

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：数字 SNARC 效应的发生阶段

作者：王铖铖, 赵宇飞, 盛缨莹, 赵庆柏, 肖梦施, 韩磊

第一轮

审稿人 1 意见:

本文采用了整体-局部范式, 探究 SNARC 效应 (数字与空间位置之间的关联对反应时的影响) 产生于刺激表征阶段还是反应选择阶段。实验结果支持刺激表征阶段和反应选择阶段均在 SNARC 效应的产生中起作用。该研究存在以下问题:

意见 1: 作者通过改变任务 (局部信息、整体信息) 分离刺激表征阶段和反应选择阶段, 应该同时在一个实验中设置不同条件, 考察改变任务条件这一因素导致的结果差异。而非单独呈现实验二的阴性结果。

回应:

非常感谢审稿专家的意见。本研究使用两个实验 (新提交版本: 实验 1 和实验 2) 而非集中在一个实验中对数字 SNARC 效应的发生阶段进行检验, 主要基于以下两方面的衡量:

首先, 被试在进行数字大小比较任务 (实验 1; 聚焦局部信息) 和箭头方向判断任务 (实验 2; 聚焦整体信息) 时, 具体的数字加工过程存有差异, 整体箭头信息对局部数字信息的影响也有所不同。当要求被试进行数字大小比较任务时, 由于整体优先加工, 箭头的空间表征可能会干扰数字的空间表征, 而数字加工在反应选择阶段的资源充足, 此时, 便可探究数字加工的刺激表征阶段受到干扰对 SNARC 效应发生的影响。而当要求被试进行箭头方向判断任务时, 数字大小比较任务是无关任务, 心理数字线被自动激活, 数字得到了充分的空间表征, 而数字加工在反应选择阶段则会受到相关任务的干扰, 此时, 便可探究数字加工的反应选择阶段受到干扰对 SNARC 效应发生的影响。基于以上实验逻辑, 本研究以“数字大小和反应手之间的交互作用”作为 SNARC 效应出现的指标, 主要关注在每个单独的实验任务中, 数字 SNARC 效应是否出现及其可能的认知加工过程, 而并不重点关注不同实验任务之间数字 SNARC 效应的大小比较, 因此, 研究并未考虑将实验任务作为一个被试内变量。

其次, 若开展一个 3(局部信息: 小数、大数和特殊字符)×2(箭头方向: 左、右)×2(反

应手：左手、右手）×2（实验任务：数字大小比较任务、箭头方向判断任务）的四因素被试内实验设计，可能存在以下两方面的问题：一方面，如上段所述，不同任务之间数字 SNARC 效应的大小比较并非本研究的重点。另一方面，在数字大小比较任务和箭头方向判断任务中，使用的实验材料并非完全相同。除了使用“数字构成的箭头”作为实验材料，实验 2 还将“特殊字符构成的箭头”作为实验材料，以作一定的对照作用。综上所述，基于研究逻辑和具体实验设计两个层面的考虑，本研究分别在实验 1 和实验 2 这两个实验中开展了两个实验任务。

意见 2：同理，单独呈现实验一的意义不大。本文实验一为已有研究的重复，应作为控制条件与后续实验同时比较。

回应：

非常感谢审稿专家的建议。我们同意您所认为的“单独呈现实验一的意义不大”，因此，在新提交的论文稿中将“验证数字 SNARC 效应”这一实验（前论文稿的实验 1）删掉。

但基于以下两点考虑，在新进行的研究中，我们并没有将单个的数字材料“1”、“2”、“8”和“9”作为实验 1（新提交论文稿）的一个控制条件进行比较：第一，经典的数字 SNARC 效应已经得到了已有研究的广泛证实(Dehaene et al., 1993)；第二，实验 1 的主要目的是探究干扰刺激表征阶段对数字 SNARC 效应发生的影响，主要的实验刺激是“由数字组成的箭头”。复合箭头材料和单个数字材料的视角差距过大，可能会成为实验中的一个干扰因素。

意见 3：关于实验结果的报告，应使用图更直观地呈现结果。

回应：

非常感谢审稿专家的建议。对于关键的实验结果，我们均使用图更加直观地呈现出来(见论文稿的图 2、图 3、图 5 和图 7)。

意见 4：创新性一般，实验结论与已有的双阶段结论相同，且理论解释仍沿用已有理论。对于两个可能发生的阶段，已有脑成像研究驳斥了 SNARC 局限于一个阶段的观点（如 Cutini et al., 2012, Cerebral Cortex），亦有研究者提出过双阶段模型（本文已引用）。

回应：

非常感谢审稿专家的建议。虽然已有脑成像研究驳斥了 SNARC 局限于一个阶段的观点(Cutini et al., 2012)，然而，通过系统地进行文献综述，我们发现研究者对数字 SNARC 效应

的发生阶段尚未达成共识。具体而言，当前研究者主要采用加法反应时的实验范式来探讨数字 SNARC 效应的发生阶段(Tlauka, 2002; Gervers et al., 2005; Nan et al., 2021)。虽然已经得到了丰富的实验证据，但研究结论并不一致。导致该现象的一个可能原因是在不同的研究中，研究者采用了不同的实验刺激和实验任务，然而，却套用同一个“黄金法则”来解释实验结果——即若数字 SNARC 效应和 simon 效应/stroop 效应相互独立，说明其发生在刺激表征阶段/反应选择阶段；若数字 SNARC 效应和 simon 效应/stroop 效应产生了交互作用，说明其发生在反应选择阶段/刺激表征阶段。对该实验范式的单一使用使得相关研究忽视了对具体实验任务中具体加工过程的关注，并且不利于不同研究结果之间的比较和整合。

本研究的创新点和主要贡献在于提出了一种复合实验材料，拟通过操纵不同的实验任务来直接检验干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段对数字 SNARC 效应产生的影响。

参考文献：

- Cutini S., Scarpa F., Scatturin P., Dell'Acqua R., Zorzi M. (2012b). Number-space interactions in the human parietal cortex: enlightening the SNARC effect with functional near-infrared spectroscopy. *Cereb. Cortex* [Epub ahead of print]. 10.1093/cercor/bhs321
- Tlauka, M. (2002). The processing of numbers in choice-reaction tasks. *Australian Journal of Psychology*, 54, 94–98.
- Gevers, W., Caessens, B., & Fias, W. (2005). Towards a common processing architecture underlying Simon and SNARC effects. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(5), 659–673.
- Nan, W. Z., Yan, L. Z., Yang, G. C., Liu, X., & Fu, S. M. (2021). Two processing stages of the SNARC effect. *Psychological Research*, 86, 375–385.

意见 5：讨论部分较为单薄。对于实验结果的解释（以及 SNARC 效应产生的机制），前人已有较多理论（如 mental number line），但是文章讨论中并未涉及。而 4.3 节讨论 3 中对于实验结果的解释和推测并未给出文献依据和理论支撑，不够有说服力。

回应：

非常感谢审稿专家的建议。我们对讨论部分进行了修改和补充，在解释实验结果时尤其注意结合前人相关理论。例如：

实验 1a 和实验 1b 分别检验了干扰水平方向和垂直方向的刺激表征对数字 SNARC 效应的影响，结果发现，只有水平方向的刺激表征干扰才会阻碍数字 SNARC 效应产生。Dehaene

等人(1993)采用 Restle(1970)提出的“心理数字线”(the mental number line, 简称 MNL)的概念, 认为人们对数字进行心理表征时, 依据的是一条从左端小数到右端大数的数字线, 数字表征与反应存在直接的对应关系, 因此, 左手对表征在心理数字线左侧的小数反应更快, 而右手对表征在心理数字线右侧的大数反应更快。本研究发现与心理数字线平行方位的干扰才会影响数字 SNARC 效应, 支持了 Dehaene 等人(1993)的心理数字线理论。【见讨论部分, 610-617 行】

参考文献:

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology General*, 122(3), 371–396.

意见 6: SNARC 效应 (Spatial-Numerical Association of Response Codes Effect) 已经包括“数字”的含义, “数字 SNARC”效应名词似有重复?

回应:

非常感谢审稿专家的意见。SNARC 效应中的确已经包括了“数字”的含义, 本研究重复强调“数字”的原因如下:

SNARC 效应存在着普遍性。自 Dehaene 等人发现了数字材料的 SNARC 效应后, 研究者在字母(Gevers et al., 2003; Dodd, et al., 2008)、面积和亮度(胡林成, 熊哲宏, 2011)等具有顺序信息的材料上也发现了类 SNARC 效应。尽管大多数研究都证明了顺序信息存在 SNARC 效应, 但已有研究指出数字的 SNARC 效应和其他顺序信息的 SNARC 效应可能存在不同的加工机制 (Casarotti et al., 2007; Ginsburg & Gevers, 2015; 王强强等, 2015)。例如, Dodd 等人(2008)使用点探测范式, 分别采用数字 (1, 2, 8, 9)、字母 (a, b, y, z)、天数 (Monday, Tuesday, Friday, Saturday) 和月份 (January, February, November, December) 作为探测刺激, 发现只有当数字作为探测刺激时, 才会引起个体的空间注意转移, 产生注意 SNARC 效应。

为了区分以数字作为实验材料的经典 SNARC 效应和以顺序信息为实验材料的类 SNARC 效应, 本研究使用了“数字 SNARC 效应”这一表达。

参考文献:

Gevers, W., Reynvoet, B., & Fias, W. (2003). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition*, 87, B87-B95.

