

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：纯小数加工的心理机制：选择通达还是平行通达？

作者：孙悦亮 郑伟意 何先友

第一轮

审稿人 1 意见：《纯小数加工的心理机制：选择通达还是平行通达》一文探讨了纯小数的表征和加工机制，得出了一些有价值的结论，文稿引文较为翔实，采用目标觉察范式以及三种类型的实验材料展开研究较为合理，但是该研究也存在一些问题。

意见 1：该研究是通过探讨被试对纯小数的反应是否存在 SNARC 效应来研究纯小数的心理表达机制，这具有合理性，但是文中在不同的地方提到心理数字线（如 2.3 结果与分析，... 这一结果表明，被试的心理表征中存在一条表征纯小数数量值的心理数字线...）。“心理数字线”是关于数字表征的理论假设，而 SNARC 效应是一种数字刺激的反应特点，Dehaene 基于数字研究的系类成果提出了心理数字线的假设，SNARC 效应可能会随着刺激材料的变化出现不同的反应特点，而心理数字线则并不是在不同的实验中出现“新的”或者“旧的”之分，因为它只是人们理解数字表征的形象性的假设。文中可能存在概念的混淆使用。

回应：心理数字线确实只是人们理解数字表征的形象性的假设，然而，心理数字线上数字的空间表征不仅具有自动性，还似乎具有动态性。根据当前任务的需求，心理数字线可以进行动态调整，Dehaene(1993)采用数字奇偶判断研究了加工阿拉伯数字 0-9 所产生的空间效应，他把数字分为 0-5 和 4-9 两种范围，结果发现如果把数字 4 和 5 放在 0-5 系列中，右手反应要比左手反应快，但是当放到 4-9 的系列中时出现相反的情况。这说明心理数字线可以按照当前任务的具体要求进行动态调整。这种动态性还表现在不仅个位正整数可以被表征在心理线上，多位数甚至负数同样可以被心理数字线所表征（Fischer, 2005）。因此，数字的空间表征可能存在着二维空间的心理表征图，而不是仅有一条心理数字线；或者存在两条或更多的不同的心理数字线，根据任务要求的不同进行灵活的调整 and 选择运用。

本研究在探究纯小数的加工表征与空间的关联上使用了这一概念，心理数字线更加形象地为我们展示了纯小数存在的空间特性，使人们相信纯小数和空间关联的存在。根据审稿人的意见,我们调整了相应部分的表述,删除了论文中关于心理数字线“新的”或者“旧的”的表述。

意见 2:文中 4.1 实验目的“...纯小数的加工对小数本身及对应的自然数激活强度如何? ...”, 该问题在 4.3 结果与分析中并未提及, 而在 6 结论中有所提及 (...并且对应自然数的激活强度与纯小数本身一样大), 另外, 根据该研究的实验设计并未有充分的依据可以判断出激活强度是否一样!

回应:根据审稿人的意见,我们在 4.3 结果与分析中补充了关于“纯小数的加工对小数本身及对应的自然数激活强度如何”的论述(用红色字体标明)。另外, 虽然本研究的实验设计并未有充分的依据可以判断出激活强度是否一样, 但是, 按照实验的逻辑, 我们是可以判断出激活程度是一样的, 因为, 如果不一样的话, 将会出现 SNARC 效应, 比如 0.17 在左手边反应快(小数本身激活强度比对应的自然数激活强度大), 或者 0.17 在右手边反应快(小数对应的右边自然数激活强度比小数本身激活强度大)。

意见 3:文中表述有个别地方不严谨, “4.3 结果与分析 ...这个冲突导致了心里不能形成一条清晰的心理数字线...”, 5 结论 第一部分最后一行 同样; 图 1 不够规整; 参考文献个别地方顺序不对(Siegler...; Sashark...), 文中英文和数字部分, 须用 Times New Roman 格式。

