。另外,可变延迟的主效应显著, $F(5,145)$

= 65.22, $p < 0.01$ 。简单效应分析表明, 当可变延迟为 50 ms, 提示线索为数量值大的负数(-1, -2)时, 右边的探测刺激探测要显著快于左侧, $F(1, 29) = 16.51$, $p < 0.01$; 提示线索为数量值小的负数时, 左侧探测刺激探测要显著快于右侧, $F(1, 29) = 12.47$, $p < 0.01$ 。提示线索为数字 0 时, 左右两侧探测刺激探测的反应时没有显著差异($p > 0.05$)。综合来看, 本实验的研究结果表明对负数的数量值大小的加工引起了空间注意的转移。

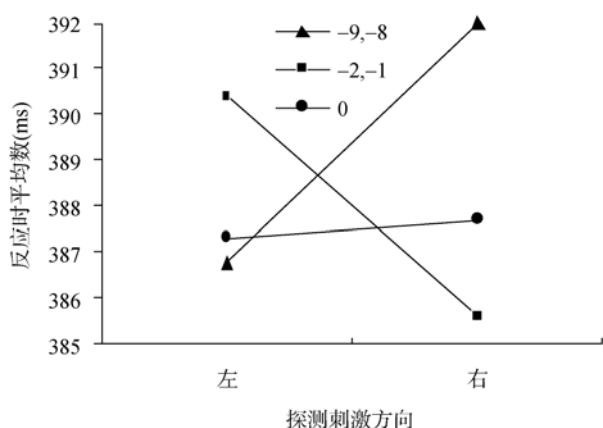


图 6 仅负数和 0 为有效提示线索反应条件下数量大小与探测刺激位置的交互作用

4.3 讨论

实验三中我们再一次用正数, 负数, 和 0 三种数字混合作为探测刺激前的提示线索, 但仅有负数和 0 为有效提示线索, 即被试只对负数和零作为提示线索之后的探测刺激进行反应, 而对正数作为提示线索之后的探测刺激不进行反应。我们又一次得到了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。

因为保证了被试对负数的负号进行加工, 并且是对负数的数字部分及其负号作为整体加工的, 因此可以说, 实验三中得到的对负数进行较低水平的加工引起的空间注意的转移是基于对负数及其负号作为整体的加工, 并且这样的加工能够在较低水平自动化地完成, 即对负数实际数量大小的加工能够在较低水平自动化地完成。

另外, 更值得关注的是, 在实验三中, 可变延迟的主效应显著, 并且当可变延迟为 50 ms 时, 数字数量大小与探测刺激位置的交互作用显著。如此短的时间延迟, 说明对负数的包括负号部分的整体加工也存在一定的自动化程度。与实验二相比, 产生显著交互作用的时间延迟变得更短了, 很可能说

明, 在未明确任务需求时, 对负数的加工和表征是临时地在工作记忆中根据实际的需求和变化进行, 能够随时依据任务需求进行调整, 因此具有灵活性和动态性, 需要更多的资源和时间; 而在明确任务需求后, 对负数的加工和表征可以变得如同正数一样, 可能是直接提取了已经转换到长时记忆中形成的负数的心理数字线的表征。因此, 我们猜想, 心理数字线很可能也是一种记忆的存储, 一种对数字的意义, 主要是数量大小的存储, 并且存在多种存储的形式, 能够分别存储为长时记忆的, 或者短时记忆或工作记忆的。长时记忆的心理数字线比较固定, 而短时记忆的, 或工作记忆的心理数字线则比较灵活, 数字按照不同的需求表征在不同的心理数字线上, 然后依据任务需求提取最适当的一种。

5 总讨论

本研究围绕负数的加工, 表征及它可能存在的空间关联; 以及由此形成心理数字线的性质等问题展开了实验, 分析和讨论。

三个实验分别采用不同的数字组作为提示线索, 或有效提示线索, 采用 Fischer 等人(2003)研究采用的刺激探测任务, 来探讨负数和 0 的加工与表征是否也与空间存在关联, 能否引起空间注意的转移, 产生空间注意的转移原因是基于负数的数量大小还是其绝对值大小。进而深入探讨负数和 0 的加工与空间表征的机制, 以及可能形成的心理数字线的性质。

通过采用 Fischer 等人的研究范式, 本研究避免了以往研究负数空间表征及加工机制的不足, 达到了有效控制对负数的数字及负号整体加工的目的。所得结果能够说明负数及其负号作为整体加工的方式。

