

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：数量感知分组化策略的认知机制及神经基础

作者：潘运、杨环瑜、朱俊、贾良智

第一轮

审稿人意见：

该研究试图全面的考察数量感知中分组化策略的神经机制是什么，变量涉及到量级系统的空间、时间和运动不同维度，知觉分组的内部和外部线索，以及本体感觉和被动观看运动等，研究方法涉及到行为、脑电和磁共振等。未来的研究结果有望帮助进一步全面理解数量感知分组化策略的认知机制及神经基础。

意见 1：作者详细介绍了科学问题和研究设计，但没有写出明确的研究假设和预期结果。我理解这类论文需要明确的提出若干研究假设和预期结果。

回应：感谢审稿人的细致审阅和宝贵建议。我们已在正文的中补充了每个研究的假设和预期结果，具体修改内容如下(亦见正文第 4 部分“研究构想”中每个研究最后一段蓝色字体标记部分)：

研究一：本研究提出以下假设：首先，外部分组线索相比于内部分组线索能够产生更强的分组化效应。预期在外部分组线索条件下，被试的反应时将更短，感知精度更高。其次，本研究假设不同数学水平的个体在使用数量感知策略时可能会有所不同。预期数学水平较高的被试面对分组条件可能更倾向于使用精确的计数策略，而数学水平较低的被试可能更多依赖于估计策略。第三，由于前人的研究发现被试在使用分组化策略进行数量感知时会使用简单心算进行数量感知，因此本研究假设相比于未分组条件，分组条件会额外激活计算相关脑区(如：顶内沟、角回等)。最后，根据 He 等(2015)的观点，连通性和封闭性(或内外关系)是一种拓扑不变量，本研究假设外部分组线索的内部机制可能与拓扑性质有关，预期外部分组线索比内部分组线索会额外激活拓扑属性相关脑区(如：顶内沟、额上回、颞下回等)。

研究二：本研究提出以下假设：首先，时间维度具备分组化效应，预期时间维度下分组条件比未分组条件表现出更短的反应时和更高的感知精度。其次，假设时间维度中外部分组线索较内部分组线索产生更强的分组化效应，预期外部分组线索下的反应时更短，感知精度更高。第三，基于 Cheng 等(2021)的研究结果，假设时间维度下不同 SOA 对分组化效应存在差异，预期短 SOA(150ms)下的分组化效应更为显著。最后，假设时间维度下分组条件中被试可能采用计算策略以提高数量感知的速度和准确性，预期分组条件较未分组条件会激活与计算相关的脑区(如顶内沟、角回和额中回等)。

研究三：本研究提出以下假设：首先，分组化效应是一种稳定且显著的效应，即便在实验任务开始前进行了运动适应，分组化效应依然存在。预期运动适应后，分组条件比未分组条件仍表现出感知精度更高和反应时更短。其次，假设分组化策略会反向影响运动适应，预期分组化策略能够减弱由高频和低频运动适应所引发的低估和高估现象。

意见 2：在问题的提出中，作者提到“目前尚无实验研究通过直接比较空间维度条件下知觉分组的内部和外部线索对数量感知分组化影响的认知机制和神经基础。因此，为了全面揭

示数量感知分组化策略认知机制，有必要直接比较知觉分组的内部和外部线索数量感知的分组化效应，系统探讨数量感知分组化策略机制的本质。”但在研究一的设计中，外分组和内分组因素分别在独立的实验中(实验 1, 实验 2)考察，这种情况下如何实现直接比较？如果有的话，比较的统计方法需要给出。