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.

Casarotti, M., Michielin, M.,Zorzi, M., & Umilta, C. (2007). Temporal order judgment reveals how number magnitude affects visuospatial attention. *Cognition*, 102, 101-117.

Ginsburg, V., Archambeau, K., Van Dijck, J. P., Chetail, F., & Gevers, W. (2017). Coding of serial order in verbal, visual and spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology General*, 146, 632-650.

胡林成, 熊哲宏. (2011). 刺激模拟量的空间表征: 面积和亮度的类 SNARC 效应. *心理科学*, 34(1), 58 - 62.

王强强, 康静梅&兰继军. (2015). 顺序信息对注意 SNARC 效应的影响: 基于不同参考系下字母 SNARC 效应的比较研究. *应用心理学*, 21(4), 291-298.

意见 7: 实验二和三中使用的刺激中, 构成箭头的“1”的数量与其他数字不同。这一因素对实验结果是否有影响。且正文中使用的插图和附图中使用的插图不一致。

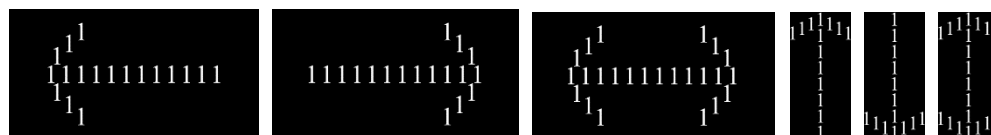
回应:

非常感谢审稿专家的意见。我们重新设计了实验材料, 使得构成箭头的数字“1”“2”“8”“9”的数量是相同的, 在同一个实验中复合刺激的视角也是相同的, 并且重新开展了实验。实验材料如下所示。

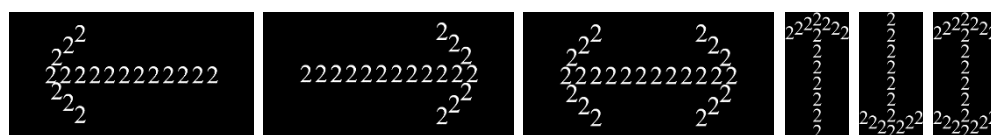
【实验材料】



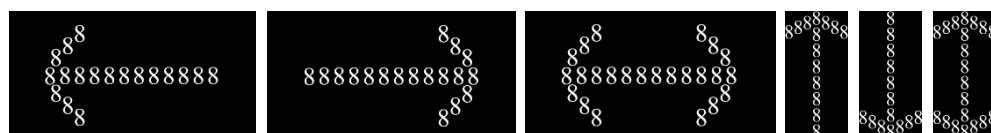
由特殊符号构成的箭头（分别为左箭头和右箭头）



由数字 1 构成的箭头（分别为左箭头、右箭头、左右双向箭头、上箭头、下箭头和上下双向箭头）



由数字 2 构成的箭头（分别为左箭头、右箭头、左右双向箭头、上箭头、下箭头和上下双向箭头）



由数字 8 构成的箭头（分别为左箭头、右箭头、左右双向箭头、上箭头、下箭头和上下双向箭头）



由数字 9 构成的箭头（分别为左箭头、右箭头、左右双向箭头、上箭头、下箭头和上下双向箭头）

意见 8:

英文摘要部分语言可使用较为正式的用语，进一步优化表达。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。我们重新修改了英文摘要部分，进一步优化了表达，请审稿专家检查【见英文摘要部分，790-826 行】。

审稿人 2 意见:

作者试图通过构建不同阶段的干扰因素，考察其是否影响 SNARC 效应来验证 SNARC 效应的双阶段模型。具有一定的创新性和新颖性。但是实验设计仍存在一些问题，实验二和实验三核心操作的是被试的任务，对数字做反应还是对箭头作反应，操控了整体的箭头信息是任务相关还是任务无关。由此来推断整体的箭头的影响发生在不同阶段。这个逻辑似乎有点问题。

实验二中的左右箭头具备空间信息，可以理解为与任务无关的空间信息，其会与左右手反应形成一致和不一致的匹配，和经典的 Simon 效应（任务无关的空间信息与左右手反应的重叠）相似，因此这个任务中的左右箭头诱发的干扰，可能是发生在晚期的反应选择阶段，而非作者认为的早期的表征阶段。反过来实验三将左右箭头变为任务相关，数字改为任务无关。其实是一样的道理。所以这整个实验设计可以理解为是内源性的 Simon 任务（把小数字数字放在一个大箭头背景上）。所以观察到其与 SNARC 的交互作用，是可以理解的，并且也只能证明在反应选择阶段的干扰因素产生了对 SNARC 效应的影响。如果说整体加工更早一些，当前的行为实验无法很好地证明这个。所以需要作者重新思考这个研究的结论。补充一个只发生在早期阶段的干扰因素来做进一步的探索和验证。

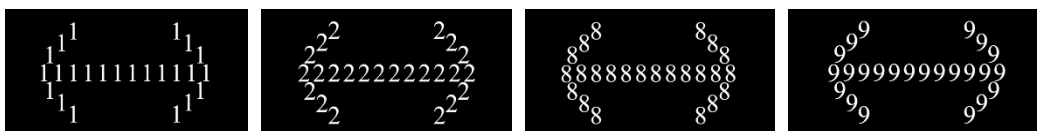
回应:

非常感谢审稿专家的意见。

Simon(1990)最早提出人们具有自动朝向刺激出现位置做反应的倾向。具体而言，当刺激出现位置和反应位置一致时，反应更快；而当刺激位置和反应位置不一致时，反应更慢。由于箭头可以传递空间位置信息，左箭头指向左方位、右箭头指向右方位，因此，左手对左箭头反应更快而右手对右箭头反应更快(在双手不交叉的情况下)，表现为类 simon 效应(Luo & Proctor, 2021)。而已有研究又较为一致地认为 simon 效应主要发生在反应选择阶段(De Jong et al., 1994; Wang et al., 2014)，因此，审稿专家的推测是有道理的，即左右箭头诱发的干扰影响得可能是数字 SNARC 效应的反应选择阶段而非刺激表征阶段。

为了检验这一可替代性假设，我们在新补充的实验中增加了“双向箭头”这一实验材料(见下图)，进行了 2(数字：小数、大数)×3(箭头方向：左、右、双向)×2(反应手：左手、右手)的被试内实验设计。我们认为，当实验刺激为双向箭头时，箭头方向仍然可能引起被试的注意转移(从而干扰数字加工的刺激表征阶段)，但转移方向是随机的，因此，并不会和左右反应手形成类 simon 效应，从而可以有效排除 simon 效应的解释。若箭头方向为双向箭头时，数字 SNARC 效应仍然消失，说明干扰来自刺激表征阶段而非反应选择阶段。

实验 1a(新提交论文稿)的实验结果发现，不管箭头方向是向左、向右还是双向，数字 SNARC 效应均消失，并且在箭头方向的不同水平之间并不存在显著差异，这在一定程度上可以排除 simon 效应这一可替代性假设，说明干扰刺激表征阶段会影响数字 SNARC 效应发生。【见结果部分，437-444 行】



参考文献:

- Simon, J. R. (1990). The effects of an irrelevant directional cue on human information processing. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective* (pp. 31–86). North-Holland.
- Luo, C., & Proctor, R. W. (2021). Word-and arrow-based Simon effects emerge for eccentrically presented location words and arrows. *Psychological Research*, 85, 816-827.
- De Jong, R., Liang, C. C., & Lauber, E. (1994). Conditional and unconditional automaticity: A dual-process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 20(4), 731–750.

Wang, K., Li, Q., Zheng, Y., Wang, H., & Liu, X. (2014). Temporal and spectral profiles of stimulus-stimulus and stimulus-response conflict processing. *Neuroimage*, 89, 280–288.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.11.045>

.....

审稿人 3 意见:

数字 SNARC 效应是数字感知领域被广泛研究的一个主题。作者首先验证经典的数字 SNARC 效应（实验 1），然后再采用整体局部范式，通过两个实验（实验 2 & 3）探讨了数字 SNARC 效应发生的阶段。结果发现，在完成比较数字大小任务时，数字 SNARC 效应不显著；当完成判断箭头方向时，数字 SNARC 效应显著，且仅在判断右箭头时显著。作者认为，干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段都会影响数字 SNARC 效应的产生，支持数字 SNARC 效应的双阶段加工模型。

总体来说，实验设计合理，数据分析方法较为正确，结果可靠，结论可信。但也存在一些问题，请作者修改或给出解释说明。

意见 1: 首先关于文章创新性的问题。由于研究问题——数字 SNARC 效应的发生阶段——是一个相对比较成熟的研究主题，文章的创新性一般，文章的结论也是已有研究的结论，并未得出新的有意义的结果。比如，如果作者能够提供证据，说清楚在什么条件下，数字 SNARC 效应（主要）发生在刺激表征阶段，在什么条件下数字 SNARC 效应（主要）发生在反应选择阶段，相比目前的研究将会有较大的创新。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。

本研究的创新点和主要贡献在于创新性地提出一种复合实验材料，通过操纵不同的实验任务来直接检验干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段对数字 SNARC 效应产生的影响。通过系统地进行文献综述，我们发现研究者对数字 SNARC 效应的发生阶段尚未达成共识。当前，研究者主要采用加法反应时的实验范式来探讨数字 SNARC 效应的发生阶段 (Tlauka, 2002; Gervers et al., 2005; Nan et al., 2021)。虽然已经得到了丰富的实验证据，但研究结论并不一致。导致该现象的一个可能原因是在不同的研究中，研究者采用了不同的实验刺激和实验任务，然而，却套用同一个“黄金法则”来解释实验结果——即若数字 SNARC