回应:已根据审稿人的意见进行修改和规范。

意见 4:文中结果部分可以的话建议以图表的形式呈现, 这样更直观。

回应:已根据审稿人的意见将结果部分以图表的形式呈现。

审稿人 2 意见:作者通过三项相互联系的实验对纯小数加工的心理机制问题进行了逐步深入的考察, 并对所取得的有关发现结合现有观点做出较深入的分析。文章逻辑思路清楚, 实验设计严密。建议作者对文章在“内容和格式”两方面做出进一步完善。

意见 1:摘要部分(包括英文摘要), 应对被试信息进行描述; 正文部分, 建议将“SNARC 效应”译为“空间-数字反应编码联合效应”。

回应:根据审稿人的意见进行修改并用红色字体标志。

意见 2:为便于读者阅读, 建议每个实验添加标题。

回应：根据审稿人建议，每个实验增加了标题：实验 1 纯小数引发的注意 SNARC 效应研究；实验 2 表达方式不同但数值相同的纯小数引发的注意 SNARC 效应研究；实验 3 纯小数加工对小数本身及对应的自然数激活强度的比较。

意见 3：实验中自变量提到了线索类型、探测刺激、SOA、位置、数值、数量大小和延迟等，建议对自变量的表达尽可能统一。

回应：根据审稿人的意见，修改后的三个自变量分别为：探测刺激位置：左和右；线索类型：一是数字类型（实验 2），二是数值大小（实验 1 和实验 3）；SOA（延迟）：100ms、250ms、500ms 和 750ms。

意见 4：结果部分，“反应时低于 100ms 或长于 1000ms 的反应被认为是做了错误的反应”的依据是什么？

回应：在实验中，被试可能会出现提前反应的现象，为了避免提早发生反应，在实验中，线索-目标 SOA 在 trials 中是随机变化的，这样避免了被试行为习惯带来的提早反应，因此，低于 100ms 我们认为是提前反应了；同时，被试有可能可能会出现注意力分散，当长于 1000ms 我们认为是注意力不集中错过了刺激，事实上，实验 1 的平均反应时间只有 379ms，也即说明超过 1000ms 的时间是被试注意分散了。采用这一做法的依据是参照了 Dodd 等（2008）的目标觉察范式。

意见 5：为了使稿件更加完善，便于使读者了解该课题以后的研究方向，建议作者增加该研究的不足与未来研究部分。

回应：根据审稿人的意见，我们在讨论部分增加了“5.3 本研究的不足与未来研究”

意见 6：关于文章格式需要进行修改和规范：（1）希腊字母如“ η ”等，不需要倾斜；英文字母“*p*”需要倾斜，但字母后的数字不需要倾斜（如 2.3 结果部分）。（2）统计值小数点后保留两位有效数字（显著性 *p* 可保留 3 位，有特殊要求的可保留多位）。（3）文中数字和英文使用 Times New Roman 字体。（4）正文中的参考文献使用还有不规范之处。

回应：已根据审稿人的意见进行修改和规范。

审稿人 3 意见:这项实验研究是针对 Sashank 等人 (2013)的研究结论(纯小数也存在 SNARC 效应,同时还发现纯小数的大小表征存在语义干扰效应 (semantic interference effect),即证明了平行通达假设,而不是选择通达假设),借用 Dodd 等人 (2008)的目标觉察范式所做的 3 个实验研究。其研究结论是:“纯小数的加工采取的是平行通达的方式,纯小数的加工会同时激活纯小数本身和对应的自然数,并且对应自然数的激活强度与纯小数本身一样大;纯小数的加工可以引起空间注意的转移,即产生注意的 SNARC 效应,纯小数空间注意的转移方向同时受到纯小数本身以及对应的自然数的影响”。显然,该结论与 Sashank 等人 (2013)的研究结论基本一致。由此产生如下令人困惑的问题:

意见 1: (1)既然该实验结论与 Sashank 等人 (2013)的研究结论基本一致,为何在自检报告中说:“我们认为,他们(指 Sashank 等人)对纯小数的加工和表征的结论无法得到确定的、有说服力的答案,还需进一步研究证据”呢?是怀疑 Sashank 等人的研究结论还是否定他们的结论呢?(2)如果既不怀疑也不否定,为何说人家的研究结论“无法得到确定的、有说服力的答案”呢?

