

· 基础、实验与工效 ·

视觉和言语空间信息共同作用下 SNARC 效应的空间参照特点*

李梦霞¹ 李旻焯² 王迪¹ 乔福强³ 张恩涛⁴ 聂爱情^{**2}

(¹ 湖州师范学院教师教育学院, 湖州, 313000) (² 浙江大学心理与行为科学系, 杭州, 310028)

(³ 济南大学教育与心理科学学院, 济南, 120022) (⁴ 河南大学教育科学学院, 开封, 475001)

摘要 已有研究显示, SNARC 效应存在多个灵活的空间参照系统, 可在不同的实验条件下激活。心理数字线理论对于 SNARC 效应空间编码的理解仅局限于物理空间层面, 并不能很好地甄别 SNARC 效应空间参照系统的激活条件。研究以视觉空间和言语空间双编码理论为基础, 考查在视觉空间信息与言语空间信息共同作用下, 单手(左手或右手)与双手反应下 SNARC 效应的空间参照特点。结果显示, 在视觉空间信息与言语空间信息共同作用下, 左手、右手和双手反应下均出现了典型 SNARC 效应, 且左手、右手和双手反应下的数字空间映射模式相似。研究结果证实, 在视觉空间与言语空间信息共同作用下仅激活 SNARC 效应多个灵活的空间参照系统中的身体中心为基础的参照系统, 说明言语空间信息的参与有助于激活该效应中身体中心为基础的空间参照系统。

关键词 SNARC 效应 视觉空间信息 言语空间信息 空间参照

1 引言

自 Dehaene 等(1993)的经典研究中要求被试判断数字的奇偶性并分别用左、右手进行反应, 发现左手对小数字的反应比对大数字更快, 右手情形相反, 并将该现象被命名为空间-数字反应编码联合(spatial-numerical association of response codes, SNARC)效应以来, 大量研究证实了该效应(Mourad & Leth-Steensen, 2017)。心理数字线理论可为该效应提供解释: 数字在大脑中的表征方式是一条小数字在左侧, 大数字在右侧的心理数字线, SNARC 效应即为不同数字在心理数字线上的位置和空间位置相对应的结果(Dehaene et al., 1993)。

研究表明, SNARC 效应受空间线索影响。例如, 当被试是自右向左的阅读时, 出现了反转 SNARC

效应(Ito & Hatta, 2004; Li et al., 2016; Shaki & Fischer, 2008); 当改变数字呈现时嵌入的文本方向或实验任务中的文本时, 阅读方向同样会影响 SNARC 效应的方向(Fischer et al., 2010; Li et al., 2016; Li, Zhang et al., 2017)。Bächtold 等(1998)要求被试判断数字大小时想象直尺或表盘, 结果发现, 想象表盘出现了反转的 SNARC 效应。想象的直尺或表盘为被试提供了空间参照系统, 表明数字的空间表征可能与物理空间表征相似, 依赖于特定的空间参照系统, 即表示某事物相对于其他事物的空间位置系统(Medina, 2007)。空间参照系统可分为非自我中心参照系统和自我中心参照系统。前者根据绝对坐标、环境或对象的位置来判断实体的空间位置, 后者以自己的身体为中心来判断实体的空间位置。

另有研究系列证实了空间参照系统, 尤其是自我中心参照系统在 SNARC 效应中所起的关键作用。

* 本研究得到国家自然科学基金项目(31300831)、教育部人文社会科学研究规划基金项目(17YJC880085)、浙江省自然科学基金项目(LY21C090002, LY18C090003)、浙江省重点研发计划项目(2017C03047)、浙江省社会科学界联合会研究课题成果(2021N78)、浙江省教科规划年度重点研究课题(2019SB026)和中央高校基本科研业务费专项资金的资助。

** 通讯作者: 聂爱情, E-mail: nieaiq@126.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20210301

例如, Mourad 和 Leth-Steensen (2017) 的研究证实了空间参照系统在 SNARC 效应中的决定作用, 认为空间参照系统与反应以及数字大小一致是产生 SNARC 效应的必要条件。You 等 (2018) 研究发现, 自我中心参照系统和非自我中心参照系统共同作用时, 自我中心参照系统起主要作用。Viarouge 等 (2014) 的研究同样证实了 SNARC 效应自我中心参照系统的优势作用。SNARC 效应涉及到的自我中心参照系统包括以身体中心、手、手指等为基础等的空间参照系统 (Viarouge et al., 2014)。虽然自我中心参照系统在 SNARC 效应中起关键作用, 但其中是以身体中心、手、手指为基础的空间参照系统的结论并不一致。