效应和 simon 效应/stroop 效应相互独立，说明其发生在刺激表征阶段/反应选择阶段；若数字 SNARC 效应和 simon 效应/stroop 效应产生了交互作用，说明其发生在反应选择阶段/刺激表征阶段。对该实验范式的单一使用使得相关研究忽视了对具体实验任务中具体加工过程的关注，并且不利于不同研究结果之间的比较和整合。我们将此补充在了新提交论文稿的引言部分【见引言部分，371-378 行】。

在上一版研究的基础上，为了得到更有意义的研究结论，我们分别在实验 1a 和实验 1b 中检验了水平干扰和垂直干扰刺激表征阶段是否都会影响数字 SNARC 效应。结果发现，水平干扰数字加工的刺激表征会阻碍数字 SNARC 效应产生，但垂直干扰数字加工的刺激表征并不影响数字 SNARC 效应。Dehaene 等人(1993)采用 Restle(1970)提出的“心理数字线”(the mental number line, 简称 MNL)的概念，认为人们对数字进行心理表征时，依据的是一条从左端小数到右端大数的数字线，数字表征与反应存在直接的对应关系，因此，左手对表征在心理数字线左侧的小数反应更快，而右手对表征在心理数字线右侧的大数反应更快。本研究发现与心理数字线平行方位的干扰才会影响数字 SNARC 效应，支持了 Dehaene 等人(1993)的心理数字线理论。

参考文献：

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology General*, 122(3), 371–396.

Tlauka, M. (2002). The processing of numbers in choice-reaction tasks. *Australian Journal of Psychology*, 54, 94–98.

Gevers, W., Caessens, B., & Fias, W. (2005). Towards a common processing architecture underlying Simon and SNARC effects. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(5), 659–673.

Restle, F. (1970). Speed of adding and comparing numbers. *Journal of Experimental Psychology*, 83(2), 274–278.

Ristic, J., Wright, A., & Kingstone, A. (2006). The number line effect reflects top-down control. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(5), 862–868.

Nan, W. Z., Yan, L. Z., Yang, G. C., Liu, X., & Fu, S. M. (2021). Two processing stages of the SNARC effect. *Psychological Research*, 86, 375–385.

意见 2：其次，研究动机方面，作者在前言中指出，“已有研究主要采用加法反应时的实验逻辑探讨数字 SNARC 效应的发生阶段。……但是使用该实验范式开展的研究往往通过两实验任务的比较对数字 SNARC 效应的发生阶段进行间接推断。”，实际上作者也是采用了两种

实验任务，通过两个实验来对这一问题进行研究的，不清楚本研究相比前人研究的优势在哪里？

回应：

非常感谢审稿专家的意见。与上一条意见较为相似，在新一版提交的论文中，我们对已有范式的可能缺陷以及本研究的进步之处进行了更进一步的阐明。

通过系统地进行文献综述，我们发现研究者对数字 SNARC 效应的发生阶段尚未达成共识。当前，研究者主要采用加法反应时的实验范式来探讨数字 SNARC 效应的发生阶段 (Tlauka, 2002; Gervers et al., 2005; Nan et al., 2021)。虽然已经得到了丰富的实验证据，但研究结论并不一致。导致该现象的一个可能原因是在不同的研究中，研究者采用了不同的实验刺激和实验任务，然而，却套用同一个“黄金法则”来解释实验结果——即若数字 SNARC 效应和 simon 效应/stroop 效应相互独立，说明其发生在刺激表征阶段/反应选择阶段；若数字 SNARC 效应和 simon 效应/stroop 效应产生了交互作用，说明其发生在反应选择阶段/刺激表征阶段。对该实验范式的单一使用使得相关研究忽视了对具体实验任务中具体加工过程的关注，并且不利于不同研究结果之间的比较和整合。本研究依据整体-局部范式，创新性地提出了一种复合实验材料——由数字组成的箭头，并分别操纵被试的注意指向局部信息（进行数字大小比较任务；实验 1）和整体信息（进行箭头方向判断任务；实验 2），拟尝试操纵两个加工阶段，分别探究干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段会对数字 SNARC 效应产生怎样的影响，以此确定数字 SNARC 效应的产生阶段。**【见引言部分，371-378 行】**

参考文献：

- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology General*, 122(3), 371–396.
- Tlauka, M. (2002). The processing of numbers in choice-reaction tasks. *Australian Journal of Psychology*, 54, 94–98.
- Gevers, W., Caessens, B., & Fias, W. (2005). Towards a common processing architecture underlying Simon and SNARC effects. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(5), 659–673.
- Restle, F. (1970). Speed of adding and comparing numbers. *Journal of Experimental Psychology*, 83(2), 274–278.
- Ristic, J., Wright, A., & Kingstone, A. (2006). The number line effect reflects top-down control. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(5), 862–868.
- Nan, W. Z., Yan, L. Z., Yang, G. C., Liu, X., & Fu, S. M. (2021). Two processing stages of the SNARC effect.

意见 3: 被试量的确定方面, 据了解, G*power 软件并不适合多因素被试内设计的被试量预估计, 不知道作者是如何使用该软件对实验 2 和实验 3 的被试量预估计的。

回应:

非常感谢审稿专家的意见。通过再次深入学习 G*power 使用手册, 我们意识到使用 G*power 软件来估计多因素被试内设计的被试量为误用。由于本研究创新性地提出了一种新的复合实验刺激, 可以参考的已有研究较少, 主要参考何华等人(2015)以及祁敬茹(2010)的研究来对实验被试量进行估计。

参考文献:

何华, 俞华华 & 刘建平. (2015). 整体 - 局部条件下的数字加工研究. *心理学探新*, 35(06), 499 - 501.

祁敬茹. (2017). *整体-局部范式下数字加工的 SNARC 效应*硕士学位论文. 苏州大学.

意见 4: 因为在这类实验 (特别是实验 2 和实验 3) 中刺激的大小比较重要, 建议报告刺激的视角大小。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。在新提交版本的论文中, 我们对刺激材料的视角进行了报告。实验 1a 和实验 2 的刺激视角为 $10^{\circ} \times 6^{\circ}$, 实验 1b 的刺激视角为 $4.4^{\circ} \times 9^{\circ}$ **【分别见实验-方法部分, 416-419 行、481-484 行和 541-545 行】**。

意见 5: 因变量应该包括反应时和正确率, 反应时为毫秒, 保留整数即可。建议在数据分析方面, 也报告正确率的结果。另外, 即使效应不显著, 也建议给出效果量, 如果论文发表, 对后人做元分析是有帮助的。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。在新提交版本的论文中, 我们将反应时数据 (单位: ms) 保留到了整数位。在进行数据分析时, 报告了实验各个水平下的正确率 (分别见表 1、表 3 和表 5), 但是, 由于本研究的实验任务较为简单、被试的正确率较高, 因此, 并未以正确率作为因变量指标进行推断统计。同时, 对显著和不显著的结果, 都报告了效应量, 以便于后人做元分析。

意见 6: 实验 1 中简单效应分析的表述中，每种实验条件下的数据与表 1 中呈现的数据有出入，估计作者混淆了标准差和标准误，实验 2 和实验 3 的结果表述中也存在类似的问题，请作者核对修改。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。在上一版本的论文稿中，我们的确混淆了标准差和标准误，已经进行了核对修改，请审稿专家检查。

意见 7: 实验 2 的结果剔除了一名被试，无法实现两个 block 的先后顺序在被试间完全平衡，建议补充一名被试的结果，重新分析数据。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。考虑到审稿专家 1 和审稿专家 2 的建议，我们重新进行了实验，当前三个实验的 block 均进行了被试间的平衡，请审稿专家检查。

意见 8: 实验 3 的实验任务是对箭头的方向做反应，而实验 3 的结果表述中多处存在易引起误解的表述，比如“…简单效应分析结果显示，左手($362.69 \pm 6.45\text{ms}$)对小数的反应显著快于右手($390.01 \pm 7.96\text{ms}$)…”。请作者核查修改。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。以“…简单效应分析结果显示，左手($362.69 \pm 6.45\text{ms}$)对小数的反应显著快于右手($390.01 \pm 7.96\text{ms}$)…”为例的此类表达的确容易引起误会，因为实验 3（上一版论文稿）的实验任务是判断箭头方向而非比较数字大小。我们对此类容易引起误会的表达进行了修改，请审稿专家检查。

第二轮

审稿人 1 意见:

在目前版本中，实验 1a 与实验 1b 的结果综合来看，通过对比水平和垂直箭头对左右手反应时的不同影响，可以支持作者提出的刺激表征阶段对于数字 SNARC 效应的产生具有影响的结论。仍存在部分问题请作者进行进一步解释：

意见 1: 在实验二中, 本文采用的判断刺激整体箭头方向的任务与前人文献中判断刺激整体的字母元辅音任务之间的区别和独特贡献点需要进一步明确, 建议进一步讨论。

回应:

非常感谢审稿专家的建议, 最新修改版论文进一步明确和讨论了本研究的实验 2 与前人研究的相似和不同之处及其理论启示, 并放在了总讨论部分【见总讨论部分, 1106 行-1132 行】。

