

视觉空间指令条件下 SOAs 变化对数字 – 空间联结编码的影响:来自 ERP 的证据*

张志伟 潘 运

(贵州师范大学心理学院, 贵阳 550025)

摘 要:采用数字奇偶判断任务,以数字 1–9(5 除外)及汉字标签(左、右)作为实验材料,在视觉空间任务指令下探讨系统改变 SOAs 对数字 – 空间联结编码方式的影响。行为结果发现,SNARC 效应以视觉空间编码方式为主,SOA 为 0ms 并未出现 SNARC 效应;ERP 结果发现,物理一致性在早期成分 N1 上的主效应显著。表明任务指导语影响 SNARC 效应的编码方式,其本质受词语信息标签加工程度的影响,且对 SNARC 效应的编码出现早期感觉阶段,SOAs 与目标数字的特性影响 SNARC 效应的产生。

关键词:数字 – 空间联结;SNARC 效应;视觉空间指令;编码;SOAs

中图分类号:B842.5

文献标识码:A

文章编号:1003–5184(2021)06–0496–08

1 引言

数字 – 空间联结是当前数字认知领域的研究热点。作为数字 – 空间联结的重要证据之一,空间 – 数字反应联合编码效应(Spatial – Numerical Association of Response Codes, SNARC)是指被试在数字大小比较或奇偶判断任务中会表现出对于小数字(如,1、2),左手按键的反应比右手更快;而对于大数字(如,8、9),右手按键比左手反应更快的现象(Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993)。自 Dehaene 等(1993)开创性地发现 SNARC 效应以来,很多研究都探讨了该效应。研究者验证了在数字符号如英文与德文数字符号(Calabria & Rossetti, 2005; Nuerk, Wood, & Willmes, 2005);刺激通道如听觉(Weis, Estner, & Lachmann, 2016; Weis, Estner, van Leeuwen, & Lachmann, 2016);反应方式如双眼反应(Hesse & Bremmer, 2017),单手反应(Fischer & Shaki, 2017)以及非概念性大小如亮度(Fumarola et al., 2014; Ren, Nicholls, Ma, & Chen, 2011)都发现了 SNARC 效应。

数字究竟是以何种方式在空间上进行表征的,主要的解释有心理数字线(Mental number line)与极性理论(Polarity correspondence theory)。心理数字线认为数字是按照从小到大的顺序被表征在空间中,因此在对数字进行判断时,左手对小数字反应快而大数字对右手反应快。对脑损伤的患者的研究(Zorzi, Priftis, & Umiltà, 2002)验证了心理数字线假

设,左侧忽视的患者被要求做数字 1~9 的分半任务,被试认为中点不是在 5 而是会将中点偏右移,认为中点是数字 7。被试表现出的右侧偏移的原因是对左侧空间的忽视,证明了数字是从左向右的顺序进行空间表征。极性理论(Proctor & Cho, 2006)的解释则与心理数字线不同,该理论认为数字不是从左向右进行排列,而是通过概念进行关联。任何事物都存在着两级对立的属性,如在数字大小当中,概念维度小被认为是负极,大被认为是正极;在水平方向上,概念维度左被认为是负极,右被认为是正极。SNARC 效应的产生不是因为数字从左到右进行空间表征,而是将负极概念左与小相关联,正极概念右与大相关联。双路径模型(Dual – route model)也在一定程度上契合了极性理论(Gevers, Ratineckx, De Baene, & Fias, 2006)。此外,还有研究者从工作记忆的角度对 SNARC 效应进行解释(Ginsburg & Gevers, 2015; Ginsburg, Van Dijck, Previtali, Fias, & Gevers, 2014; van Dijck & Fias, 2011; Wang, Liu, Shi, & Kang, 2018)。研究者将心理数字线理论总结为视觉空间编码,即数字是按照小数字在左大数字在右进行心理表征的;将极性理论与双路径模型总结为言语空间编码,即言语分类概念“小”和“左”、“大”和“右”之间存在着联结导致的(Gevers et al., 2010)。

为了验证 SNARC 效应的编码方式,Gevers 等(2010)设计了 4 个实验,前两个实验证明了视觉空

* 基金项目:国家自然科学基金项目(31860281),贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2018]5769 号)。

间编码和言语空间编码都能产生 SNARC 效应,后两个实验将两种编码方式直接进行比较,发现在奇偶判断任务中,SNARC 效应以言语空间编码为主;在大小判断任务中,SNARC 同样以言语空间编码为主。然而上述研究的缺陷在于被试进行判断时接受言语任务指令,因此在言语任务指导语下得出言语空间为主要编码方式的结论存在一定争议(Georges, Schiltz, & Hoffmann, 2015)。为此 Georges 等(2015)修正了 Gevers 等(2010)的实验,被试同时接受言语任务指令和视觉空间任务指令的实验处理。言语任务指令要求被试按词语标签同侧的按键,忽视词语标签所处的空间位置;而视觉空间任务指令要求被试按照空间位置进行按键反应,忽视词语标签的位置。该研究证明了在言语任务指令下,言语空间为主要的编码方式;而在空间任务指令下,言语空间编码与视觉空间编码同时存在,说明言语空间并不是主导 SNARC 效应的编码方式,视觉空间编码同样发挥作用。Georges 等(2015)虽然采用了空间任务和言语任务指导语,但采用了数字大小判断任务,而 Gevers 等(2010)认为数字大小判断是偏向于视觉空间编码的任务。因此,空间任务指令下采用偏向于视觉空间编码的任务,结论以视觉空间编码为主同样存在问题。对采用偏向于言语空间编码的奇偶判断任务,在空间任务指令下 SNARC 效应的以何种编码方式为主还需要进一步探讨。