有研究得出 SNARC 效应存在以身体中心为基础的空间参照的结论。Dehaene 等人 (1993) 在被试交叉双手进行判断时记录到典型 SNARC 效应, 说明存在以身体中心为基础的空间参照。何清华等 (2015) 要求被试以右手中指和食指判断数字奇偶性的研究得出典型 SNARC 效应, 同样支持以身体中心为基础的空间参照。Müller 和 Schwarz (2007) 也得出类似结论。但是, Crollen 等 (2013) 发现, 尽管晚盲和正常被试在正常位置反应和交叉双手反应条件均记录到典型 SNARC 效应, 支持身体中心为基础的空间参照, 但早盲被试仅在正常位置反应条件出现典型 SNARC 效应, 双手交叉反应条件则出现反转 SNARC 效应, 支持了以手为基础的空间参照。

此外, 其他研究也得出 SNARC 效应存在以手或手指为基础的空间参照结论。如, Wood 等 (2006) 重复了 Dehaene 等人 (1993) 的实验, 发现双手交叉后以手为基础的空间参照系统与以身体中心为基础的空间参照系统方向正好相反, 导致未记录到 SNARC 效应。张丽等 (2012) 要求被试单手判断数字奇偶性时同样未记录到 SNARC 效应, 说明被试无法将单手空间特性与数字的空间特性相联结, 支持以手为基础的空间参照。Riello 和 Rusconi (2011) 选取左、右手均是从大拇指开始数数的被试, 并要求他们分别使用左手或右手手掌向下或手掌向上的姿势判断数字的奇偶性。结果发现, 当手掌向下时, 右手条件出现典型 SNARC 效应, 左手条件未出现该效应; 当手掌向上时, 左手条件出现典型 SNARC 效应, 右手条件未出现该效应。说明手指数数顺序与心理数字线的方向相一致才出现

SNARC 效应, 为 SNARC 效应存在以手指为基础的空间参照提供证据。

综上所述, SNARC 效应可能存在多个灵活的空间参照系统, 被激活的系统依赖于实验条件 (Viarouge et al., 2014)。前文提到的心理数字线理论对于空间编码的理解仅局限于物理空间层面, 认为 SNARC 效应是数字的空间表征方向与反应的空间方向一致的结果, 并不能很好地甄别 SNARC 效应自我中心参照系统的激活条件。Gevers 等人 (2010) 将 Paivio (1986) 的双编码 (类比和符号系统) 应用到数字表征中, 将数字空间编码分为两类, 视觉空间 (visuospatial) 编码和言语空间 (verbal-spatial) 编码, 认为 SNARC 效应是视觉空间编码和言语空间编码共同作用的结果。其中, 视觉空间与心理数字线理论中的空间概念一致, 是指类比系统中的物理空间。言语空间是语言符号表征系统中的言语空间。视觉空间编码与心理数字线理论解释一致, 即 SNARC 效应是不同数字在心理数字线上的位置表征和空间位置相对应的结果; 言语空间编码解释 SNARC 效应是数量大小的言语信息 (小 - 大) 与空间表征的言语信息 (左 - 右) 联结的结果。近年来, 跨年龄、跨文化群体比较研究 (潘运等, 2013; Imbo et al., 2012; Li et al., 2016, 2017; Mourad & Leth-Steensen, 2017) 为视觉空间和言语空间双编码理论提供了可靠证据。

由上可知, 在视觉空间信息与言语空间信息 (如左或右) 共同作用下, 甄别自我中心参照系统中以身体中心、手、手指为基础的空间参照系统的激活条件, 审视并探讨 SNARC 效应的空间参照特点显得尤为必要, 并能为阐释数字的空间表征机制提供更多的证据。在视觉空间信息和言语空间信息共同作用下, 由于语言符号“左”和“右”专指针对自己身体的左右空间 (Levinson et al., 2002), 且“左”和“右”更容易激活水平方向的数字空间映射中身体中心为基础的空间参照系统 (Wiemers et al., 2017)。因此, 研究假设, 在视觉空间信息和言语空间信息共同作用下, SNARC 效应更容易激活身体中心为基础的空间参照系统。

本研究拟在设置 3 种反应手 (左手、右手和双手) 的基础上, 控制视觉空间信息和言语空间信息的一致性, 二者均含一致和不一致两个水平。视觉空间和言语空间共同作用下, 若左手、右手及双手反应的 SNARC 效应及相应的数字空间映射模式差异不显著,