结合对本研究实验 2 结果以及相关研究的分析, 反应选择阶段有可能从两个方面来影响数字 SNARC 效应的发生。一方面是认知资源消耗, 另一个方面则是刺激位置属性激活和反应编码竞争。

认知资源消耗假设: 和本研究的实验 2 结果较为一致, 时秀兰(2010)在实验 2 中以数字构成的字母作为实验材料, 当要求被试判断字母的元音/辅音时, 并未发现数字 SNARC 效应。当以数字构成的箭头/字母作为实验材料, 要求被试进行与数字大小判断无关的任务时, 数字可以被自动化加工并在无意识层面进行充分的空间表征(Dehaene & Akhavan, 1995; Gevers, Verguts, et al., 2006)。但由于实验任务为判断箭头方向/判断字母, 消耗了反应选择阶段的认知资源, 因此, 数字 SNARC 效应消失。从该角度出发, 未来研究可以尝试在同一实验中操纵实验任务的不同难度等级, 来研究反应选择阶段的认知消耗对数字 SNARC 效应的影响。比如, 王强强等人(2018)发现任务转换抑制了数字 SNARC 效应的产生。具体而言, 相比任务重复组, 任务转换组需要记住两套反应标准(对黑字进行数字大小比较任务、对绿字进行奇偶判断任务), 在反应选择阶段会消耗更多的认知资源, 因此, 数字 SNARC 效应消失。王强强等人(2022)进一步操纵了任务转换的频率——当数字和字母比例为“1: 1”时, 任务转换频率更高, 消耗更多的认知资源; 当比例为“1: 6”或“6: 1”时, 任务转换频率更低, 消耗更少的认知资源。实验结果发现, 当比例为“1: 6”或“6: 1”时, 数字 SNARC 效应出现, 而当比例为“1: 1”时, 数字 SNARC 效应消失。该结果在一定程度上支持反应选择阶段影响数字 SNARC 效应的认知资源消耗假设。

刺激位置属性激活和反应编码竞争假设: 和本研究实验 2 的结果有所不同, Fias 等人(2001)以“叠加在数字上的三角形”作为实验材料, 要求被试判断三角形的指向是向上还是向下, 结果发现了数字 SNARC 效应。这可能是因为, 作为相关任务的实验材料, 三角形指向激活得是上下反应编码, 而数字在反应选择阶段激活得是左右反应编码从而与左右手反应相联结, 此时, 相关任务和无关任务的刺激激活属性和反应编码之间并不会产生竞争, 从而产生了数字 SNARC 效应。然而, 在本研究的实验 2 中, 左右箭头方向和数字激活得都是左

右反应编码，两者之间会产生竞争，而箭头方向的反应编码激活强度更大，由此发现了箭头方向和反应手的交互作用而并未发现数字 SNARC 效应。

未来研究可以尝试分离并检验以上两种假设，可能的研究构想如下：

以数字组成的上下箭头作为实验材料，要求被试判断箭头方向向上还是向下，由于实验任务是判断箭头方向而非比较数字大小，两个任务会在反应选择阶段竞争认知资源。然而，在该实验中，相关任务与无关任务的刺激激活属性和反应编码并不是相对应的，具体而言，“上下箭头方向判断任务”形成得是上下刺激属性，其自动激活得是上下反应编码，并不会和数字大小比较任务在反应选择阶段所激活的左右反应编码之间产生竞争。因此，若该实验中出现数字 SNARC 效应，则支持认知资源消耗假设；若不出现数字 SNARC 效应，则支持刺激位置属性激活和反应编码竞争假设。

参考文献：

时秀兰. (2010). *整体-局部加工范式下的数字空间效应*(硕士学位论文). 苏州大学.

Dehaene, S., & Akhavein, R. (1995). Attention, automaticity, and levels of representation in number processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(2), 314–326.

Gevers, W., Verguts, T., Reynvoet, B., Caessens, B., & Fias, W. (2006). Numbers and space: A computational model of the SNARC effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(1), 32–44.

王强强, 石文典, 叶晶. (2018). 任务转换对 SNARC 效应的抑制. *应用心理学*, 24(3), 271–279.

王强强, 张琦, 石文典, 王志伟, 章鹏程. (2022). 数字空间表征的在线建构：来自干扰情境中数字 SNARC 效应的证据. *心理学报*, 54(7), 761–771.

Fias, W., Lauwereyns, J., & Lammertyn, J. (2001). Irrelevant digits affect feature-based attention depending on the overlap of neural circuits. *Cognitive Brain Research*, 12(3), 415–423.

意见 2：在问题提出阶段，作者提及前人研究中的用来解释数字 SNARC 效应的 simon 效应和 stroop 效应，及其分别对应了刺激表征和反应选择两个阶段。建议在结果的讨论中进一步说明这两个效应如何对应了本研究的结果。

回应：

非常感谢审稿专家的建议，问题提出部分在阐述前人研究采用加法反应时的实验逻辑来探究数字 SNARC 效应发生阶段时提及了 Simon 效应和 Stroop 效应。在问题提出部分，提及加法反应时实验逻辑以及 Simon 效应和 Stroop 效应的主要目的在于综述前人已有关于

数字 SNARC 效应发生阶段的研究、总结前人研究的不足之处并提出本研究相比前人研究的优势和创新点。具体内容如下：

当前，研究者主要采用加法反应时的实验范式来探讨数字 SNARC 效应的发生阶段 (Tlauka, 2002; Gervers et al., 2005; Nan et al., 2021)。依据加法反应时的实验逻辑(Sternberg, 1969)，如果两个认知过程表现出交互作用，那么两者发生在同一加工阶段；而如果两个认知过程相互独立，那么两者发生在不同的加工阶段。经典的 Stroop 效应(Stroop, 1935)被验证发生在刺激表征阶段(Li et al., 2014; Scerrati et al., 2017)，经典的 Simon 效应(Simon & Rudell, 1967)被验证发生在反应选择阶段。因此，研究者通常设计同时涉及 SNARC 效应和 Simon 效应/Stroop 效应的实验，观察 SNARC 效应的发生与 Simon 效应/Stroop 效应是交互的还是相互独立的。具体而言，若 SNARC 效应与 Simon 效应/Stroop 效应表现出交互作用，那么就认为 SNARC 效应发生在反应选择阶段/刺激表征阶段；若 SNARC 效应与 Simon 效应/Stroop 效应相互独立，那么就认为 SNARC 效应发生在刺激表征阶段/反应选择阶段。当前研究采用该范式来探究数字 SNARC 效应的发生阶段，已经得到了丰富的实验证据，但研究结论并不一致。导致该现象的一个可能原因是在不同的研究中，研究者采用了不同的实验刺激和实验任务，然而，却套用同一个“黄金法则”来解释实验结果。对该实验范式的单一使用使得相关研究忽视了对具体实验任务中具体加工过程的关注，不利于不同研究结果之间的比较和整合。相比之下，本研究的创新点和主要贡献在于提出了一种复合实验材料，拟通过操纵不同的实验任务来直接检验干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段对数字 SNARC 效应产生的影响【见问题提出部分，770 行-795 行】。

本研究并未涉及到 Stroop 效应，但在本研究发现了类 Simon 效应，并主要和“箭头方向和反应手交互”这一结果指标对应。与类 Simon 效应相关的讨论如下【见总讨论部分，1089 行-1105 行】：

在实验 1a 中，箭头方向和反应手的交互作用显著，表现为类 Simon 效应，而实验 1b 并未发现类 Simon 效应。不管是基于视觉刺激还是听觉刺激，研究者们均发现当刺激位置和刺激反应相对应（相比于不对应）时反应更快，并将其命名为 Simon 效应(Simon, 1968; Simon & Small, 1969; Craft & Simon, 1970; Hedge & Marsh, 1975)。由于箭头可以传递空间位置信息，左箭头指向左方位、右箭头指向右方位，因此，左手对左箭头反应更快，而右手对右箭头反应更快（在双手不交叉的情况下），表现为类 simon 效应(Luo & Proctor, 2021)。维度重叠理论认为 Simon 效应的产生是由刺激位置属性和反应编码之间的映射关系引起的，刺激位置自动激活了同侧的反应(Kornblum et al., 1990)。在实验 1a 中，由于整体优先加工策

略，左右箭头得到优先表征并激活了左右位置的反应编码，这与数字大小比较任务所要求的左右编码产生了竞争。然而，由于箭头方向干扰了数字在心理数字线上的空间表征，使其未能激活相应的反应编码，因此，即使要求被试进行数字大小判断任务，有充分的数据证据支持数字 SNARC 效应未出现，而有充分的数据证据支持箭头方向和反应手的交互效应，即表现出类 Simon 效应。而在实验 1b 中，上下箭头方向未对数字在水平方向心理数字线上的空间表征产生干扰，使其能够顺利激活相应的反应编码，从而产生数字 SNARC 效应。这启示我们刺激表征阶段和反应选择阶段可能并不是完全独立的两个阶段，而是相互联系的。刺激表征阶段的空间表征强度有可能会通过影响激活反应编码的强度来影响反应选择阶段，两者的相互影响可能亦是数字 SNARC 效应发生的原因之一。

参考文献：

- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, 30,276–315.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662.
- Li, Q., Nan, W., Wang, K., & Liu, X. (2014). Independent processing of stimulus-stimulus and stimulus-response conflicts. *PLoS ONE*, 9(2), e89249.
- Scerrati, E., Lugli, L., Nicoletti, R., & Umiltà, C. (2017). Comparing Stroop-like and Simon effects on perceptual features. *Scientific Reports*, 7(1), 17815.
- Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51(3), 300–304.
- Simon, J. R. (1968). Effect of ear stimulated on reaction time and movement time. *Journal of Experimental Psychology*, 78, 344-346.
- Simon, J. R., E Small, A. M., Jr. (1969). Processing auditory information: Interference from an irrelevant cue. *Journal of Applied Psychology*, 53, 433-435.
- Craft, J. L., & Simon, J. R. (1970). Processing symbolic information from a visual display: Interference from an irrelevant directional cue. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 415-420.
- Hedge, A., & Marsh, N. W. A. (1975). The effect of irrelevant spatial correspondences on two-choice response-time. *Act Psychologica*, 39, 427-439.
- Luo, C., & Proctor, R. W. (2021). Word-and arrow-based Simon effects emerge for eccentrically presented location words and arrows. *Psychological Research*, 85, 816–827.