实验一在仅将负数作为提示线索的条件下, 当呈现绝对值小(-1, -2)的负数时, 发现左侧的刺激探测要显著快于右侧; 当呈现绝对值大(-8, -9)的负数时, 右侧的刺激探测要显著快于左侧, 表明对负数的绝对值加工能够引起空间注意转移。实验二用正数, 负数, 和 0 三种数字混合作为提示线索的条件下, 当呈现数量值小的负数(-8, -9)时, 发现左侧刺激探测要显著快于右侧; 呈现数量值大的负数(-1, -2)时, 右侧刺激探测要显著快于左侧, 表明空间注意的转移是基于负数数量大小的加工。

两个实验的不同结果可能表明, 负数的加工涉及比较复杂的加工机制, 在不同的环境背景下, 负

数可能存在不同的低水平自动加工,当负数的负号对加工有意义时,负号能够被作为整体进行加工;而当负号对加工没有意义时,负号就可能被忽视,而只对其绝对值进行加工。

实验三进一步说明负数的确能够将其负号作为整体进行自动化加工。实验三中我们再一次用正数,负数,和 0 三种数字混合作为探测刺激前的线索,但仅有负数和 0 为有效提示线索,即被试只对负数和零作为提示线索之后的探测刺激进行反应,而对正数作为提示线索之后的探测刺激不进行反应。我们又一次得到了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。

因为保证了被试对负数的负号进行加工,并且是对负数的数字部分及其负号作为整体共同加工的,因此可以说,实验二得到了对负数整体进行较低水平的加工引起的空间注意的转移,对负数实际数量大小的加工能够在较低水平自动化地完成。

因为被试在整个实验过程中对实验目的一无所知,对实验材料中的数字也没有特别的提示,实验二和实验三在负数,零,和正数混合的情况下也没有特别地对某些数字(如零)进行强调,并且在所有三个实验中被试对数字的加工都是处于知觉阶段的低水平加工,所以,不会存在提示被试以 0 作为参照点,因此实验二和实验三得到的结果可以认为是对数字数量大小加工引起的空间注意的转移。

5.1 负数的加工与表征也与空间存在关联

在三个实验中,无论采用怎样的数字呈现作为提示线索,我们都一致地得到了由于对负数的加工与表征而产生的空间注意的转移,说明负数的加工与表征也与空间存在关联,因此能够引起空间注意的转移。空间注意转移的方向决定于负数与空间关联的方向,表现为其表征在心理数字线上的位置。如果负数与空间存在的关联符合以数量值大小自左向右表征在心理数字线上,那么数量值大的引起偏向右侧的空间注意转移,数量值小的则引起偏向左侧的空间注意转移。如果负数与空间存在的关联符合以绝对值大小自左向右表征在心理数字线上,那么绝对值大的则引起偏向右侧的空间注意转移,绝对值小的则引起偏向左侧的空间注意转移。

5.2 负数加工存在较低水平的自动化整体加工——数量大小的表征

对负数的加工和表征既可以是基于绝对值的,也可以是数字与负号作为整体加工和表征的,即基于其实际数量值大小的。采用哪种方式决定于实际

任务的需求。因为在实验三中保证了被试对负数的负号进行加工,并且是对负数的数字部分及其负号作为整体共同加工的,因此可以说,实验二中得到对负数进行较低水平的加工引起的空间注意的转移,并且这样的加工能够在较低水平自动化地完成。然而负数加工的自动化水平可能不如正数的自动化水平大。

5.3 心理数字线具有依据任务需求而变化的动态性——心理数字线能够延伸至零的左侧

实验一与实验二、三由于实验任务需求的不同,形成的心理数字线是不相同的,实验一中数字以绝对值大小自左向右表征在心理数字线上,而实验二、三中数字以数量值大小自左向右表征在心理数字线上,并且能够延伸至 0 的左侧。

三个实验结果表明,心理数字线并不是固定不变的,表征在其之上的数字位置也不是固定的,心理数字线的形成是一个动态的过程,它依赖于整个参与表征的数字组,涉及任务的所有数字。每个数字在心理数字线上的位置会依据它与其它数字的相对关系或任务的具体需求而定。心理数字线的延伸方向也会随着任务的需求进行最适当的调整。

因此,当负数,0 与正数共同参与加工和表征时,心理数字线的方向会向左边进行延伸直到 0 的左侧,并且负数可以按照其数量大小表征在心理数字线上,数量值小的负数表征在左侧,数量值大的负数表征在右侧。如果仅仅只有负数参与任务,那么较低水平的加工可能只能形成简单的心理数字线,按照其数字部分的绝对值大小表征在心理数字线上。