已有研究发现,如果两个刺激的出现时间不同步,随着刺激目标异步(Stimulus Onset Asynchronies, SOAs)的变化,第一个刺激会影响第二个刺激的加工(Pashler, 1994a)。SOAs 越短,对第二个刺激的反应时越长,这种现象称之为心理不应期(Pashler, Harris, & Nuechterlein, 2008)。一项研究发现对第二个刺激的反应时延长主要发生在反应选择阶段(Luck, 1998)。SNARC 效应编码的研究中在对目标数字进行判断前需要对词语标签进行加工,则对目标数字的反应时差异不仅来源于数字本身所具有的空间特性,同时不能忽视词语标签与目标数字的时间间隔。因此,SOAs 可能是影响 SNARC 效应及其编码方式的重要因素。

以往运用电生理技术的研究多将重点着眼于 SNARC 效应的发生时间。一项研究分别对锁时于刺激与反应的 ERP 成分进行分析,发现反应锁时的 ERP 成分相较于刺激锁时存在更显著的 SNARC 效应,进一步分析发现 SNARC 效应发生于反应选择阶段而不是反应执行阶段(Keus, Jenks, & Schwarz, 2005)。另一项有关数字引起空间注意转移的研究发现,数字的空间表征与早期感觉注意无关,而与刺

激分类阶段有关(Salillas, El Yagoubi, & Semenza, 2008)。然而最近有研究发现对数字的大小感知早在 N1 成分已经存在差异(Pinto et al., 2018)。上述实验对 SNARC 效应的产生时间进行研究,但未能得到一致性的结论。在改变 SOAs 的奇偶判断实验中,SNARC 效应的编码是否出现于刺激分类或感觉注意阶段还需要进一步探讨。

综上所述,在视觉空间任务指令条件下,SNARC 效应的编码方式为视觉空间编码,SOAs 会影响 SNARC 效应的产生,然而是否会影响其编码方式尚未可知。且过去的电生理研究表明 SNARC 效应的产生时间尚未有一致性结论,结合已有研究指出数字-空间联结是一种自动激活的现象(Fischer, 2003; Hubbard, Piazza, Pinel, & Dehaene, 2005),SNARC 效应的编码相较于刺激分类更偏向产生于早期感觉阶段。采用事件相关电位技术,利用 N1 和 P3 两个成分,通过系统改变 SOAs 考察在视觉空间任务指令条件下数字-空间联结的编码方式。N1 成分对应于早期的感觉注意(Hillyard, Vogel, & Luck, 1998),P3 对应于刺激的反应选择与分类鉴别(Conroy & Polich, 2007)。提出如下假设:(1)SNARC 效应的编码方式以视觉空间编码为主,且编码在早期感觉阶段发生。(2)SNARC 效应会受 SOAs 的影响,即在某些 SOAs 上不会出现 SNARC 效应。

2 方法

2.1 被试

来自贵州某大学的 30 名大学生参加了脑电实验(24 名女生,年龄 22 ± 2.93 岁),所有被试均为右利手,视力或矫正视力正常,无色盲或者色弱,无精神病史,身体健康,之前未参加过类似的实验,被试在实验之前签署知情同意书,实验结束后获得一定的报酬。根据前人研究(van Dijk, Abrahamse, Acar, Ketels, & Fias, 2014)采用 G * power 3.1 软件在检验效能为 0.85,显著性水平为 0.05 以及效应量为 0.25 计算出每组需要被试 6 人,共 12 人。本实验已得到伦理委员会批准。

2.2 实验材料

实验材料由词语标签和目标数字两部分组成,目标数字为数字 1~9(5 除外)。数字字体为 Courier New,大小为 $(1.8^\circ \times 1.9^\circ)$ 。词语标签字体为微软雅黑,大小为 $(3^\circ \times 2.6^\circ)$ 。一半试次中,词语标签“左”呈现在数字的左边,“右”呈现在数字的右边;另一半试次中,词语标签“右”呈现在目标数字的左边,词语标签“左”呈现在数字的右边。数字与词语标签的左右距离均为 4.3° 。词语标签与目标

数字均为黑色,背景颜色为白色。

2.3 实验设计

采用 $4(\text{SOAs}: 0\text{ms}, 200\text{ms}, 800\text{ms}, 1200\text{ms}) \times 2$ (词语一致性: 词语一致, 词语不一致) $\times 2$ (物理一致性: 物理一致, 物理不一致) 的被试内设计。汉字“左”呈现在目标数字的左边, 汉字“右”呈现在目标数字的右边为词语一致; 汉字“右”呈现在目标数字的左侧, 汉字“左”呈现在目标数字的右侧为词语不一致; 对小于 5 的数字用左手进行反应, 对大于 5 的数字用右手反应为物理一致; 对小于 5 的数字用右手反应, 对大于 5 的数字用左手反应为物理不一致。行为结果的因变量为反应时, ERP 结果的因变量为波幅。