回应:对于上述审稿人提出的问题(1)和问题(2),我们原来的思考是这样的:已有研究认为,(1)任务要求可能影响数字表征,特定的任务要求可能诱导人们产生不同的表征,人们可能根据任务要求产生数字表征(Bachtold, et al., 1998; Fischer & Rottmann, 2005; Hung, Tzeng, & Wu, 2008; Lindemann, Abolafia, Pratt, & Bekkering, 2008; Shaki & Fischer, 2008; Shaki & Petrusic, 2005);(2)要探究不同符号数字以及非数字信息的空间表征机制,自动加工范式有其独特优势,其可以让线索信息的加工不会受到任务要求和有意反应策略的影响(Cohen, 2008a; Cohen, et al., 2008b; Tzelgov & Ganor-Stern, 2004);(3)自动化加工可能会给探究表征机制提供一种更好的途径(Ganor-Stern & Tzelgov, 2008; Ganor-Stern, Tzelgov, & Ellenbogen, 2007);(4)Tzelgov 等人(2004)认为,当数字被自动加工而且被试按要求无意识完成实验任务时,可以更好地对心理表征进行探测,因此,为了解数字心理表征的基本特征,应该使用把有意策略最小化的实验范式。由于 Sashank 等人 (2013)的研究使用的实验任务属于有意控制任务,被试的反应可能受到自身的有意反应策略的影响,而且,大小判断等二分类别判断可能产生言语编码,进而影响了数字自动表征的结果。因此,我们认为,他们对纯小数的加工和表征的结论无法得到确定的、有说服力的答案,还需进一步研究证据。希望这一解释能澄清审稿人的疑惑。

意见 2: 既然“本研究结果表明, 纯小数的加工采取了平行通达的方式, 引发了注意的 SNARC 效应”, 即与 Sashank 等人 (2013) 的研究结论基本一致, 只是换了实验范式。为何在自检报告中说“本研究拓展了数字的加工与认知研究领域”呢?

回应: 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。然而先前对数字加工和表征的研究只是关注了自然数(整数、正数和负数), 特别是对十以内的整数的研究, 尚未涉及小数。直至 2013 年, Sashank 等人采用大小比较任务首次对纯小数的加工和表征与空间表征的关系进行了研究。本研究借用 Dodd 等人(2008)的目标觉察范式对纯小数的加工和表征与空间表征的关系进行了研究。结果表明, 纯小数的加工采取了平行通达的方式, 引发了注意的 SNARC 效应。

作者接受审稿人的意见, 关于“拓展了数字加工与认知研究领域”的说法不很妥当, 现修改为: 本研究为纯小数的加工与表征机制提供新的证据。

意见 3: 建议作者对以下几点引起重视: (1) 中文摘要中没有表述出作者要考察的主要问题, 即没有总的研究目的。(2) 第 6 页第 2 行的“量级差异”指的是数量差异还是位数差异呢? (3) “平行通达假说”中的“平行”概念与纯小数的数位成分平行加工中的“平行”概念是一致的呢, 还是不一致的呢? (4) 实验 1 一共有多少个 trials 呢? 实验时间是多长呢? (5) 实验 1 中, 如果持续时间是 750ms, 而被试的实际反应时间却是在 500ms 之内, 这个实验结果应该算做 750ms 内的反应呢, 还是算做 500ms 之内的反应呢?

回应: (1) 已根据意见进行修改和补充并用红色字体标志。(2) “量级差异”指的是数量差异。

(3) “平行通达假说”中的“平行”概念与纯小数的数位成分平行加工中的“平行”概念是一致的。参考文献有: Hinrichs, Berie & Mosell, 1982; Poltrock & Schwartz, 1984; Wood, Mahr, & Nuerk, 2005; Korvorst & Damian, 2008。(4) 实验 1 一共有 $4 \times 80 = 320$ 个 trials, 实验时间为 12-15 分钟。由于中间(每 80 个 trials 后)有自由休息时间, 因此每个被试的实验时间不同。(5) 由于本实验研究的因变量为目标觉察的反应时, 因此我们探测的是 SOA 延迟之后的反应时间。而持续时间分别为 100ms、250ms、500ms 或 750ms 的可变延迟是自变量。