则以手或者手指为基础的空间参照不起作用,仅激活了以身体中心为基础的空间参照。理由是,在左手或右手反应条件下,空间参照可能以手指和身体中心为基础。在左手反应条件下,以手指为基础的空间参照与以身体中心为基础的空间参照方向相反,该条件可能不会出现 SNARC 效应,也可能出现减弱或反转的 SNARC 效应;在右手反应条件下,以手指为基础的空间参照与身体中心为基础的空间参照方向相同,可记录到增强的 SNARC 效应;双手反应条件下,由于以手为基础的空间参照与以身体中心为基础的空间参照方向相同,若二者共同作用,则双手任务条件的 SNARC 效应与右手反应条件相似。基于此,若左手、右手以及双手反应条件的 SNARC 效应及相应的数字空间映射模式差异不显著,则 SNARC 效应仅激活了以身体中心为基础的空间参照。

2 方法

2.1 被试

普通高校大学生 30 名(男女各 15 名),平均年龄 20.60 ± 3.59 岁。所有被试视力或矫正视力正常,均为右利手。他们的左、右手数数顺序均是从大拇指到小拇指。被试人数符合 G*Power 3.1 (Faul et al., 2009) 计算的本研究所需样本量标准。每一被试均分 3 次完成 3 个水平反应手的实验(详见实验设计)。所有被试均在实验后获得适量报酬。

2.2 实验设计

本研究为 3 (反应手:左手 vs. 右手 vs. 双手) \times 2 (词语一致性:一致 vs. 不一致) \times 2 (物理一致性:一致 vs. 不一致) 的被试内实验设计。其中,“反应手”指的是分别要求被试采用“左手”、“右手”或“双手”进行反应。“词语一致性”中的“一致”是指反应词“左”呈现在目标刺激左侧,“右”呈现在目标刺激右侧;“不一致”条件相反。“物理一致性”中的“一致”指小数字需用左边手指按“V”键反应,大数字需用右边手指按键“N”反应;“不一致”条件相反。左边和右边手指在左手反应条件分别对应中指和食指,在右手反应条件分别食指和中指,双手反应条件分别对应左手食指和右手食指。因变量为被试的反应时和错误率。

2.3 实验材料

实验材料是作为目标刺激的 1 到 9 之间除 5 之外的阿拉伯数字以及方向词“左”和“右”。

2.4 实验程序

实验时屏幕上首先呈现指导语,即要求被试将左边和右边手指分别放在“V”和“N”键上。之后,当屏幕上呈现目标数字时,被试均需判断其是否大于 5,并依照物理一致性的要求进行按键。为降低被试疲劳和控制物理一致性条件,整个实验包含两个 block (block a 和 block b),两个 block 均包含词语一致和词语不一致两种条件。词语一致条件的 trial 为“左”呈现在目标刺激左侧、“右”呈现在目标刺激右侧;词语不一致条件相反。每个 block 包括随机呈现的 80 个 trial,词语一致和词语不一致条件每个目标数字各重复 5 次,各有 40 个 trial。两个 block 中的物理一致性相反。在 block A 中,当目标刺激小于 5 时被试需按与反应词“左”对应的反应键;block B 中的按键要求相反,即当目标刺激小于 5 时被试需按与反应词“右”对应的反应键,当目标数字大于 5 时,被试需按与反应词“左”对应的反应键。

实验中的每个 trial 均在屏幕中央呈现 750 ms 的注视点“#”,之后随机呈现 800 ms 的反应词“左”和“右”,词语一致(“左 右”)和词语不一致(“右 左”)条件随机出现。随后,再次呈现刚才见过的两个反应词且在中间增加一个目标数字,持续时间为 1000 ms,之后为 1000 ms 的空屏。被试的任务是在看到目标刺激后依照上述指导语的要求进行判断。随后进入下一个 trial。

采用 MS-Windows XP 系统进行实验,分辨率和刷新频率分别为 800×600 像素和 75 Hz,显示器为 17 英寸,键盘为 QWERTY 标准键盘。实验程序采用 E-Prime 2.0 编制。被试坐在显示器正前方,其视线与屏幕中央处于同一高度,眼睛距屏幕保持 65 cm。实验以 10 磅 Arial 字体的“#”为注视点。左手、右手、双手反应实验均约为 20 min。3 个条件的实验和 2 个 block 的顺序均在被试间平衡。每个被试在相邻 2 次实验间的间隔至少为 2 天以上。词语一致和词语不一致条件的实验流程见图 1。

2.5 数据处理过程

本研究重点关注两方面的结果。第一,为检测视觉空间信息与言语空间信息共同作用下,3 种反应手条件的 SNARC 效应以及相应的数字空间映射模式是否存在差异,分别对反应时和错误率进行 3 (反应手:左手 vs. 右手 vs. 双手) \times 2 (词语一致