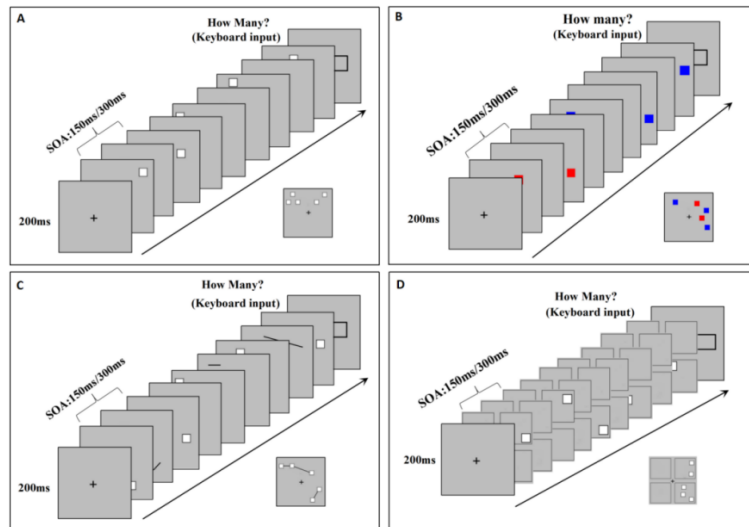
回应：感谢审稿人的建议。对于实验 1 和实验 2 的设计，虽然两者分别考察了外部分组和内部分组线索，但最终我们将对两个实验的数据进行对比分析。通过比较每个被试的反应时和感知精度来衡量分组化效应。我们已在正文第 4 部分“研究构想”中详细补充了相应的统计分析方法。

意见 3：同样在问题的提出中，作者提到“目前这些问题尚不清楚，尤其尚无实验研究直接探讨时间维度条件下的内外部分组线索对数量感知分组化策略影响的神经基础。因此，为了全面揭示数量感知分组化策略的机制，有必要测量多种神经指标和行为指标，从行为-脑机制层次，并结合时间维度知觉分组的角度，探讨时间序列变化与数量感知分组化策略的关系。”然后在研究构想中，作者接着提到研究二的设计是以按时间顺序呈现的序列刺激为材料，通过系统改变刺激起始间隔(SOAs)，考察时间维度下内部分组线索和外部分组线索对数量感知分组化策略影响的行为机制和神经基础。但是，到了具体的实验设计中，实验 4 的外部分组线索(连通性、共同区域)，将如何在序列刺激上实现？这一点我不大明白，而且图 2 中也没有看到实际的示例。所以我感觉这里需要解释的更明确一些。另外，这里的时间间隔和作者前面描述的时间维度从定义上来说感觉不是一回事。

回应：感谢审稿人耐心细致的审阅。

首先，研究二时间维度目标刺激呈现的位置与空间维度一致，在空间维度上是同时呈现的，而在时间维度上是顺序呈现的(如下图)。图 2 的示例图先前我们使用的是核磁预实验中的实验流程图，尚未区分内部和外部分组线索。由于我们的疏忽，图像未及时更新。我们现已将包含内部分组和外部分组线索的完整实验流程图替换为最新版本。正文图 2 中，由于篇幅限制，仅展示了具有代表性的颜色相似性(内部分组线索)和共同区域(外部分组线索)的示例，同时我们在文字部分进一步补充了相关解释。

其次，关于时间间隔(SOA)与时间维度的定义差异，我们非常感谢您的指正。文章中的时间维度指的是每个刺激材料按照时间顺序依次呈现，而 SOA(刺激目标异步性)则是两个连续刺激的开始时间之间的时间差。在本研究中，长 SOA 为 300 毫秒(刺激呈现 100 毫秒，间隔 200 毫秒)，短 SOA 为 150 毫秒(刺激呈现 50 毫秒，间隔 100 毫秒)，我们在正文中进一步补充了相关解释。选择这两种不同的 SOA 条件是基于前人研究(Cheng et al., 2021)，其表明 300 毫秒的 SOA 是时间条件下数量感知估计与计数策略的阈限临界值。当 SOA 小于 300 毫秒时，被试倾向于使用估计策略进行数量感知，而当 SOA 大于 300 毫秒时，被试则倾向于使用计数策略。因此，我们在本研究中使用了这两种不同的 SOA，以考察时间维度上数量感知的分组化策略。



实验流程示例图：A. 邻近性；B. 颜色相似性；C. 连通性；D. 共同区域(形状相似性与颜色相似性相似，但将四种颜色替换为四种形状)。在右下角是每个分组线索的刺激材料空间分布示例图。目标刺激呈现的位置与空间维度一致，在空间维度上是同时呈现的，而在时间维度上是顺序呈现的。长 SOA 为 300 毫秒(刺激呈现 100 毫秒，间隔 200 毫秒)，短 SOA 为 150 毫秒(刺激呈现 50 毫秒，间隔 100 毫秒)。