实验包括 1 组练习实验和 8 组正式实验。练习实验包括 16 个试次, 被试的正确率需要达到 90% 才能开始正式实验, 没有达到规定的正确率则需要重新开始练习实验。正式实验为 544 个 trials 随机呈现(探测试次为 32 个)。在完成一定试次的实验后给与被试时间休息, 共 7 次休息。

2.4 实验程序

实验程序由 MATLAB 2016a 编制, 使用 21 寸液晶显示器呈现实验材料, 屏幕分辨率为 1920×1080 , 刷新率为 120Hz 。被试距离屏幕 70cm , 注视点和目标数字呈现在屏幕的正中央。在实验中记录被试的反应时, 正确率以及 EEG 数据采集。实验采用奇偶判断任务, 首先在屏幕中央呈现一个黑色的注视点“+”($1.1^\circ \times 1.2^\circ$), 持续时间为 800ms 。注视点消失后, 屏幕两边呈现词语标签, 接着呈现目标数字, 词语标签与目标刺激之间的间隔为随机的 0ms , 200ms , 800ms 或 1200ms , 被试完成反应后呈现 $800 \sim 1200\text{ms}$ 的空屏然后开始新的试次, 见图 1。被试需要对屏幕中央呈现的数字进行奇偶判断, 将被试随机分为两组, 一组被试判断奇数则按 D 键, 偶数按 K 键; 另一组被试判断奇数按 K 键, 偶数按 D 键。视觉空间指令下不需要对词语标签进行反应, 但为了保证被试在进行奇偶判断之前的对词语标签进行加工, 实验中设置了数字两边呈现的词语标签为“数”字的探测试次。探测试次与正式试次随机呈现, 出现探测试次时则需要按空格键进行反应。指导语同时强调速度和准确性。

2.5 EEG 记录和数据处理

采用 Neuroscan 4.5 脑电记录系统, 64 导电极帽记录脑电数据。在线记录时以头顶电极做参考, Fz 与 FPz 的中点接地。水平眼电与垂直眼电均为双极记录, 水平眼电左右电极分别置于左右眼角 1cm 处, 垂直眼电电极置于左眼眶上下各 1cm 正中

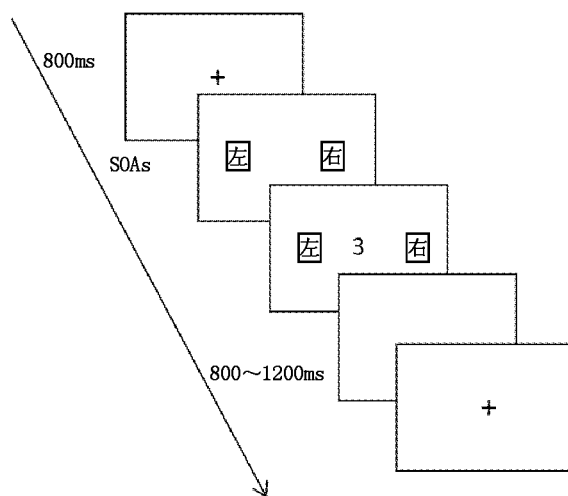


图1 实验流程图

位置。采样率为 1000Hz , 头皮阻抗小于 $5\text{k}\Omega$ 。离线分析采用 EEGLAB 与 ERPLAB。以双侧乳突平均值做参考, 滤波带通 $0.01 \sim 30\text{Hz}$ 。以独立成分分析 (ICA) 排除眼动伪迹对 EEG 数据的影响, 叠加前剔除波幅为 $\pm 75\mu\text{V}$ 以外的试次, 只对正确试次进行叠加。截取 1000ms 的脑电数据, 以目标刺激呈现前 200ms 作为基线 (SOA 为 200ms 以词语标签前 200ms 作为基线), 目标呈现后 800ms 为分析时程。去除伪迹后的试次按照 SOAs (0ms , 200ms , 800ms , 1200ms) \times 物理一致性 (物理一致、物理不一致) \times 词语一致性 (词语一致、词语不一致) 16 种处理分别进行叠加。根据已有相关研究 (Gevers et al., 2006; Gut, Szumska, Wasilewska, & Jaskowski, 2012; Keus et al., 2005) 以及实验假设, 与早期注意有关的 N1 成分主要出现在枕叶, 与识别决策有关的 P3 成分主要出现在额叶, 所以选择 N1 ($100 \sim 200\text{ms}$, PO3, PO4, PO5, PO6, P3, P4, O1, O2) 和 $350 \sim 500\text{ms}$, C1, C2, C3, C4, CP1, CP2, FC1, FC2)。Greenhouse - Geisser 法对 p 值进行校正。

3 结果

剔除脑电伪迹拒绝率超过 30% 的五名被试数据, 探测实验错误率超过 30% 的一名被试数据, 共分析 24 名被试数据 (19 名女生)。

3.1 行为结果

使用 SPSS 19 软件对结果进行分析, 排除 3 个标准差之外的反应时以及错误反应试次, 剔除率为 8%。实验结果采用 $4(\text{SOAs}: 0\text{ms}, 200\text{ms}, 800\text{ms}, 1200\text{ms}) \times 2$ (词语一致性: 词语一致和词语不一致) $\times 2$ (物理一致性: 物理一致和物理不一致) 的重复测量方差分析, 结果发现: SOAs 的主效应显著, $F(3, 69) = 46.82, p < 0.001, \eta^2 = 0.68$ 。反应时随着