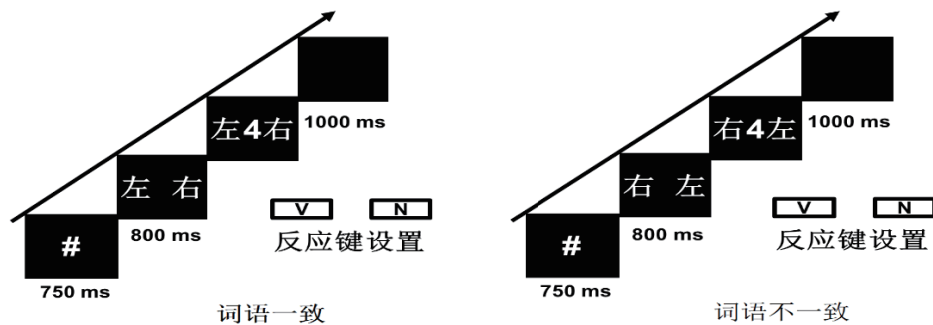


图1 词语一致和词语不一致条件的实验流程示意

性：一致 vs. 不一致） $\times 2$ （物理一致性：一致 vs. 不一致）的重复测量方差分析，若词语一致性与物理一致性的交互作用显著则说明存在 SNARC 效应（Gevers et al., 2010）。同时，若 3 种反应手条件下两两之间在词语一致性与物理一致性交互作用存在差异，则说明相应的数字空间映射模式存在差异。第二，为进一步确认 3 种反应手条件的 SNARC 效应以及相应的数字空间映射模式，分别在词语一致和不一致两种条件，以每一个目标刺激为预测变量，以 dRT（按“N”键的反应时减去按“V”键的反应时）为被预测变量进行回归分析，若词语一致和不一致条件分别出现负的和正的显著性回归斜率则说明存在 SNARC 效应（Gevers et al., 2010）。同时，若 3 种反应手两两之间分别在两种词语一致性条件的回归斜率存在差异，则说明相应的数字空间映射模式存在差异。

3 结果

3.1 方差分析

经分析，获得数字判断的错误率为 7.9%，删除错误反应的 trial 后以 ± 2 个标准差为标准剔除极端数据（剔除率为 2.8%）。对错误率进行三因素重复测量方差分析的结果显示，所有因素的主效应以及交互效应均不显著性（ $ps > .05$ ）。对正确反应时进行三因素重复测量方差分析的结果显示，词语一致性的主效应显著， $F(1, 29) = 39.01, p < .001, \eta^2 = .62$ ，表现为词语一致条件（ $M = 772$ ms, $SD = 25.82$ ms）显著快于词语不一致条件的反应时（ $M = 816$ ms, $SD = 26.86$ ms）。反应手和物理一致性的主效应均不显著（ $ps > .05$ ）。重要的是，词语一致性与物理一致性的交互作用显著， $F(1, 29) = 12.03, p < .01, \eta^2 = .33$ 。简单效应分析显示，词语一致下，物理一致性正序条件（ $M = 723$ ms, $SD = 26.18$ ms）明显快于物理一致性逆序条件（ $M =$

822 ms, $SD = 31.59$ ms) 的反应时， $F(1, 29) = 13.89, p = .001, \eta^2 = .37$ ；词语不一致下，物理一致条件（ $M = 863$ ms, $SD = 33.83$ ms）明显慢于物理不一致条件的（ $M = 770$ ms, $SD = 27.18$ ）ms 的反应时， $F(1, 29) = 9.75, p < .01, \eta^2 = .29$ 。进一步分析显示，3 种反应手条件均表现为：词语一致下，物理一致快于物理不一致条件的反应时（ $ps < .05$ ）；词语不一致下，物理一致明显慢于物理不一致条件的反应时（ $ps < .05$ ）。词语一致性与反应手的交互作用、反应手与物理一致性的交互作用、词语一致性与反应手以及物理一致性三因素交互作用均不显著， $F(2, 58) = 1.06, p > .05; F(2, 58) = 1.99, p > .05; F(2, 58) = 1.28, p > .05$ 。可见，本研究在视觉空间信息和言语空间信息共同作用下的词语一致与物理一致的交互作用显著，说明 3 种反应手条件记录到典型 SNARC 效应，表现为小数字与视觉空间的“左”以及言语空间的“左”相联结，大数字与视觉空间的“右”以及言语空间的“右”相联合的数字空间映射模式，且 3 种反应手条件的 SNARC 效应及相应的数字空间映射模式不存在差异，说明在视觉空间信息与言语空间信息共同作用下未显示以手或手指为基础的空间参照，仅激活了以身体中心为基础的空间参照。不同条件的反应时见表 1 和图 2A、2B、2C。