意见 4: 以下问题值得商榷: 实验 1 可能得不出任何肯定的结论。因为呈现的数字线索与任务无关, 实验又要求被试忽略数字线索。所以, 被试可能采取不同的表征策略, 如: 有选择性的忽略 0 和小数点, 只关注对应的自然数。实验 1 出现的 SNACR 的效应, 可能有以下几个原因 (1) 只激活了纯小数本身; (2) 只激活了小数点右侧的自然数; (3) 同时激活纯

小数本身和小数点右侧的自然数。实验 1 不能确定被试对小数的数量是否进行了加工。因为，产生的 SNACR 效应可能是由于被试只加工了对应的自然数。

回应：非常感谢审稿人提出这个问题进行讨论。诚如审稿人提出的，我们也意识到实验 1 产生 SNARC 效应确实有几种可能的原因，所以在结果与分析中我们有这段论述：

据此，我们还不能认为，纯小数的加工可以自动地引起基于纯小数真实数量大小的空间注意的转移。因为按照 Sashank 在 2013 年提出的平行通达假设，纯小数在大小加工时会同时激活纯小数点右边的自然数，在实验 1 的材料中，每一个纯小数对于纯小数本身的数量大小和对于对应自然数大小判断是一致的（比如 0.27 对应 0.93 判断为小，27 对应 93 判断也为小），因此我们不能确定此时的空间注意转移是由纯小数本身的数量大小还是同时激活的自然数大小引起的。以往研究结果表明，自然数大小可以引起空间注意的转移(Fischer, M. H., Castel, A. D., Dodd, M. D., & Pratt, J. 2003;Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. J. 2004;刘超,买晓琴,傅小兰.2004;Casarotti, M., Michielin, M., Zorzi, M., & Umiltà, C. 2007)，因此，我们要解决这一问题，就需要先确定纯小数的大小加工是否激活了纯小数点右边的自然数。所以，我们接着设计了实验 2 继续探讨该问题。

意见 5：以下问题值得商榷：实验 2 可以得出“纯小数表征的过程中，激活了小数对应的自然数”这个结论，但得不出“对纯小数进行表征时也激活了纯小数”这个结论。这是由于实验指导语要求被试忽略呈现的数字线索，而且数字线索与任务无关，在电脑屏幕上呈现纯小数，被试有可能只关注到了小数点右侧的整数，所以不能确定被试加工了纯小数。

回应：感谢审稿人提出的逻辑缜密的问题！与前一个问题一样，我们也有同样的思考。为排除这一可能，我们设计了实验 3。同时，我们在讨论部分 5.1 对这个问题也进行了论述：

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

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

希望以上回答能讲清楚本研究 3 个实验的逻辑，并能澄清审稿人的疑惑。

第二轮

审稿人 1 意见：该文稿经过细致的修改，回答了审稿人提出的各项问题，除了个别细节存在一些问题，基本上达到了发表的水平。个别细节中的问题：（1）结果部分“ η ”通常为斜体，且文中 3.3 结果与分析的第二段有个地方“ η ”格式录入错误；（2）文中数字建议统一改为 Times New Roman 体；（3）文中段落格式不统一（如 3.2.1）。

回应：已根据审稿人的意见进行修改和规范。

审稿人 2 意见：作者已针对审稿人所提意见对稿件进行了细致修改，稿件质量有了明显提升。不过稿件内图 2（P17）和图 3（P19）的横坐标探测刺激位置为类别变量（左、右），不清楚作者为什么采用线性图来呈现交互作用。建议作者予以完善。

回应：我们根据审稿人的建议，对原来图 2 和图 3 进行修改和完善：采用柱状图来呈现交互作用，从而达到更加直观呈现研究结果。

审稿人 3 意见：该研究的意义是换了一种“有意策略最小化的实验范式”。请问作者，采用这种“新的”实验范式所得出的实验结论与 Sashank 等(2013)的实验结论有何本质区别或根本不同。如果没有本质区别，建议作者变换口气修改本文的问题提出和研究目的，以及对 Sashank 等(2013)实验研究的评价。