SOAs 的增大而减小。SOA 为 0ms (672.84ms) 的反应时显著长于 SOA 为 200ms (624.16ms), $p < 0.001$; SOA 为 0ms 的反应时显著长于 SOA 为 800ms (616.44ms), $p < 0.001$; SOA 为 0ms 的反应时显著长于 SOA 为 1200ms (612.30ms), $p < 0.001$; 其余 SOAs 之间差异均没有达到显著, $ps > 0.05$ 。物理一致性的主效应显著, $F(1, 23) = 5.92, p < 0.05, \eta^2 = 0.21$, 物理一致的反应时(625.39ms)短于物理不一

致(637.48ms)。其他主效应与交互作用均不显著 $ps > 0.05$ 。根据已有研究(Gevers et al., 2010), 如果物理一致性与词语一致性之间存在交互作用说明 SNARC 效应以言语空间编码为主; 如果物理一致性的主效应显著而与词语一致性之间的交互作用不显著则说明 SNARC 效应的编码方式以视觉空间编码为主。本研究结果表明 SNARC 效应以视觉空间编码为主, 具体见表 1。

表 1 奇偶判断任务的反应时(ms) ($M \pm SD$)

SOAs	词语一致		词语不一致	
	物理一致	物理不一致	物理一致	物理不一致
0ms	672.82 ± 95.60	681.09 ± 91.86	664.23 ± 91.11	673.20 ± 81.50
200ms	619.60 ± 79.24	624.28 ± 74.69	619.63 ± 77.33	633.13 ± 81.13
800ms	604.88 ± 83.17	628.70 ± 97.83	613.58 ± 96.02	618.61 ± 75.66
1200ms	603.78 ± 85.43	631.63 ± 95.13	604.59 ± 78.43	609.18 ± 81.24

对 SNARC 效应的检验参考 Dehaene 等(1993)的方法,对反应时进行 2(数字大小:1、2、3、4 为小数字,6、7、8、9 为大数字) × 2(反应手:左、右)的重复测量方差分析,结果表明反应手的主效应显著, $F(1, 23) = 5.85, p < 0.05, \eta^2 = 0.20$, 左手的反应时(684.72ms)长于右手的反应时(671.87ms); 数字大小的主效应不显著, $F(1, 23) = 2.96, p > 0.05$; 反应手与数字大小的交互作用显著, $F(1, 23) = 7.19, p < 0.05, \eta^2 = 0.24$, 说明存在 SNARC 效应。为了探究是否在 SOAs 的每个水平上都出现 SNARC 效应, 对每个 SOAs 下的数字大小与反应手进行重复测量方差分析, 结果表明 SOA 为 0ms 时, 反应手的主效应不显著, $F(1, 23) = 0.18, p > 0.05$; 数字大小的主效应不显著, $F(1, 23) = 1.88, p > 0.05$; 反应手与数字大小交互作用不显著, $F(1, 23) = 3.92, p > 0.05$; SOA 为 200ms 时, 反应手的主效应显著, $F(1, 23) = 14.50, p < 0.05, \eta^2 = 0.39$, 左手反应时(632.45ms)长于右手反应时(620.82ms); 数字大小的主效应显著, $F(1, 23) = 6.55, p < 0.05, \eta^2 = 0.22$, 小数字反应时(622.99ms)短于大数字的反应时(630.29ms); 反应手与数字大小的交互作用显著, $F(1, 23) = 31.64, p < 0.001, \eta^2 = 0.58$, 说明出现了 SNARC 效应; SOA 为 800ms 时, 反应手的主效应显著, $F(1, 23) = 31.88, p < 0.001, \eta^2 = 0.58$, 左手反应时(620.90ms)长于右手反应时(604.95ms); 数字大小的主效应显著, $F(1, 23) = 45.38, p < 0.001, \eta^2 = 0.66$, 小数字反应时(604.42ms)短于大数字的反应时(621.43ms); 反应手与数字大小的交互作用显著, $F(1, 23) = 13.53, p < 0.05, \eta^2 = 0.37$, 说明出现

了 SNARC 效应。SOA 为 1200ms 时, 反应手的主效应不显著, $F(1, 23) = 0.55, p > 0.05$; 数字大小的主效应显著, $F(1, 23) = 18.17, p < 0.001, \eta^2 = 0.44$, 小数字反应时(606.08ms)短于大数字的反应时(613.61ms); 反应手与数字大小的交互作用显著, $F(1, 23) = 9.47, p < 0.05, \eta^2 = 0.29$, 说明出现了 SNARC 效应。本研究结果表明 SOAs 会影响 SNARC 效应的产生。

3.2 ERP 结果

3.2.1 N1

在 100 ~ 200ms 时窗内对 N1 的波幅进行 2(脑区:左、右) × 2(物理一致性:物理一致, 物理不一致) × 2(词语一致性:词语一致, 词语不一致) × 4(SOAs:0ms, 200ms, 800ms, 1200ms)的重复测量方差分析发现, SOAs 的主效应显著, $F(3, 69) = 11.06, p < 0.001, \eta^2 = 0.33$, 事后比较发现, SOA 为 0ms (- 8.52μV) 的波幅显著大于 SOA 为 200ms (- 6.85μV), $p < 0.05$; SOA 为 0ms 的波幅显著大于 SOA 为 800ms (- 6.23μV), $p < 0.001$; SOA 为 800ms 的波幅显著小于 SOA 为 1200ms (- 7.51μV), $p < 0.001$, 其余 SOAs 间波幅差异均没有达到显著, $ps > 0.05$ 。物理一致性的主效应显著, $F(1, 23) = 6.71, p < 0.05, \eta^2 = 0.23$, 物理一致情况下的波幅(- 7.12μV) 小于物理不一致情况下的波幅(- 7.44μV)。脑区的主效应显著, $F(1, 23) = 8.00, p < 0.05, \eta^2 = 0.26$, 左脑的波幅(- 7.76μV) 大于右脑的波幅(- 6.80μV)。其余主效应与交互作用均不显著, $ps > 0.05$ 。说明 SNARC 效应的编码发生在早期感觉阶段, N1 成分的波形图如图 2 所示。