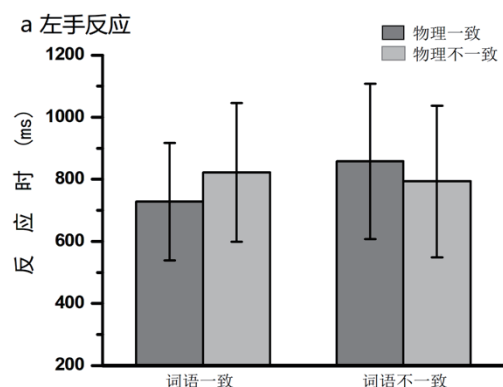


表 1 不同条件下的反应时 (ms) ($M \pm SD$)

	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
左手	728 (188.6)	822 (223.3)	858 (250.5)	793 (243.8)
右手	719 (143.7)	855 (188.5)	898 (205.5)	780 (158.4)
双手	721 (166.9)	787 (182.5)	832 (204.9)	737 (164.1)

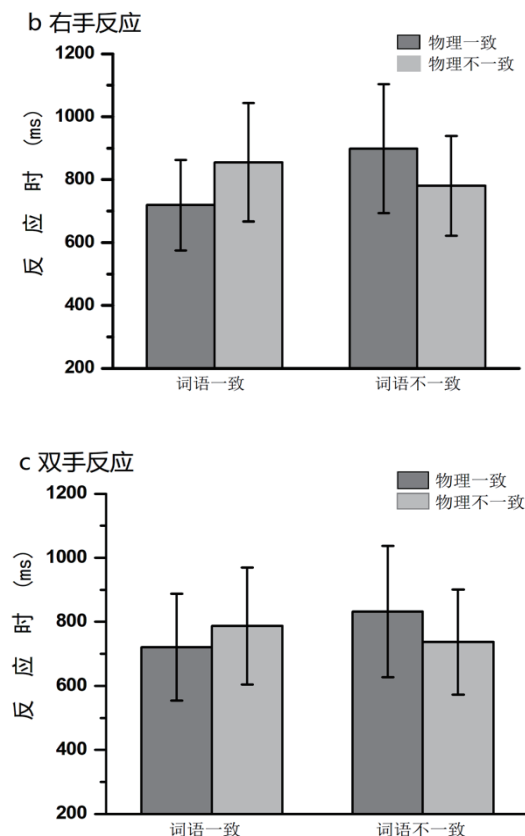
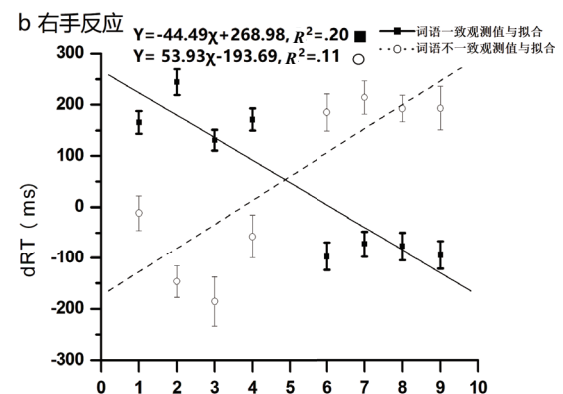
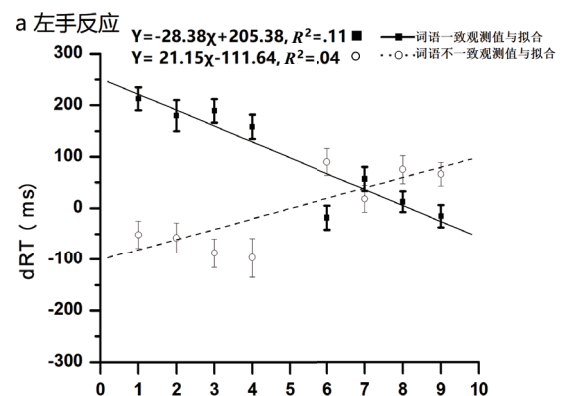


图 2 不同条件下左手反应 (a)、右手反应 (b) 和双手反应 (c) 的反应时

3.2 回归分析

回归分析显示, 左手反应且词语一致和不一致条件的回归斜率分别为 $-28.38 \text{ ms / digit}$ ($SD = 5.32$, $-38.86 \sim -17.89$) 和 21.15 ms / digit ($SD = 7.16$, $7.04 \sim 35.26$); 右手反应且词语一致和不一致条件的回归斜率分别为 $-44.49 \text{ ms / digit}$ ($SD = 5.90$, $-56.12 \sim -32.86$) 和 53.93 ms / digit ($SD = 7.05$, $22.04 \sim 49.83$); 双手反应且词语一致和不一致条件的回归斜率分别为 $-15.43 \text{ ms / digit}$ ($SD = 6.30$, $-27.86 \sim -3.01$) 和 28.46 ms / digit ($SD = 6.98$, $14.70 \sim 42.22$)。词语一致条件下, 左手反应条件的回归斜率的显著性检测标准为: $t(29) = -5.33, p < .001$; 右手反应条件的回归斜率的显著性检测标准为: $t(29) = -7.54, p < .001$; 双手反应条件的回归斜率的显著性检测标准为: $t(29) = -2.45, p$