综合来看,负数的加工和表征在不同的情况下可能会表现出不同形式和方式,机制比较复杂,由此影响心理数字线的形成。

本研究关于负数的加工与表征机制为 Shaki 等人提出的数量-极性假说(Magnitude-Polarity Hypothesis) (Shaki & Petrusic, 2005)提供了一定的支持证据。Shaki 等人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正数或负数的条件下(如本研究的实验一),会优先加工数字部分,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大小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(如本研究的实验二和实验三),负号和数字会作为一个整体得到加工,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心理数字线上。然而需要指出的是,本研究采用 Fischer 等人(2003)研究采用的刺激探测任务的研究范式,得到了与 Shaki 等人采用大小比较范式相一致的结果。因此,Shaki 等人提出的数量-极性假说在一定程度上反映了负数的心理表征机制的一部分秘密。

更重要的是,本研究也为这一假设添加了更多新的可能性:负数的加工与表征存在动态性和灵活性。

总体来看,本研究的结果表明,负数的加工和表征与正数是不同的,负数和 0 与空间存在关联,对负数和 0 的低水平整体加工可以引起空间注意的转移,然而,是其绝对值的加工还是数量大小的加工引起注意转移依赖于共同参与的其它数字的加工以及任务需求产生的影响。

另一方面,本研究的结果也显示:心理数字线并非固定的,而是具有动态性,灵活性,心理数字线可以延伸至零的左边,然而是否能延伸至零的左边,依赖于组成这条心理数字线的所有数字的相对关系。另外,心理数字线并不单一,它还存在其他形式,Schwarz 和 Keus (2004)用眼动方法研究发现:数字与空间的关联不仅仅局限于水平方向,还存在于竖直方向。因此,他们认为数字与空间的关联并非是一维的,而是类似于一张地图,是一个二维的表征。

综上所述,我们的研究为负数的加工与表征机制提供了新的证据,负数和 0 的加工与表征也与空间存在关联,因此能够引起空间注意的转移。空间注意转移的方向决定于负数和 0 与空间关联的方向,表现为其表征在心理数字线上的位置。对负数的加工和表征既可以是基于绝对值的,也可以是数字与符号作为整体加工和表征的,即基于其实际数量值大小的。采用哪种方式决定于实际任务的需求。对负数进行较低水平的加工引起的空间注意的转移是对负数的负号也作为整体进行了加工,并且这样的加工能够在较低水平自动化地完成。心理数字线并不是固定不变的,表征在其之上的数字位置也不是固定的,心理数字线的形成是一个动态的过程,它依赖于整个参与表征的数字组,整个涉及任务的所有数字。每个数字在心理数字线上的位置会依据它与其它数字的相对关系和任务的具体需求而定。心理数字线的延伸方向也会随着任务的需求进行最适当的调整。

不仅仅是这样,我们同时也看到了问题的复杂性,它提示我们,数字加工虽然是最基本的认知加工之一,但它并不是简单的,独立的,它可能与我们的众多的认知加工都存在关联,与空间的关联只是其中的一个,它的深刻意义和利用价值鼓励我们更多地思考和探索...

参 考 文 献

- Bonato, M., Priftis, K., Marenzi, R., & Zorzi, M. (2005, January). *The role of directional cues in modulating hemispatial neglect in a detection task*. Poster session presented at the Twenty-third European Workshop on Cognitive Neuropsychology, Bressanone, Italy.
- Casarotti, M., Michielin, M., Zorzi, M., & Umiltà, C. (2007). Temporal order judgment reveals how number magnitude affects visuospatial attention. *Cognition*, 102(1), 101-117.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 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(3), 626-641.
- Fischer, M. H. (2003). Cognitive representation of negative numbers. *Psychological Science*, 14(3), 278-282.
- Fischer, M. H., Castel, A. D., Dodd, M. D., & Pratt, J. (2003). Perceiving numbers causes spatial shifts of attention. *Nature Neuroscience*, 6(6), 555-556.
- Fischer, M. H., & Rottmann, J. (2005). Do negative numbers have a place on the mental number line? *Psychological 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.
- Galfano, G., Rusconi, E., & Umiltà, C. (2006). Number magnitude orients attention, but not against one's will. *Psychonomic Bulletin and Review*, 13(5), 869-874.
- Mapelli, D., Rusconi, E., & Umiltà, C. (2003). The SNARC effect: An instance of the Simon effect? *Cognition*, 88, B1-B10.
- 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, Section A*, 57(5), 835-863.
- Pratt, J., Spalek, T. M., & Bradshaw, F. (1999). The time to detect targets at inhibited and noninhibited locations: Preliminary evidence for attentional momentum. *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, 25, 730-746.
- Priftis, K., Zorzi, M., Meneghello, F., Marenzi, R., & Umiltà, C. (2006). Explicit versus implicit processing of representational space in neglect: Dissociations in accessing the mental number line. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 680-688.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime User's Guide*. Pittsburg: Psychology Software Tools Inc.
- 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., & Petrusic, W. M. (2005). On the mental representation of negative numbers: Context-dependent SNARC effects with comparative judgments. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 931–937.
- Shore, D. I., Spence, C., & Klein, R. M. (2001). Visual prior entry. *Psychological Science*, 12, 205–212.
- Zorzi, M., Priftis, K., Meneghello, F., Marenzi, R., & Umiltà, C. (2006). The spatial representation of numerical and non-numerical sequences: Evidence from neglect. *Neuropsychologia*, 44(7), 1061–1067.
- Zorzi, M., Priftis, K., & Umiltà, C. (2002). Neglect disrupts the mental number line. *Nature*, 417, 138–139.