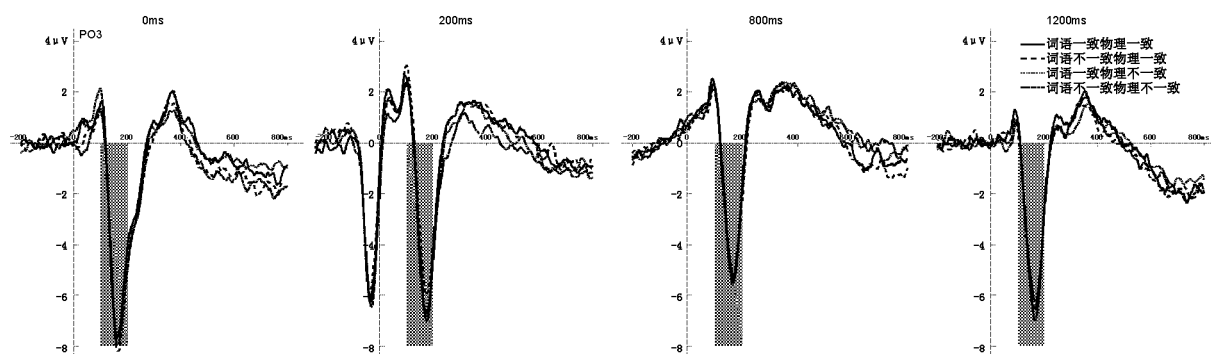


图2 N1 成分的波形图

3.2.2 P3

在 350 ~ 550ms 对 P3 波幅进行 2(脑区:左,右) × 2(物理一致性:物理一致,物理不一致) × 2(词语一致性:词语一致,词语不一致) × 4(SOAs:0ms, 200ms, 800ms, 1200ms) 的重复测量方差分析发现, 结果发现 SOAs 的主效应显著, $F(3, 69) = 9.50, p < 0.001, \eta^2 = 0.29$, 事后比较发现 SOA 为 0ms (8.12μV) 的波幅显著大于 SOA 为 200ms (6.80μV), SOA 为 200ms 的波幅显著小于 SOA 为 1200ms (9.04μV) 的波幅, SOA 为 800ms (7.62μV)

的波幅显著小于 SOA 为 1200ms (9.04μV), 其余 SOAs 之间的波幅差异没有达到显著, $ps > 0.05$; 脑区的主效应达到边缘显著, $F(1, 23) = 3.91, p = 0.06, \eta^2 = 0.15$, 左脑的波幅 (8.15μV) 大于右脑 (7.66μV); 脑区与 SOAs 的交互作用显著, $F(1, 23) = 3.60, p < 0.05, \eta^2 = 0.14$, 左脑侧 SOAs 为 0ms 与 1200ms 波幅大于 SOAs 为 200ms 与 800ms。其余主效应与交互作用均不显著, $ps > 0.05$ 。说明 SNARC 效应的编码与刺激分类阶段无关, P3 的波形图如图 3 所示。

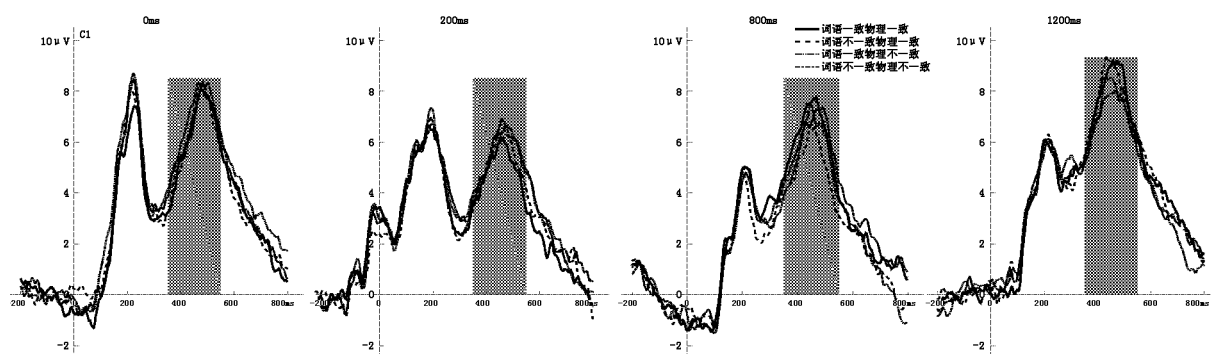


图3 P3 成分的波形图

4 讨论

本研究采用奇偶判断任务,在视觉空间任务指令条件下通过改变 SOAs 以锁时于刺激的 ERP 成分探究数字 - 空间联结的编码方式,结果表明 SOAs 以及物理一致性是影响 SNARC 效应及其编码方式的重要因素。首先,SOAs 的改变会影响 SNARC 效应的发生。其次,SNARC 效应的编码方式受到任务指令的影响,且 SNARC 效应的编码出现在早期感觉阶段。