$< .05$ 。词语不一致条件下, 左手反应条件的回归斜率的显著性检测标准为: $t(29) = 2.96, p < .01$; 右手反应条件的回归斜率的显著性检测标准为: $t(29) = 5.10, p < .001$; 双手反应条件的回归斜率的显著性检测标准为: $t(29) = 4.08, p < .001$ 。可见, 3 种反应手条件均出现典型的 SNARC 效应。不同条件的回归曲线见图 3。进一步分析显示, 在词语一致和不一致条件下, 3 种反应手两两之间的回归斜率差异均不显著 ($ps < .05$)。左手反应、右手反应和双手反应在词语一致条件下的回归斜率均为负和词语不一致条件的回归斜率均为正。这与上述方差分析结果相一致, 即视觉空间信息与言语空间信息共同作用下, SNARC 效应仅激活了以身体中心为基础的空间参照。



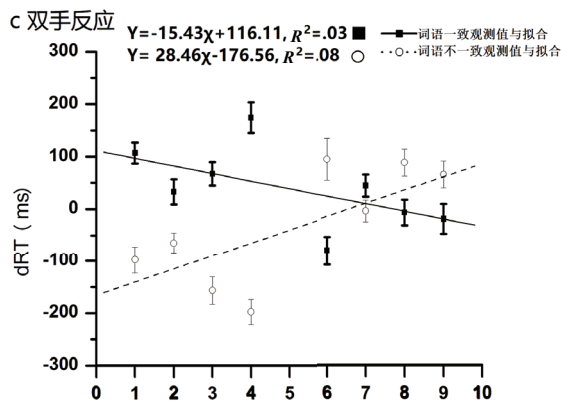


图3 不同条件对应左手反应(a)、右手反应(b)和双手反应(c)的线性回归

4 讨论

4.1 言语空间信息的参与有利于激活 SNARC 效应以身体中心为基础的空间参照系统

以往研究证实了 SNARC 效应中自我中心参照系统的关键作用,但其激活条件仍有待于甄别。本研究通过单手(左手、右手)和双手反应条件,检验了 SNARC 效应以身体中心、手、手指为基础的空间参照系统的激活条件。结果显示,无论是在单手(左手、右手)反应条件还是双手反应条件中,在视觉空间信息与言语空间信息共同作用下均记录到了典型 SNARC 效应,且左手、右手以及双手反应条件的 SNARC 效应及相应的数字空间映射模式差异不显著,说明在视觉空间信息与言语空间信息共同作用下未出现以手或以手指为基础的空间参照,仅激活了以身体中心为基础的空间参照,支持研究假设。

空间语言的跨文化比较发现,与空间关系有关的语言文字“左”和“右”专指针对自己身体的左右空间(Levinson et al., 2002)。因此本研究言语空间中的“左”和“右”的符号信息更容易激活在水平方向上与身体有关的左右空间信息,表现为在言语空间信息参与下,SNARC 效应以身体中心为基础的空间参照系统被激活。这一研究结果与前人同类研究的结果一致(Wiemers et al., 2017)。此外,认知神经科学的研究发现与数字大小和空间映射有关的顶叶皮层与空间位置中身体中心的空间表征有关(Colby & Goldberg, 1999; Hubbard et al., 2005),为 SNARC 效应以身体中心为基础的空间参照系统提供了神经生理学证据。

4.2 SNARC 效应存在灵活、动态的空间参照系统组织,其激活依赖于实验条件

SNARC 效应存在由多个灵活的空间参照系统组成的层级组织,这些参照系统或共同作用或相互竞争产生了 SNARC 效应。这些空间参照系统可以是非自我中心参照系统,也可以是自我中心参照系统,还可以是由自我中心、非自我中心和社会互动构成的多维参照系统(You et al., 2018; Viarouge et al., 2014)。例如, Viarouge 等人(2014)的研究发现 SNARC 效应存在的动态空间参照系统层级组织中包含一般的自左向右的参照系统、自我中心参照系统和客体相关的参照系统,被试在执行实验任务时会自发地优先激活其中一个。一般的自左向右的参照系统处在第一层,它在水平排列反应键的实验条件下都可以被优先激活,但也会受到因实验设置而激活的自我中心参照系统的干扰。自我中心参照系统处在第二层,它在特定的实验条件中可以被激活。例如,在实验要求中如果强调手,则会激活其中以手为中心的参照系统。第三层是客体相关的参照系统,它在特定的反应设置中也可以被激活。例如,当垂直排列反应键时,与左右有关的参照系统会被抑制,客体相关的参照系统会被激活。进一步,行为和脑成像研究共同指出空间参照系统的层级组织中非自我中心参照系统的激活依赖于自我中心参照系统(Pellizzer et al., 2009; Zaehle et al., 2007)。