回应：我们根据审稿人的建议，对本文的问题提出和研究目的以及对 Sashank 等(2013)实验研究的评价进行了修改如下：

直至 2013 年，Sashank 等人采用大小比较任务首次对纯小数的加工与空间表征的关系进行了研究，该研究的意义在于：首先，Sashank 等(2013)在综述先前自然数的表征和加工研究成果基础上，从纯小数的语义和语法关系角度论述了纯小数表征和加工的选择通达假说（selective access hypothesis）和平行通达假说（parallel access hypothesis）。选择通达假设认为，纯小数的加工与表征只激活了一个正确的指示物（referent），并且这个指示物就是纯小数本身。与之相反，平行通达假设认为，纯小数的加工与表征同时激活了正确的和不正确的指示物，即不仅激活了纯小数本身，同时还激活了小数点右边的自然数。平行通达假说支持语义干扰效应，即当纯小数的加工与表征同时激活了正确的和不正确的指示物时会产生冲突的判断，导致反应时变慢，如比较 0.2 和 0.87 会相对较快，因为 0.2 小于 0.87，2 小于 87，而 0.27 和 0.9 的判断会更慢，因为 0.27 小于 0.9，而 27 大于 9。其次，Sashank 等 (2013) 的研究结果发现，纯小数的大小表征存在语义干扰效应（semantic interference effect），语义干扰效应的发现证明了平行通达假设，而不是选择通达假设；同时，纯小数也存在 SNARC 效应。

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

已有研究认为，任务要求可能影响数字表征，特定的任务要求可能诱导被试产生不同的表征(Bachtold, Baumuller & Brugger , 1998; Fischer & Rottmann, 2005; Hung, Tzeng, & Wu, 2008; Lindemann, Abolafia, Pratt & Bekkering, 2008; Shaki & Fischer, 2008; Shaki & Petrusic, 2005)。要探究不同符号数字以及非数字信息的空间表征机制，自动加工范式有其独特优势，这可以使线索信息的加工不会受到任务要求和有意反应策略的影响(Cohen, 2008a; Cohen, Henik & Rubinsten, 2008b; Tzelgov & Ganor-Stern, 2004)。自动化加工可以给探究表征机制问题提供一种更好的途径(Ganor-Stern & Tzelgov, 2008; Ganor-Stern, Tzelgov, & Ellenbogen,

2007)。Tzelgov 等(2004)认为, 当数字被自动加工而且被试按要求无意识完成实验任务时, 可以更好地对心理表征进行探测, 因此, 为了解数字心理表征的基本特征, 应该使用把有意策略最小化的实验范式。

尽管 Sashank 等(2013)对纯小数的加工和表征的研究取得了意义重大的结论, 但由于 Sashank 等(2013)的研究使用的实验任务属于有意控制任务, 被试的反应可能受到自身的有意反应策略的影响, 而且, 大小判断等二分类别判断可能产生言语编码, 进而影响了数字自动表征的结果。因此, 我们认为, 使用有意策略最小化的实验范式可以更好的探究纯小数的加工及其与空间表征的联系, 研究结论将为纯小数的加工与表征机制提供新的研究证据。

希望以上修改能符合审稿人的要求, 再次感谢审稿人提出的富有价值的修改意见!

第三轮

审稿人 3 意见: 作者采纳了审稿人的建议, 对问题提出和研究目的进行了认真的修改。在正确评价前人研究的基础上, 作者采用策略性更小的实验范式进行了实验研究, 得出了与前人研究基本一致的研究结论。本项研究属于变换实验范式的深入实验研究, 有一定研究价值和新意。建议将“综合讨论”改为“讨论”; 将结论做适当修改, 体现出采用策略性更小的实验范式得出了与前人研究基本一致的结论, 并点出不一致的地方。

回应: 我们根据审稿人的建议, 将“综合讨论”改为“讨论”; 将结论进行了适当修改。

结论修改如下:

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