已有研究发现 SNARC 效应的编码方式以言语空间编码为主 (Gevers et al., 2010)。然而有研究者认为 SNARC 效应不能从任务指令中分离,数字 - 空间联结并不是单一加工机制的作用,空间编码方式与任务指导语密切相关 (van Dijck, Gevers, Lafosse, & Fias, 2012)。Georges 等 (2015) 的研究证

明了言语空间任务指令下 SNARC 效应的编码方式以言语空间编码为主,视觉空间任务指令下视觉空间编码同样占主导作用。这似乎是任务指导语决定数字 - 空间联结编码方式的强有力证据。然而此前有研究指出如果对词语标签的加工达到一定程度,一个显著的词语一致性主效应能够被观察到 (Imbo, Brauwer, Fias, & Gevers, 2012)。研究证明无论在行为还是脑电层面均没有发现显著的词语一致性的主效应。相较于言语空间任务指令,视觉空间任务指令条件下的奇偶判断任务被试对词语标签的加工程度较低,尽管被试在探测刺激的正确率上符合标准,脑电的结果却没有发现显著的词语一致主效应,揭示了被试并没有对词语标签进行深加工。在言语空间任务指令下,被试需要按照词语标签的方位进行判断,而在视觉空间任务指令下,词语标签不

对被试的反应造成影响(探测试次除外)。因此,任务指导语所引起的数字-空间联结编码方式的变化其本质在于被试对词语标签的加工程度。

研究结果表明无论在行为结果以及 ERP 的 N1 成分中发现显著的物理一致性的主效应,表明了 SNARC 效应的编码方式以视觉空间编码为主。两项有关 SNARC 效应的电生理学研究发现,SNARC 效应发生于反应选择阶段(Gevers et al., 2006; Keus et al., 2005)。SNARC 效应不仅有关于晚期的反应选择阶段,同时有关于早期的注意以及中期选择阶段。一项研究表明,数字大小在 P3 波幅上的差异表明了 SNARC 效应来源于对刺激分类的中期分类阶段(Gut et al., 2012)。同时在正负数混合的大小判断任务中在 P3 成分上同样发现了类似的结果(韩萌,毛新瑞,蔡梦彤,贾茜,郭春彦,2017)。实验结果表明在早期感觉成分 N1 上出现了明显的物理一致性主效应,而在中期选择阶段 P3 并没发现显著的主效应,这说明 SNARC 效应的编码起源于早期的感觉阶段,而刺激分类阶段与 SNARC 效应的编码无关。研究发现无论在 N1 与 P3 成分上,波幅都呈现出两端大(0ms 与 1200ms)中间小(200ms 与 800ms)的趋势,其原因可能在于被试需要在 SOA 为 0ms 时处理出现的词语标签与目标数字信息,尽管在一定程度上被试不需要对词语标签信息进行反应,较大的波幅来源于所注意到的刺激信息;而在 SOA 为 1200ms 时,被试已经完成了对词语标签的处理,诱发更大的波幅则是再次对新出现的目标数字的处理。先前的研究对于数字加工的优势半球争论不一,左、右半球的优势在不同的实验中得到论证(Dormal, Dormal, Joassin, & Pesenti, 2012; Gut et al., 2012)。研究发现在早期对数字的感觉出现了左枕区头皮表层的明显激活,但在中期对数字的分类阶段并没有发现明显的顶区头皮表层激活的偏侧化。这说明确对数字在空间上表征的研究,相较于发生阶段的探究,左、右半球的优势同样不能忽视(Nikolaev, Beck, Theobald, Lachmann, & van Leeuwen, 2020)。

已有关于注意 SNARC 效应的研究中发现,线索数字与靶刺激的之间的刺激间隔会影响 SNARC 效应的产生。一项研究中发现当线索数字为混合的正负数时,只有在 SOA 为 500ms 发现了 SNARC 效应,研究者认为线索数字的符号属性会减弱数字-空间联结特性(Dodd, 2010)。另一研究中发现 SNARC 效应会根据目标数字与线索方位的间隔变化而发生改变,短 SOA(如 100ms)时发现标准的 SNARC 效应,而在长 SOA(如 1250ms)时发现反转

的 SNARC 效应(Hoffmann, Goffaux, Schuller, & Schiltz, 2016)。返回抑制理论(IOR)认为,出现在线索提示位置的靶刺激反应更快,但间隔长于 250ms 时,这种促进就转变为了抑制效应(Posner & Cohen, 1984)。线索数字在短 SOAs 的促进以及长 SOAs 的抑制作用产生不同的 SNARC 效应表明数字具备空间信息(小数字指向空间左侧,大数字指向空间的右侧)。实验结果表明反应时随着 SOAs 的增加而减少,这与有关双任务范式的研究结果相一致,然而采用数字 1~9(5 除外)在 SOA 为 0ms 没有出现显著的 SNARC 效应,这与以往采用数字 1、2、8、9 在所有 SOAs 都出现了 SNARC 效应的结果不符(Gevers et al., 2010)。根据中枢瓶颈模型,对第二个刺激的加工需要在完成对第一个的加工刺激之后(Pashler, 1994b)。在前文已讨论对词语标签并没有进行深加工,对词语标签的反应只需要很短的时间即可,这解释了除 SOA 为 0ms 的 3 个 SOAs 之间反应时并没有显著差异。而在 SOA 为 0ms 没有出现 SNARC 效应,究其原因可能是词语和目标数字同时出现,被试没有专门处理词语标签的时间,因此没有出现 SNARC 可能在于词语标签对目标数字的干扰。此外,相较于连续数字,数字的极端值更能引发数字的空间表征,SNARC 效应主要产生于数字序列两端的值而非中间值(Gevers et al., 2006)。相较于逐渐平滑过渡的数字序列,数字的极端值更能诱发个体在空间上的表征,这在一定程度上解释了在 SOA 为 0ms 没有出现显著的 SNARC 效应的原因。更确切的说 SNARC 效应的发生不仅受 SOAs 的影响,线索数字的特性(目标数字是否为极端值)也对 SNARC 效应起调节作用。因此未来的研究中应当从深加工词语信息的角度来探究 SNARC 效应以何种编码方式为主。