Lu, C. H., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic bulletin & review*, 2, 174-207.

意见 3: 在结果分析中提及的“删除反应错误的试次”(432、498、559 行)应如何理解? 如果在后续分析中删除反应错误的试次, 正确率应该为 100%? 请进一步确认此处表述。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。“反应错误的试次”是指被试未按指导语准确作答的试次, 例如, 要求被试对小于 5 的数字按 F 键, 对大于 5 的数字按 J 键, 若被试对数字 2 按 J 键, 则为错误试次。

在结果与分析部分更正了对正确率报告和试次剔除的表述。首先报告了各实验水平下的正确率以及错误率, 接着报告了数据剔除标准及数据剔除情况, 最后报告了剔除数据后剩余试次的反应时【见各实验的结果与分析部分, 849 行-853 行、939 行-942 行以及 1012 行-1015 行】。

意见 4: 图需添加误差线。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。我们重新作图并添加了误差线。见图 2【872 行】、图 3【884 行】、图 5【964 行】和图 7【1033 行】。

.....
审稿人 2 意见:

意见 1:

该论文围绕数字空间联结的双阶段模型, 不同加工阶段的因素将会影响 SNARC 效应。实验中将数字组合成大的左右上下的复合箭头信息。实验一让被试对数字的大小做左右手按键判断, 结果发现: 实验 1a 的左右横向箭头条件下并没有出现 SNARC 效应, 左右箭头和 SNARC 效应没有交互。实验 1b 的上下箭头条件下出现了 SNARC 效应, 上下箭头和 SNARC 效应没有交互。实验二让被试对箭头方向做左右按键判断, 并调整了反应规则, 以构建出一个类似的认知 Simon 效应。结果发现存在 Simon 效应。但并没有进一步观察到按键规则对 SNARC 效应的交互作用。

作者整体的推断逻辑为出现 SNARC 效应就说明引入干扰因素没有对其产生影响, 没有出现 SNARC 效应就说明引入的干扰因素对其产生了影响。这个推理逻辑比较粗糙, 因为有

很多因素是造成实验观察不到 SNARC 效应。一般观察引入因素是否对 SNARC 效应产生影响，首先 SNARC 效应的主效应要先出来，更重要的是要看这个 SNARC 效应是否进一步受到了引入的因素的影响，是否有产生了交互作用，才能说明引入因素存在对 SNARC 效应的影响。作者的实验结果中均未发现交互作用，而只是以是否有观察到 SNARC 效应来作为推断，是不合适的。这里存在较大问题。

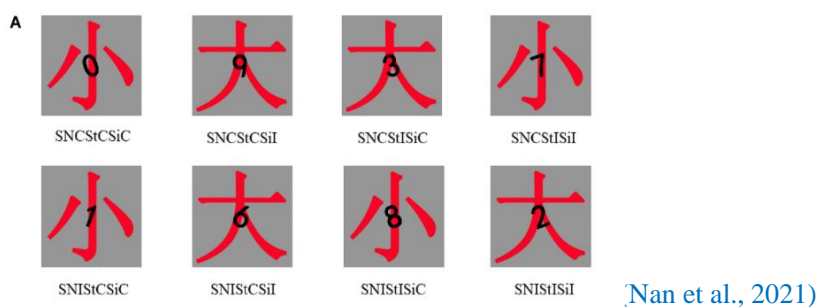
回应：

非常感谢审稿专家的意见。我们对此条意见的回应如下：

如审稿专家所说，“出现 SNARC 效应就说明引入干扰因素没有对其产生影响，没有出现 SNARC 效应就说明引入的干扰因素对其产生了影响”，这可以认为是对本研究实验逻辑的简单理解。与此同时要注意的是本研究创新性地使用复合实验刺激，并依据合理的实验逻辑进行干扰因素的引入。具体而言，当要求被试进行数字大小比较任务时，由于整体优先加工，箭头的空间表征可能会干扰数字的空间表征，此时，便可探究数字加工的刺激表征阶段受到干扰对 SNARC 效应发生的影响，并且实验 1a 和实验 1b 分别检验了横向空间干扰和纵向空间干扰对 SNARC 效应发生的影响；而当要求被试进行箭头方向判断任务时，数字大小比较任务是无关任务，心理数字线被自动激活，数字得到了充分的空间表征，而数字加工在反应选择阶段则会受到相关任务的干扰，此时，便可探究数字加工的反应选择阶段受到干扰对 SNARC 效应发生的影响。重要的是，研究结果也对此提供了进一步的支持。例如，“通过采用贝叶斯因子分析数字大小和箭头方向的交互作用后发现，实验 1a 的数据支持备择假设（即数字大小和左右箭头方向有交互作用），而实验 1b 的数据支持虚无假设（即数字大小和上下箭头方向没有交互作用），这在一定程度上说明实验 1a 中的左右箭头方向对数字加工产生影响，而实验 1b 中的上下箭头方向未对数字加工产生影响”。

当前已有的相关研究主要采用加法反应时的实验范式来探究数字 SNARC 效应的发生阶段，尽管已经得到了丰富的实验证据，但研究结论并不一致。导致该现象的一个可能原因是在不同的研究中，研究者采用了不同的实验刺激和实验任务，然而，却套用同一个“黄金法则”来解释实验结果。举例来说，Tlauka(2002)将数字“1 和 100”(实验 1)、“100 和 900”(实验 2)分别作为实验材料呈现在屏幕两侧，并以“左右位置和反应手的交互”作为 Simon 效应的指标，结果发现数字 SNARC 效应和 Simon 效应是相互独立的，据此推断 SNARC 效应发生在刺激表征阶段；Mapelli 等人(2003)将数字 1/2/8/9 固定地呈现在屏幕的左侧/右侧，要求被试进行数字的奇偶判断任务，并以“左右位置和反应手的交互”作为 Simon 效应的指标，结果发现 snarc 和 simon 效应是相互独立的；Gevers 等人(2005)将数字 1-9(除了 5)呈

现在屏幕的左侧/右侧，同样以“左右位置和反应手的交互”作为 Simon 效应的指标，结果在数字大小无关任务（奇偶判断任务；实验 1）和数字大小相关任务（数字大小比较任务；实验 2）中均发现了数字 SNARC 效应和 Simon 效应之间存在交互作用，据此推断 SNARC 效应发生在反应选择阶段；Nan 等人(2021)以如下图所示的复合实验刺激作为实验材料，要求被试对 0/1/2/3/6/7/8/9 进行判断数字大小任务，以“数字旋转和反应手的交互”（向左旋转 20° /向右旋转 20° 与左手/右手形成一致条件，向左旋转 20° /向右旋转 20° 与右手/左手形成不一致条件）作为 Simon 效应的指标，以“大小含义和反应手的交互”（小/大与左手/右手形成一致条件，小/大与右手/左手形成不一致条件）作为 Stroop 效应的指标，结果同时发现了数字 SNARC 效应和 Simon 效应之间以及数字 SNARC 效应和 Stroop 效应之间的交互作用，据此推断 SNARC 效应同时发生在刺激表征阶段和反应选择阶段。对加法反应时范式的单一使用使得相关研究忽视了对具体实验任务中具体加工过程的关注，不利于不同研究结果之间的比较和整合。相比之下，本研究创新性地提出由数字组成的箭头这一实验材料，一方面拟通过操纵实验任务来尝试操纵对刺激表征阶段和反应选择阶段的影响，另一方面是为了尽量更好地排除实验材料等无关因素的影响，是当前为数不多地从认知加工角度出发来探究数字 SNARC 效应发生阶段的研究之一。



我们认同审稿专家“首先 SNARC 效应的主效应要先出来，更重要的是要看这个 SNARC 效应是否进一步受到了引入的因素的影响”这一实验逻辑。本研究参照以往研究，主要以“数字大小和反应手的交互作用”作为 SNARC 效应是否出现的指标，未来研究可以进一步考虑将 SNARC 效应的大小作为指标，探究不同程度的干扰对 SNARC 效应的影响。但在此之前，也需注意：一方面，通过实验的方式来操纵刺激表征阶段的参与程度，进而观测到 SNARC 效应的变化可能是困难的，这需要实验范式的创新和实验技术的灵活运用；另一方面，若刺激表征阶段/反应选择阶段是以“全或无”的方式对数字 SNARC 效应产生影响，那么将很