Spatial Representation of Negative Numbers Induces Spatial Shifts of Attention

ZHANG Yu; YOU Xu-Qun

(School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an, 710062, China)

Abstract

The SNARC Effect (Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993; Dehaene, Dupoux, & Mehler, 1990) and Spatial Shifts of Attention (Fischer, Castel, Dodd, & Pratt, 2003; Casarotti, Michielin, Zorzi, & Umiltà, 2007) indicate that there are tight connections between number processing and representation and space. These discoveries, however, are only regarded with positive numbers presently, there are few effective experimental studies or evidence on the mechanism of the processing and representation of negative numbers with 0, or on the connections between negative numbers and space.

For a lack of effective experimental methodology (Fischer, & Rottmann, 2005; Nuerk, Iversen, & Willmes, 2005; Fischer, 2003), it is less than possible to set up research to investigate the secrets behind the processing and representation of negative numbers with 0. As a result, there's no persuasive answer to the questions about whether there are connections between negative numbers and space; or whether the low level processing of negative numbers with 0 can induce Spatial Shifts of Attention. The present study, including 3 effective experiments by using stimuli detection task with number cues, was to investigate the connections between negative numbers with 0 and space, and the mechanism of the processing and representation of negative numbers and 0, through observing if the low level processing of negative numbers can induce spatial shifts of attention, and whether it depends upon their magnitude or absolute value.

Experiment 1 was a within-subject design of 2 (target side: left and right) $\times$ 2 (magnitude of cueing number: small and large) $\times$ 6 (variable delays: 50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400ms and 500 ms). Results from Experiment 1, in which only negative numbers were included, showed that left (right) targets were detected significantly faster than right (left) ones when numbers with small (large) absolute value were preceded, revealing spatial shifts of attention depending upon absolute value of negative numbers. Experiment 2 was a 2 (target side: left, right) $\times$ 5 (number magnitude: quite small, small, medium, large, quite large) $\times$ 6 (variable delays: 50 ms, 100 ms, 200 ms, 300 ms, 400 ms, or 500 ms) within-subject design, in which both positive and negative numbers, and zero were mixed as cues, showed that left (right) targets were detected significantly faster than right (left) ones when numbers with small (large) magnitude were preceded, revealing spatial shifts of attention depending upon their magnitude, therefore, there is a mental number line extending to the left side of zero, and representing numbers depending upon number magnitude. Experiment 3 was a 2 (target side: left, right) $\times$ 3 (number magnitude: small, large, 0) $\times$ 6 (variable delays: 50ms, 100ms, 200ms, 300ms, 400ms, or 500ms) within-subject design, in which only negative numbers with 0 were designed as effective cues, although still cued by the whole mix of all negative, 0 and positive numbers as numbers preceding the targets, subjects were only requested to respond to targets preceded by effective cues (negative numbers and 0), while not respond to targets preceded by non-effective cues (positive numbers). Consistently, spatial shifts of attention depending upon number magnitude were successfully induced by processing effective cueing numbers (–8, –9, –1, –2, 0). By ensuring that the minus signs were processed with the numbers holistically, it can be put that there can be a low-level processing of negative number magnitude to some extent of automation.

As a whole, the present study suggested that low level processing of negative numbers as cues can induce spatial shifts of attention, whether it depends upon their magnitude or absolute value, however, seems to depend upon the task requirement and the inter-influence from other involved numbers in the task; there are connections between negative numbers, 0 and space; there can be a low-level processing of negative number magnitude to some extent of automation; the forming and representing of mental number line is dynamic and flexible to fit the task requirements, mental number line, therefore, can extend to the left side of zero, while representing number magnitude.

Key words negative numbers, spatial shifts of attention, numerical cognition, number processing and representation, mental number line