5 结论

(1) SNARC 效应以视觉空间编码为主,且发生在早期感觉阶段,本质上受对词语信息标签加工程度的影响。

(2) 数字-空间联结不仅受 SOAs 的影响,目标数字本身的特性也同样影响数字空间联结。

参考文献

- 韩萌,毛新瑞,蔡梦彤,贾茜,郭春彦.(2019).大小判断任务中正负号及其异同对 SNARC 效应的影响.心理学报,49(8),995-1008.
- Calabria, M., & Rossetti, Y. (2005). Interference between number processing and line bisection: A methodology. *Neuropsychologia*, 43(5), 779-783.

- Conroy, M. A. , & Polich, J. (2007). Affective valence and P300 when stimulus arousal level is controlled. *Cognition and Emotion*, 21(4), 891 – 901.
- Daar, M. , & Pratt, J. (2008). Digits affect actions: The SNARC effect and response selection. *Cortex*, 44(4), 400 – 405.
- Dehaene, S. , Bossini, S. , & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371 – 396.
- Dodd, M. D. (2011). Negative numbers eliminate, but do not reverse, the attentional SNARC effect. *Psychological Research*, 75(1), 2 – 9.
- Dodd, M. D. , Van der Stigchel, S. , Adil Leghari, M. , Fung, G. , & Kingstone, A. (2008). Attentional SNARC: There's something special about numbers (let us count the ways). *Cognition*, 108(3), 810 – 818.
- Dormal, V. , Dormal, G. , Joassin, F. , & Pesenti, M. (2012). A common right fronto – parietal network for numerosity and duration processing: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 33(6), 1490 – 1501.
- Fischer, M. H. (2003). Cognitive representation of negative numbers. *Psychological Science*, 14(3), 278 – 282.
- Fischer, M. H. , & Shaki, S. (2017). Implicit spatial – numerical associations: Negative numbers and the role of counting direction. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(4), 639 – 643.
- Fumarola, A. , Prpic, V. , Da Pos, O. , Murgia, M. , Umiltà, C. , & Agostini, T. (2014). Automatic spatial association for luminance. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 76(3), 759 – 765.
- Georges, C. , Schiltz, C. , & Hoffmann, D. (2015). Task instructions determine the visuospatial and verbal – spatial nature of number – space associations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(9), 1895 – 1909.
- Gevers, W. , Ratinckx, E. , De Baene, W. , & Fias, W. (2006). Further evidence that the SNARC effect is processed along a dual – route architectures: Evidence from the lateralized readiness potential. *Experimental Psychology*, 53(1), 58 – 68.
- Gevers, W. , Santens, S. , Dhooze, E. , Chen, Q. , Van den Bossche, L. , Fias, W. , & Verguts, T. (2010). Verbal – spatial and visuospatial coding of number – space interactions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 139(1), 180 – 190.
- Ginsburg, V. , & Gevers, W. (2015). Spatial coding of ordinal information in short – and long – term memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(JAN), 1 – 10.
- Ginsburg, V. , Van Dijck, J. P. , Previtali, P. , Fias, W. , & Gevers, W. (2014). The impact of verbal working memory on number – space associations. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 40(4), 976 – 986.
- Gut, M. , Szumska, I. , Wasilewska, M. , & Jaśkowski, P. (2012). Are low and high number magnitudes processed differently while resolving the conflict evoked by the SNARC effect? *International Journal of Psychophysiology*, 85(1), 7 – 16.
- Hesse, P. N. , & Bremmer, F. (2017). The SNARC effect in two dimensions: Evidence for a frontoparallel mental number plane. *Vision Research*, 130, 85 – 96.
- Hillyard, S. A. , Vogel, E. K. , & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: Electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353(1373), 1257 – 1270.
- Hoffmann, D. , Goffaux, V. , Schuller, A. M. , & Schiltz, C. (2016). Inhibition of return and attentional facilitation: Numbers can be counted in, letters tell a different story. *Acta Psychologica*, 163, 74 – 80.
- Hubbard, E. M. , Piazza, M. , Pinel, P. , & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(6), 435 – 448.
- Imbo, I. , Brauwer, J. De. , Fias, W. , & Gevers, W. (2012). The development of the SNARC effect: Evidence for early verbal coding. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(4), 671 – 680.
- Kadosh, R. C. , Bahrami, B. , Walsh, V. , Butterworth, B. , Popescu, T. , & Price, C. J. (2011). Specialization in the human brain: The case of numbers. *Frontiers in Human Neuroscience*.
- Keus, I. M. , Jenks, K. M. , & Schwarz, W. F. (2005). Psychophysiological evidence that the SNARC effect has its functional locus in a response selection stage. *Cognitive Brain Research*, 24(1), 48 – 56.
- Luck, S. J. (1998). Research report evidence from human electrophysiology. *Psychological Science*, 9(3), 223 – 227.
- Nikolaev, A. R. , Beck, A. K. , Theobald, S. , Lachmann, T. , & van Leeuwen, C. (2020). Factoring in the spatial effects of symbolic number representation. *Biological Psychology*, 149 (July 2019), 107782.
- Nuerk, H. C. , Wood, G. , & Willmes, K. (2005). The universal SNARC effect: The association between number magnitude and space is amodal. *Experimental Psychology*, 52(3), 187 – 194.
- Pashler, H. (1994a). Dual – task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220 – 244.
- Pashler, H. (1994b). Graded capacity – sharing in dual – task interference? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(2), 330 – 342.
- Pashler, H. , Harris, C. R. , & Nuechterlein, K. H. (2008). Does the central bottleneck encompass voluntary selection of hedonically based choices? *Experimental Psychology*, 55(5), 313 – 321.
- Pinto, M. , Fattorini, E. , Lasaponara, S. , D'Onofrio, M. , Fortunato, G. , & Doricchi, F. (2018). Visualising numerals: An ERPs study with the attentional SNARC task. *Cortex*, 101, 1 –