难做到先出现 SNARC 效应，再进一步探究干扰程度对 SNARC 效应大小的影响。当前研究结合整体局部范式，创新性地使用了一种复合实验刺激，主要聚焦于回答“刺激表征阶段和反应选择阶段是否影响数字 SNARC 效应”这一研究问题，并结合实验 2 的实验结果以及以往研究对反应选择影响 SNARC 效应的机制进行了初步探讨【见总讨论部分，1106 行-1132 行】。未来研究可以进一步探讨刺激表征阶段和反应选择阶段对数字 SNARC 效应的具体影响机制。

我们认同审稿专家“……，更重要的是要看这个 SNARC 效应是否进一步受到了引入的因素的影响是否有产生了交互作用，才能说明引入因素存在对 SNARC 效应的影响”的观点。我们使用贝叶斯因子分析方法对实验结果进行了更加细致的分析和讨论，以下结果可以在一定程度上支持是引入因素存在对 SNARC 效应产生了影响：“通过采用贝叶斯因子分析数字大小和箭头方向的交互作用后发现，实验 1a 的数据支持备择假设(即数字大小和左右箭头方向有交互作用)，而实验 1b 的数据支持虚无假设(即数字大小和上下箭头方向没有交互作用)，这在一定程度上说明实验 1a 中的左右箭头方向对数字加工产生影响，而实验 1b 中的上下箭头方向未对数字加工产生影响”【见总讨论部分，1079 行-1083 行】。

参考文献：

- Tlauka, M. (2002). The processing of numbers in choice-reaction tasks. *Australian Journal of Psychology*, 54, 94–98.
- Mapelli, D., Rusconi, E., & Umiltà C. (2003). The SNARC effect: an instance of the Simon effect? *Cognition*, 88(3), B1-B10.
- Nan, W. Z., Yan, L. Z., Yang, G. C., Liu, X., & Fu, S. M. (2021). Two processing stages of the SNARC effect. *Psychological Research*, 86, 375–385.

意见 2：一些小问题：实验 1a 中的方向箭头其实是引入的认知 Simon 效应，其更多的是干扰了 SNARC 效应的后期的反应选择阶段，而并非作者所说的只干扰了数字的空间表征。

回应：

非常感谢审稿专家的意见，这是一个于研究而言的关键问题，我们对此进行了回应：

Simon & Rudell(1967)偶然发现被试的右耳对“right(右)”的反应快于左耳，左耳对“left(左)”的反应快于右耳。研究者们对其进行了进一步的探究，在视觉刺激和听觉刺激上均发现当刺激位置和刺激反应相对应（相比于不对应）时反应更快，并将其命名为 Simon 效应(Simon, 1968; Simon & Small, 1969; Craft & Simon, 1970; Hedge & Marsh,1975)。

在典型的视觉 Simon 效应中，研究者要求被试忽略空间位置，对色块进行左/右的按键反应，结果发现，当色块呈现位置与反应位置相同（相比于不同）时，个体的反应更快。除了将颜色作为相关刺激维度(Tsal & Lavie, 1993; Hedge & Marsh, 1975; Simon & Craft, 1972; Simon et al., 1970; Umiltà & Nicoletti, 1985)，研究者们还在几何图形判断（例如，判断该图形是矩形还是正方形）(Nicoletti & Umiltà 1989; Umiltà & Liotti, 1987)以及字母判断（例如，判断出现的字母是 H 还是 S）(Proctor & Lu, 1994)等任务中发现了 Simon 效应。

Lu & Proctor(1995)对相关研究进行了综述，主要基于以下两点原因，认为研究较为一致地指向 Simon 效应主要发生在反应选择阶段，并得到了后续研究者的广泛认可。首先，当刺激位置是决定反应的相关属性时，该效应通常会出现，而这种刺激反应相容性 (Stimulus Response Compatibility, SRC)被认为发生在反应选择阶段；其次，研究者从反应竞争角度出发来解释 Simon 效应，从而将其定位于反应选择阶段。具体而言，不相关的刺激位置属性生成了对应的反应编码，当相关刺激和非相关刺激的反应编码不对应时，两者就会产生竞争。除此之外，通过分析相关研究，我们还发现在大多数针对 Simon 效应的研究中，相关刺激维度均为非空间特征，例如颜色、形状和字母等。有研究者在界定 Simon 效应的定义时也提到了相关刺激维度为非空间特性(王力等, 2012)。这可能也是研究者将其定位于反应选择阶段，而少有关注刺激表征阶段的原因之一。然而，在我们的研究中，相关任务的实验材料是数字，相关任务是判断数字大小。数字具有空间特性已经得到了研究者的广泛认可，在进行数字大小比较任务时，数字可以自动激活并在心理数字线上产生空间表征(徐晓东 & 刘昌, 2012)。据此，对本研究中实验 1a 的解释，仅依赖于“经典的 Simon 效应发生在反应选择阶段”来推知“数字 SNARC 效应主要是在反应选择阶段受到干扰”是不充分的，这在一定程度上忽略了数字本身具有的空间特性以及复合刺激导致的整体优先表征。

另外，从以下三方面出发，有理由认为在实验 1a 中，数字加工的刺激表征阶段受到了干扰：

首先，如论文正文的问题提出部分所提，若将数字作为局部信息，箭头作为整体特征，要求被试进行数字大小比较任务，根据整体优先策略(Navon, 1977)，个体将优先对箭头方向进行表征，从而干扰到数字的空间表征。

其次，为了检验在整体-局部范式下，复合刺激中的整体箭头表征干扰得是刺激表征阶段还是反应选择阶段，我们以“小箭头组成的整体箭头”作为实验材料，要求被试进行局部的箭头方向判断任务。其实验逻辑是：当前研究较为一致地指向 Simon 效应发生在反应选择阶段，若整体箭头表征影响得是局部信息的刺激表征阶段，并且和本研究先前认为的一致，

对局部信息的反应选择是认知资源充分的（即反应选择阶段不受干扰），那么，以“小箭头组成的整体箭头”作为实验材料，要求被试判断整体箭头方向，结果会发现局部箭头的 Simon 效应；若整体箭头影响得是局部箭头判断的反应选择阶段，那么仅会表现出整体箭头的 Simon 效应，而局部箭头的 Simon 效应会消失。根据以上实验逻辑，我们开展了实验，结果发现局部箭头方向的 Simon 效应显著，而并未发现整体箭头方向的 Simon 效应，同时，整体箭头方向和局部箭头方向的交互作用显著，说明整体箭头对局部箭头判断有影响。该验证性实验结果不支持“在整体-局部范式下，复合刺激中的整体箭头表征干扰得主要是反应选择阶段”这一观点。**具体的实验内容如下【验证性实验】部分所示。**

最后，除了箭头方向整体优先表征造成数字表征受到干扰，验证性实验的实验结果启示我们箭头方向干扰数字空间表征的另外一个可能的重要原因是“箭头方向具有比数字更强的空间特性”。

综上所述，有理由认为在实验 1a 中，数字加工的刺激表征阶段受到了干扰。

除此之外，我们还发现以往研究大多只聚焦在一个认知阶段(Tlauka, 2002; Gervers et al., 2005), 少有研究同时关注两个认知阶段及其连续的认知过程。而基于对研究结果的分析，我们认为刺激表征阶段和反应选择阶段对数字 SNARC 效应的影响可能并不是完全独立的。在实验 1a 中，由于整体优先加工策略，左右箭头得到优先表征并激活了左右位置的反应编码，这与数字大小比较任务所要求的左右编码产生了竞争。然而，由于箭头方向干扰了数字在心理数字线上的空间表征，使其未能激活相应的反应编码，因此，即使要求被试进行数字大小判断任务，数字大小和反应手的交互作用仍然完全不显著，即未表现出数字 SNARC 效应，而箭头方向和反应手的交互作用极其显著，即表现出类 Simon 效应。而在实验 1b 中，上下箭头方向未对数字在水平方向心理数字线上的空间表征产生干扰，使其能够顺利激活相应的反应编码，从而产生数字 SNARC 效应。这启示我们刺激表征阶段和反应选择阶段可能并不是完全独立的两个阶段，而是相互联系的。刺激表征阶段的空间表征强度有可能会通过影响左右反应编码的激活强度来影响反应选择阶段，进而影响数字 SNARC 效应【见总讨论部分，1089 行-1105 行】。

【补充：验证性实验】

实验目的：检验在本研究的整体-局部范式下，复合刺激中的整体箭头干扰得是局部信息的刺激表征阶段还是反应选择阶段

实验逻辑/实验假设：以“小箭头组成的整体箭头”作为实验材料，要求被试判断局部的箭

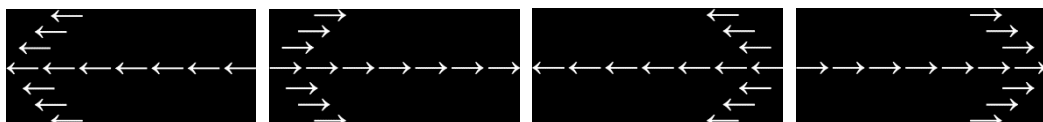
头方向。当前研究较为一致地指向 Simon 效应发生在反应选择阶段(Lu & Proctor, 1995; De Jong et al., 1994; Wang et al., 2014), 由此, 若整体箭头影响得是局部信息的刺激表征阶段, 反应选择阶段不受干扰, 那么, 会发现局部箭头的 Simon 效应; 若整体箭头影响得是局部箭头判断的反应选择阶段, 那么仅会表现出整体箭头的 Simon 效应, 而不会出现局部箭头的 Simon 效应。