数字刺激在不同条件下的呈现会灵活地激活已存在的多个空间参照系统中的一个或几个,被激活的参照系统取决实验背景(Viarouge et al., 2014; Wiemers et al., 2017)、上下文环境以及阅读方向等(You et al., 2018)。Viarouge 等人(2014)的研究也证实了被试可以灵活地选择被激活的空间参照系统。他们发现,当要求被试的注意力集中在双手时,非交叉双手条件下没有出现 SNARC 效应,交叉双手条件下,出现了典型的 SNARC 效应。他们认为被试的注意力集中在双手时,新激活的以手为基础的空间参照系统削弱了一般的自左向右的空间参照系统,导致了非交叉双手条件下 SNARC 效应的弱化或者消失,但在交叉双手条件下,新激活的以手为基础的空间参照系统与一般的自左向右的空间参照系统方向冲突,导致被试放弃以手为基础的空间参照系统,仅保留了一般的自左向右的空间参照系统。Viarouge 等人证实了空间参照系统的灵活性,他们认为个体在没有被指示的情况下很容易从各种空间

映射中进行灵活地选择。数字空间映射的灵活性可以用数字和空间之间的联合工作记忆账户来解释,这种账户在长期记忆中不存在任何稳定的表征,而是灵活自发的映射 (van Dijck & Fias, 2011)。因此,未来将有必要对 SNARC 效应空间参照系统的灵活性选择机制开展进一步研究。此外,因为左、右利手人群分布极不平衡,本研究招募的被试全部是右利手被试,进一步的研究中还可以考虑左利手被试在视觉空间和言语空间双编码条件下 SNARC 效应的空间参照特点,以期与本研究形成对照。

5 结论

本研究发现,视觉空间与言语空间信息共同作用下单手(左手或右手)与双手反应条件均出现典型 SNARC 效应,且 3 种反应手条件的 SNARC 效应及相应的数字空间映射模式相类似。结果表明,在视觉空间与言语空间信息共同作用下仅仅激活了 SNARC 效应多个灵活空间参照系统中的身体中心为基础的空间参照系统,说明言语空间信息的参与有助于激活 SNARC 效应中身体中心为基础的空间参照系统。