- 15.
- Posner, M. I. , & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. *Attention and Performance*, 32, 531 – 556.
- Proctor, R. W. , & Cho, Y. S. (2006). Polarity correspondence: A general principle for performance of speeded binary classification tasks. *Psychological Bulletin*, 132(3), 416 – 442.
- Ren, P. , Nicholls, M. E. R. , Ma, Y. , & Chen, L. (2011). Size matters: Non – numerical magnitude affects the spatial coding of response. *PLoS ONE*, 6(8), 4 – 9.
- Salillas, E. , El Yagoubi, R. , & Semenza, C. (2008). Sensory and cognitive processes of shifts of spatial attention induced by numbers: An ERP study. *Cortex*, 44(4), 406 – 413.
- Schuller, A. M. , Hoffmann, D. , Goffaux, V. , & Schiltz, C. (2015). Shifts of spatial attention cued by irrelevant numbers: Electrophysiological evidence from a target discrimination task. *Journal of Cognitive Psychology*, 27(4), 442 – 458.
- van Dijck, J. P. , Abrahamse, E. L. , Acar, F. , Ketels, B. , & Fias, W. (2014). A working memory account of the interaction between numbers and spatial attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(8), 1500 – 1513.
- van Dijck, J. P. , & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial – numerical associations. *Cognition*, 119(1), 114 – 119.
- van Dijck, J. P. , Gevers, W. , Lafosse, C. , & Fias, W. (2012). The heterogeneous nature of number – space interactions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5 (JANUARY 2012), 1 – 13.
- Wang, Q. , Liu, M. , Shi, W. , & Kang, J. (2018). Mechanism of the SNARC effect in numerical magnitude, time sequence, and spatial sequence tasks: Involvement of LTM and WM. *Frontiers in Psychology*, 9(AUG), 1 – 12.
- Weis, T. , Estner, B. , & Lachmann, T. (2016). When speech enhances Spatial Musical Association of Response Codes: Joint spatial associations of pitch and timbre in nonmusicians. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(9), 1687 – 1700.
- Weis, T. , Estner, B. , van Leeuwen, C. , & Lachmann, T. (2016). SNARC(spatial – numerical association of response codes) meets SPARC(spatial – pitch association of response codes): Automaticity and interdependency in compatibility effects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(7), 1366 – 1383.
- Zorzi, M. , Priftis, K. , & Umiltà, C. (2002). Brain damage: Neglect disrupts the mental number line. *Nature*, 417(6885), 138 – 139.

The Effect of SOAs Changes on Number – Space Interactions Coding under Visual Spatial Instruction: Evidence from ERP

Zhang Zhiwei Pan Yun

(School of Psychology, Guizhou Normal University, Guiyang 550025)

Abstract: Using parity judgement task, digit 1 – 9 (except 5) and Chinese character label (left and right) as experimental materials, this study explored the influence of system changing SOAs on the coding mode of number – space interaction under the instruction of visual spatial task. The behavioral results showed that the main effect of SNARC was visual spatial coding, and there was no SNARC effect when SOA was 0 ms; ERP results showed that the main effect of physical consistency on the early component N1 was significant. The results show that task guide affects the encoding mode of SNARC effect, which is essentially influenced by the processing degree of word information labels, and the encoding of SNARC effect appears early sensory stage; the characteristics of SOAs and target number affect the generation of SNARC effect. The behavioral results showed that the main effect of SNARC was visual spatial coding, and there was no SNARC effect when SOA was 0 ms; ERP results showed that the main effect of physical consistency on the early component N1 was significant. The results show that task guide affects the encoding mode of SNARC effect, which is essentially influenced by the processing degree of word information labels, and the encoding of SNARC effect appears early sensory stage; the characteristics of SOAs and target number affect the generation of SNARC effect.

Key words: number – space interaction; SNARC effect; visual spatial interaction; coding; SOAs