被试: 在某大学招募到 30 名(女 20, 男 10)在校大学生自愿参与实验。年龄范围为 19~28 岁, 平均年龄 21.33($SD = 2.17$)岁。所有被试视力或矫正视力均正常, 无色盲色弱, 无任何精神疾病史, 均为右利手, 均为汉族人, 在此之前均未参加过类似实验, 实验结束后获得相应报酬。

实验设计: 采用 2(整体箭头方向: 左、右) \times 2(局部箭头方向: 左、右) \times 2(反应手: 左手、右手) 的被试内实验设计。因变量为正确率和反应时。

实验材料:

实验材料为由小箭头构成的大箭头, 使用 PhotoshopCS6 软件编制实验材料, 箭头呈现在屏幕中央。被试坐在距离计算机 70cm 处, 视角大小为 $7.7^\circ \times 3.7^\circ$; 屏幕分辨率为 1024 \times 768 像素, 屏幕底色为黑色, 刷新频率 60Hz。实验材料如下图所示(从左到右依次为由左箭头组成的左箭头、由右箭头组成的左箭头、由左箭头组成的右箭头和由右箭头组成的右箭头)。



实验程序:

采用 E-prime2.0 软件编程。实验前要求被试将左手食指放在键盘的“F”键上, 右手食指放在“J”键上。实验程序为: 屏幕中央先呈现注视点“+”500ms, 接着呈现由小箭头构成的整体箭头, 被试需判断局部箭头方向并做出相应的按键反应, 随后出现 1500ms 的空屏, 继而进入下一个 trial。实验包含两个 block, 在 block1 中, 若小箭头向左, 则按“F”键, 若小箭头向右, 则按“J”键; 在 block2 中, 若小箭头向左, 则按“J”键, 若小箭头向右, 则按“F”键。两个 block 的先后顺序在被试间平衡。每个 block 均包括 4 个练习试次和 48 个正式试次, 在两个 block 之间被试自行选择休息时间, 休息结束后按“P”键继续实验。整个实验大约 4min。

结果与分析:

剔除两名作答不认真的被试, 剩余有效被试 28 名。如下表 1 所示, 剩余被试在各实验

水平下的正确率均高于 97%。错误率在 0 到 5.21% 之间，平均错误率为 1.71% ($SD = 0.02$)。

删除被试未按指导语准确作答的试次，删除反应时大于 1000ms 的试次，删除反应时在平均数上下 3 个标准差之外的试次，共删除 4.84% 的数据，剩余试次的反应时如下表 2 所示。

表 1 各水平下的正确率 ($M \pm SD$; %)

反应手	整体左箭头		整体右箭头	
	局部左箭头	局部右箭头	局部左箭头	局部右箭头
左手	98.21 \pm 3.48	97.32 \pm 5.10	99.11 \pm 2.62	97.32 \pm 4.57
右手	97.92 \pm 4.32	98.51 \pm 3.25	98.21 \pm 3.48	99.70 \pm 1.57

表 2 各水平下的反应时 ($M \pm SD$; ms)

反应手	整体左箭头		整体右箭头	
	局部左箭头	局部右箭头	局部左箭头	局部右箭头
左手	453 \pm 72	550 \pm 91	462 \pm 79	537 \pm 87
右手	508 \pm 84	465 \pm 93	539 \pm 80	441 \pm 80

对剩余试次的反应时进行三因素重复测量方差分析，结果显示，整体箭头方向的主效应不显著， $F(1, 27) = 0.012, p = 0.913, \eta_p^2 = 4.469 \times 10^{-4}$ ；局部箭头方向的主效应不显著， $F(1, 27) = 2.236, p = 0.146, \eta_p^2 = 0.076$ 。反应手的主效应显著， $F(1, 27) = 4.274, p = 0.048, \eta_p^2 = 0.137$ ，右手(488 \pm 91)反应显著快于左手(501 \pm 92)。整体箭头方向和反应手的交互作用不显著， $F(1, 27) = 0.381, p = 0.542, \eta_p^2 = 0.014$ 。

局部箭头方向和反应手的交互作用显著， $F(1, 27) = 30.076, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.527$ 。进一步的简单效应分析结果显示，左手对局部左箭头(458 \pm 75)的反应显著快于对局部右箭头(543 \pm 88)的反应， $F(1, 27) = 31.543, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.539$ ；右手对局部右箭头(453 \pm 87)的反应显著快于对局部左箭头(524 \pm 83)的反应， $F(1, 27) = 22.357, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.453$ 。

整体箭头方向和局部箭头方向的交互作用显著， $F(1, 27) = 9.405, p = 0.005, \eta_p^2 = 0.258$ 。进一步的简单效应分析结果显示，当整体箭头方向向左时，被试对局部左箭头(481 \pm 82)的反应显著快于局部右箭头(508 \pm 100)；当整体箭头方向向右时，被试对局部左箭头(501 \pm 88)和局部右箭头(489 \pm 96)的反应时没有显著差异。这说明整体左箭头加速了对局部左箭头的判断，或者说，整体左箭头干扰了对局部右箭头方向的判断，体现了整体箭头刺激对局部箭头判断的影响，支持本研究整体加工影响局部加工的前提假设。整体箭头方向、局部箭头方向和反应手之间的三项交互作用显著， $F(1, 27) = 6.290, p = 0.018, \eta_p^2 = 0.189$ 。进一步的简单

效应分析结果显示,当被试用左手反应时,整体箭头方向和局部箭头方向的交互作用不显著, $F(1, 27) = 2.586, p = 0.119, \eta_p^2 = 0.087$; 当被试用右手反应时,整体箭头方向和局部箭头方向的交互作用显著, $F(1, 27) = 15.046, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.358$, 这说明整体箭头刺激对局部箭头判断的影响主要体现在被试使用右手反应时。

参考文献:

- Simon, J. R. (1967). Choice reaction time as a function of auditory SR correspondence, age and sex. *Ergonomics*, *10*(6), 659-664.
- Proctor, R. W., & Lu, C. H. (1994). Referential coding and attention-shifting accounts of the Simon effect. *Psychological research*, *56*(3), 185-195.
- Tlauka, M. (2002). The processing of numbers in choice-reaction tasks. *Australian Journal of Psychology*, *54*, 94-98.
- Gevers, W., Caessens, B., & Fias, W. (2005). Towards a common processing architecture underlying Simon and SNARC effects. *European Journal of Cognitive Psychology*, *17*(5), 659-673.
- Lu, C. H., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic bulletin & review*, *2*, 174-207.
- Tsal, Y., & Lavie, N. (1993). Location dominance in attending to color and shape. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *19*, 131-139
- Simon, J. R., & Craft, J. L. (1972). Reaction time in an oddity task: Responding to the "different" element of a three-light display. *Journal of Experimental Psychology*, *92*(3), 405.
- Simon, J. R., Small, A. M., Ziglar, R. A., & Craft, J. L. (1970). Response interference in an information processing task: Sensory versus perceptual factors. *Journal of Experimental Psychology*, *85*(2), 311.
- Umiltà C., & Nicoletti, R. (2016). Attention and coding effects in S-R compatibility due to irrelevant spatial cues. In *Attention and performance XI* (pp. 457-471). Routledge.
- Umiltà C., & Liotti, M. (1987). Egocentric and relative spatial codes in SR compatibility. *Psychological research*, *49*(2), 81-90.
- Nicoletti, R., & Umiltà C. (1989). Splitting visual space with attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*(1), 164.
- Simon, J. R. (1968). Effect of ear stimulated on reaction time and movement time. *Journal of Experimental Psychology*, *78*, 344-346.
- Simon, J. R., E Small, A. M., Jr. (1969). Processing auditory information: Interference from an irrelevant cue.

Journal of Applied Psychology, 53, 433-435.

Craft, J. L., & Simon, J. R. (1970). Processing symbolic information from a visual display: Interference from an irrelevant directional cue. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 415-420.

Hedge, A., & Marsh, N. W. A. (1975). The effect of irrelevant spatial correspondences on two-choice response-time. *Act Psychologica*, 39, 427-439.

Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9(3), 353-383.

王力, 张栎文, 张明亮 & 陈安涛. (2012). 视觉运动 Simon 效应和认知 Simon 效应的影响因素及机制. *心理科学进展*, 20(5), 662-671.

徐晓东 & 刘昌. (2006). 数字的空间特性. *心理科学进展*, 14(6), 851-858.

意见 3: 根据前面的审稿意见，作者改进了实验，在实验 1a 中引入的双向箭头，控制平衡了左右方向，作者想说明双向箭头没有方向信息，但这也是有点小问题的。横线没有方向信息，但双向箭头同时存在左右的方向信息。

回应:

非常感谢审稿专家的意见。我们认同审稿专家所说“双向箭头同时存在左右的方向信息”。当实验刺激为双向箭头时，箭头方向仍然可能引起被试的注意转移（从而干扰数字加工的刺激表征阶段），但转移方向是随机的，因此，并不会和左右反应手形成类 Simon 效应，从而可以有效排除 Simon 效应的解释。若箭头方向为双向箭头时，数字 SNARC 效应仍然消失，说明干扰来自刺激表征阶段而非反应选择阶段。除此之外，上一条回应详细阐述了为什么有理由认为在实验 1a 中，箭头方向会影响数字加工的刺激表征阶段。

.....