参考文献

- 何清华,李鹤,蒋挺,董奇.(2015).数字空间表征的可变性研究.西南师范大学学报(自然科学版),40(4),117-121.
- 潘运,王馨,黄玉婷,赵守盈.(2013).数字-空间联结 SNARC 效应的编码:视觉空间和言语空间.心理学探新,33(6),500-506.
- 张丽,陈雪梅,王琦,李红.(2012).身体形式和社会环境对 SNARC 效应的影响:基于具身认知观的理解.心理学报,44(10),1309-1317.
- Bächtold, D., Baumüller, M., & Brugger, P. (1998). Stimulus-response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 36(8), 731-735.
- Colby, C. L., & Goldberg, M. E. (1999). Space and attention in parietal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 22, 319-349.
- Crollen, V., Dormal, G., Seron, X., Lepore, F., & Collignon, O. (2013). Embodied numbers: The role of vision in the development of number-space interactions. *Cortex*, 49(1), 276-283.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371-396.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149-1160.
- 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(3), 333-336.
- 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.
- 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., De Brauwier, J., 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.
- Ito, Y., & Hatta, T. (2004). Spatial structure of quantitative representation of numbers: Evidence from the SNARC effect. *Memory and Cognition*, 32(4), 662-673.
- Levinson, S. C., Kita, S., Haun, D. B. M., & Rasch, B. (2002). Returning the tables: Language affects spatial reasoning. *Cognition*, 84(2), 155-188.
- Li, M. X., Lv, H. Y., Abdurkerim, Z., Zhang, Y. J., Qiao, F. Q., & Li, Q. W. (2016). Verbal-spatial and visuospatial coding of the SNARC effect: A comparative study in cultures with different reading directions. *Perceptual and Motor Skills*, 123(1), 17-32.
- Li, M. X., Zhang, E. T., Zhang, Y. J., Fanga, X., & Li, Q. W. (2017). Flexible verbal-spatial mapping in the horizontal and vertical SNARC effects of mainland Chinese readers. *The American Journal of Psychology*, 130(3), 339-351.
- Medina, O. J. (2007). *Somatosensory frames of reference*. Retrieved from Dissertations and Theses database. (AAT 3240770).
- Mourad, A., & Leth-Steensen, C. (2017). Spatial reference frames and SNARC. *Journal of Cognitive Psychology*, 29(2), 113-128.
- Müller, D., & Schwarz, W. (2007). Is there an internal association of numbers to hands? The task set influences the nature of the SNARC effect. *Memory and Cognition*, 35(5), 1151-1161.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Pellizzer, G., Bâ, M. B., Zanello, A., & Merlo, M. C. G. (2009). Asymmetric learning transfer between imagined viewer- and object-rotations: Evidence of a hierarchical organization of spatial reference frames. *Brain and Cognition*, 71(3), 272-278.
- Riello, M., & Rusconi, E. (2011). Unimanual SNARC effect: Hand matters. *Frontiers in Psychology*, 2, 372.
- Shaki, S., & Fischer, M. H. (2008). Reading space into numbers - A cross-linguistic comparison of the SNARC effect. *Cognition*, 108(2), 590-599.
- You, X. Q., Zhang, Y., Zhu, R. J., & Guo, Y. (2018). Embodied interaction priority: Other's body part affects numeral-space mappings. *Perception*, 47(5), 492-506.
- van Dijck, J. P., & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial-numerical associations. *Cognition*, 119(1), 114-119.
- Viarouge, A., Hubbard, E. M., & Dehaene, S. (2014). The organization of spatial reference frames involved in the SNARC effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(8), 1484-1499.
- Wiemers, M., Bekkering, H., & Lindemann, O. (2017). Is more always up? Evidence for a preference of hand-based associations over vertical number mappings. *Journal of Cognitive Psychology*, 29(5), 642-652.
- 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(8), 1069-1079.
- Zachle, T., Jordan, K., Wüstenberg, T., Baudewig, J., Dechent, P., & Mast, F. W. (2007). The neural basis of the egocentric and allocentric spatial frame of reference. *Brain Research*, 1137, 92-103.

Characteristics in Spatial Reference of SNARC Effect under the Involvements of Visuospatial and Verbal-Spatial Information

Li Mengxia¹, Li Minye², Wang Di¹, Qiao Fuqiang³, Zhang Entao⁴, Nie Aiqing²

⁽¹⁾School of Teachers' Education, Huzhou Teachers' College, Huzhou, 313000)

⁽²⁾Department of Psychology and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, 310028)

⁽³⁾School of Education and Psychology, Jinan University, Jinan, 120022) ⁽⁴⁾School of Educational Science, Henan University, Kaifeng, 475001))

Abstract The Spatial-Numerical Association of Response Codes effect (a.k.a., the SNARC effect) is characterized by the case in which the responses are much faster made by the left hand for relatively small, in magnitude, numbers versus that made by the right hand, whereas the opposite pattern holds for relatively large numbers. To explain the SNARC effect, Dehaene et al. initially proposed the mental number line (MNL) theory, which posited that abstract numbers were represented in the brain via a manner of small numbers on the left while large numbers on the right, forming a left-to-right mental number line. The SNARC effect is the production of the consistent representation between the number's position on the mental number line and the spatial position response.

Series of studies confirmed the key role of spatial references, especially egocentric references of the SNARC effect, which may be flexible whose activation depended on the experimental conditions. However, the spatial coding based on the theory of MNL was limited to the visuospatial information, and it was not able to distinguish the activation conditions of the SNARC effect egocentric references. In addition to the theory of MNL, Gevers et al. (2010) offered a visuospatial and verbal-spatial double coding theory to explain the SNARC effect. In the circumstance of the visuospatial encoding of the theory of MNL, the spatial references of the SNARC effect activated either a body-centered, hand-based, or finger-based manner. Nevertheless, in the case where both the visuospatial information and the verbal-spatial information work, which pattern of the spatial reference of the SNARC effect would be activated requires further exploration. Therefore, the current study intended to set up three response types via the left hand, right hand, or both hands. We assumed that in the case where both the visuospatial information and the verbal-spatial information work, a fashion of body-centered spatial reference will be activated.

As expected, neither the intensity of the SNARC effect nor the corresponding number-space mapping patterns showed difference among these response conditions, such a pattern held under the condition that the visuospatial information and verbal-spatial information worked together. These results confirm that, when both visuospatial information and verbal-spatial information are concerned, a pattern of body-centered spatial reference is activated in the SNARC effect. These findings suggest that the involvement of verbal-spatial information helps to activate the body-centered spatial reference system in the SNARC effect.

Key words SNARC effect, visuospatial information, verbal-spatial information, spatial reference