审稿人 3 意见:

作者对上一轮的意见进行了认真的修改，稿件质量较前一稿有了明显的提升。还有几个问题请作者思考。

意见 1: 如何解释实验 1a 中两个交互作用的结果，如何解释实验 1b 中箭头方向与反应手的交互作用？希望作者在各自实验的讨论或者在总讨论中加以解释。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。我们分别在各自实验的讨论以及总讨论部分增加了对实验 1a 中两个交互作用以及实验 1b 中箭头方向和反应手交互作用的讨论，**具体内容如下：**

在实验 1a 中，箭头方向和反应手的交互作用显著【见总讨论部分，1089 行-1105 行】：

不管是基于视觉刺激和听觉刺激，研究者们均发现当刺激位置和刺激反应相对应（相比于不对应）时反应更快，并将其命名为 Simon 效应(Simon, 1968; Simon & Small, 1969; Craft & Simon, 1970; Hedge & Marsh,1975)。由于箭头可以传递空间位置信息，左箭头指向左方位、右箭头指向右方位，因此，左手对左箭头反应更快，而右手对右箭头反应更快（在双手不交叉的情况下），表现为类 simon 效应(Luo & Proctor, 2021)。维度重叠理论认为 Simon 效应的产生是由刺激位置属性和反应编码之间的映射关系引起的，刺激位置自动激活了同侧的反应(Kornblum et al., 1990)。在实验 1a 中，由于整体优先加工策略，左右箭头得到优先表征并激活了左右位置的反应编码，这与数字大小比较任务所要求的左右编码产生了竞争。然而，由于箭头方向干扰了数字在心理数字线上的空间表征，使其未能激活相应的反应编码，因此，即使要求被试进行数字大小判断任务，有充分的数据证据支持数字 SNARC 效应未出现，而有充分的数据证据支持箭头方向和反应手的交互效应，即表现出类 Simon 效应。而在实验 1b 中，上下箭头方向未对数字在水平方向心理数字线上的空间表征产生干扰，使其能够顺利激活相应的反应编码，从而产生数字 SNARC 效应。这启示我们刺激表征阶段和反应选择阶段可能并不是完全独立的两个阶段，而是相互联系的。刺激表征阶段的空间表征强度有可能会通过影响激活反应编码的强度来影响反应选择阶段，两者的相互影响可能亦是数字 SNARC 效应发生的原因之一。

在实验 1a 中，数字大小和箭头方向之间的交互作用显著【见讨论 1a 部分，906 行-908 行】：

数字大小和箭头方向之间的交互作用显著，这说明左箭头在一定程度上加速了被试对小数的判断，或者说，左箭头在一定程度上干扰了被试对大数的判断。这体现了整体信息加工和局部信息加工之间的交互，支持本研究中整体加工影响局部加工的前提假设。

在实验 1b 中，箭头方向和反应手的交互作用显著【见讨论 1b 部分，977 行-980 行】：

实验 1a 中“箭头方向和反应手的交互作用”被认为是类 Simon 效应的结果指标。与之不同，对实验 1b 中“箭头方向和反应手的交互作用”进行简单效应分析后发现，交互作用仅体现在当实验刺激为下箭头时，右手的反应显著快于左手，这说明被试的右利手优势主要发生在实验刺激为下箭头时。

参考文献：

Simon, J. R. (1968). Effect of ear stimulated on reaction time and movement time. *Journal of Experimental*

Psychology, 78, 344-346.

Simon, J. R., E Small, A. M., Jr. (1969). Processing auditory information: Interference from an irrelevant cue.

Journal of Applied Psychology, 53, 433-435.

Craft, J. L., & Simon, J. R. (1970). Processing symbolic information from a visual display: Interference from an

irrelevant directional cue. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 415-420.

Hedge, A., & Marsh, N. W. A. (1975). The effect of irrelevant spatial correspondences on two-choice

response-time. *Act Psychologica*, 39, 427-439.

Luo, C., & Proctor, R. W. (2021). Word-and arrow-based Simon effects emerge for eccentrically presented location

words and arrows. *Psychological Research*, 85, 816-827.

Lu, C. H., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of

the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic bulletin & review*, 2, 174-207.

意见 2:实验 1a 中未出现数字 SNARC 效应的主要依据是数字大小和反应手的交互作用不显著。建议作者对方差分析不显著的结果做一下贝叶斯因子分析,以说明对零假设的支持程度。同样地,实验 2 中未出现数字 SNARC 效应的主要依据是什么?建议作者也做一下相应的贝叶斯因子分析。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。贝叶斯因子是贝叶斯统计中用来进行模型比较和假设检验的重要方法,贝叶斯因子分析结果可以同时显示对零假设 H_0 和备择假设 H_1 的支持程度,从而为心理学研究提供更加丰富的结果信息(王允宏等, 2023; 胡传鹏等, 2018; 吴凡等, 2018)。本研究在传统假设检验的基础上,使用 JASP 软件进一步进行贝叶斯方差分析,以说明对零假设和备择假设的支持程度【贝叶斯因子分析结果分别见各实验的结果与分析部分 887 行-898 行、967 行-973 行以及 1036 行-1045 行】。

进行贝叶斯因子分析的主要发现如下:对数字大小和箭头方向的交互作用进行贝叶斯因子分析后发现,实验 1a 的数据支持备择假设(即数字大小和左右箭头方向有交互作用),而实验 1b 的数据支持虚无假设(即数字大小和上下箭头方向没有交互作用),该结果也在一定程度上支持左右箭头方向对数字加工产生影响,而上下箭头方向未对数字加工产生影响。

参考文献:

王允宏, Bergh, D., Aust, F., Ly, A., Wagenmakers, E.-J., & 胡传鹏. (2023). 贝叶斯方差分析在 JASP 中的实现.

心理技术与应用, 11(9), 528 - 541.

吴凡, 顾全, 施壮华, 高在峰 & 沈模卫. (2018). 跳出传统假设检验方法的陷阱——贝叶斯因子在心理学研究领域的应用. *应用心理学*, 24(3), 195 - 202.

胡传鹏, 孔祥祯, Wagenmakers, E.-J., Ly, A., & 彭凯平. (2018). 贝叶斯因子及其在 JASP 中的实现. *心理科学进展*, 26(6), 951-965.

意见 3: 文中简单效应的描述与图 5 和图 7 中显著差异的标注不一致, 不易于理解, 可以考虑将图例和横坐标上的变量交换一下。统计图中最好给出每个相应的误差线, 星号的含义等细节信息。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。我们重新进行了作图, 并标注了相应的误差线和星号含义等。

见图 2【872 行】、图 3【884 行】、图 5【964 行】和图 7【1033 行】。

第三轮

编委意见:

(1) “5 结论”再扩充一些。(2)最好给总讨论加上几个标题。(3)统计分析中, 图表中已有的描述统计值不用在文中重复。

结合审稿人的意见以及作者的修改情况, 同意修改后发表。

回应:

感谢各位审稿专家和编委专家对本研究的仔细审阅和宝贵建议。

回应 1:

我们对论文的结论部分进行了扩充, 最新版论文的结论部分如下, 请专家检查和指正:

“本研究采用整体-局部范式构建了一种复合刺激——由数字构成的箭头, 并通过 3 个实验探究了数字 SNARC 效应的发生阶段, 主要得到如下结论: (1) 干扰数字加工的刺激表征阶段阻碍数字 SNARC 效应产生, 且只有干扰发生在水平方向 (而非垂直方向) 上才起作用; (2) 干扰反应选择阶段阻碍数字 SNARC 效应的产生, 且认知资源消耗假设、刺激位置属性激活和反应编码竞争假设是反应选择阶段影响数字 SNARC 效应发生的两个可能机制。”

回应 2:

我们认同编委专家的建议, 给总讨论部分加上几个小标题可以使讨论部分的结构更加清晰, 以增加论文的可读性。

我们首先在总讨论的第一段对研究进行总体概述，指出研究结果总体上支持数字 SNARC 效应的双阶段加工模型，接着分别论述了“5.1 水平方向干扰刺激表征阻碍数字 SNARC 效应发生”、“5.2 干扰反应选择阶段阻碍数字 SNARC 效应发生”、“5.3 数字 SNARC 效应同时存在于刺激表征阶段和反应选择阶段”以及“5.4 不足与展望”。

另外，为了保证各讨论部分的内容一致性和完整性，我们将在上一版论文稿总讨论部分倒数第二段中对“整体信息加工和局部信息加工之间关系”的讨论放在了“2.3 讨论 1a”部分的最后一段。

回应 3:

感谢编委专家的建议。

由于论文的表 2（实验 1a）、表 4（实验 1b）和表 6（实验 2）已经分别显示了各个实验水平下的反应时数据，因此，在文中不再重复呈现反应时的描述统计值。请专家检查和指正。

其余修改如下:

由于实验 1b 与实验 1a 的实验程序完全一致，因此，将“3.1.4 实验程序”部分的内容改为：

“采用 E-prime2.0 软件编程。除了呈现的实验材料不同之外，实验任务和实验程序均与实验 1a 一致。整个实验大约 16min。”

主编意见:

本论文借助整体局部范式，对数字 SNARC 效应（数字与空间位置之间的关联对反应时的影响）的发生阶段进行了考察。本论文的研究选题具有一定新颖性，研究范式选用恰当，获得的研究结论可信。