意见 4：我对运动维度的提法感到困惑。本体感觉运动涉及到视觉系统和体感运动系统的参与，而视觉运动是一个单纯的视觉功能。这两种在机制上完全不同的功能为什么会属于同一个维度？作者需要用文献来支持这种提法。

回应：感谢审稿人的细致反馈。关于运动维度，我们参考了现有文献，其中既包括本体感觉运动，也包括视觉运动的研究。正如您所指出的，本体感觉运动和视觉运动在机制上有所不同，但已有研究表明，两者均能引发数量感知中的适应效应。例如，Anobile 等(2020, 2021)发现，本体感觉运动适应会影响随后的数量估计，导致高频运动适应引起的高估和低频运动适应引起的低估。而视觉运动适应也同样会导致数量感知的偏差(Barlow & Hill, 1964; Fornaciai et al., 2018)。因此，我们在设计研究三时将运动维度分为本体感觉运动和视觉运动，分别考察这两种不同类型的运动适应对视觉分组和未分组数量感知的影响。我们在正文中的 3.3 部分补充了相关参考文献和描述，阐述了两种运动适应方式下的相关研究。

新增参考文献如下：

Anobile, G., Domenici, N., Togoli, I., Burr, D., & Arrighi, R. (2020). Distortions of visual time induced by motor adaptation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 149(7), 1333-1343.

Barlow, H., & HILL, R. (1964). Evidence for a Physiological Explanation of the Waterfall Phenomenon and Figural After-effects. *Nature*, 200, 1345-1347.

意见 5：作者研究的是分组化策略的认知机制及神经基础，文章在研究意义的第二段提到“然而，这些研究忽视了知觉分组的内外部分组线索自身所具有的不同属性可能会对数量感知分组化产生的影响。例如，以往研究多从内部分组线索(如，邻近性，颜色相似性)角度探讨分组化策略(Anobile et al., 2020; Ciccione & Dehaene, 2020)，较少通过直接比较内外部分组线索所引发的分组效应强度来解释对数量感知分组化策略的作用(Pan et al., 2021)。”内外部分组线索的定义是在“2.3 数量感知与知觉分组”才详细给出。如果是对数量感知或知觉领域不熟悉的读者，可能在最开始读研究意义的时候会产生困惑。建议在研究意义里提到这两个概念时先给出形式化的定义。

回应：感谢审稿人对本文提出的宝贵意见，针对内外部分组线索的定义，我们在正文第 1 部分“研究意义”中做了如下补充，以帮助读者更好地理解研究背景和方法：

Palmer(1992, 1999)将知觉分组分为内部分组原则和外部分组原则。前者基于元素属性(形状、位置、颜色等)的内在关系，如邻近性、相似性等；后者基于元素间的外部关系，如共同区域、连通性(Luna & Montoro, 2011; Palmer, 1992; Palmer & Rock, 1994)。与内部分组原则不同，外部分组原则是基于拓扑性质中的连通性和封闭性(He et al., 2009; He et al., 2015a; Palmer, 1992; Palmer & Rock, 1994)。因此，外部分组线索的机制可能与拓扑性质有关，可借助拓扑知觉理论来解释(Chen, 1982; 兰哲, 陈霖, 1998; 朱滢, 2005)。

新增参考文献如下：

兰哲, 陈霖. (1998). 拓扑性质知觉的大脑半球功能不对称性研究. *心理科学*(3), 205-208.

朱滢. (2005). 陈霖的拓扑性质知觉理论. *心理科学*(5), 1031-1034.

意见 6：图 1 里包含两个子图，代表着两种机制假设，但正文中并没有针对性的引用。如果正文中不涉及，作者应当在图注里对两个子图做简单的解释，避免读者产生困惑。

回应：非常感谢您的宝贵意见。由于图 1 源自其他文献，为了确保版权合规性并使文章内容更加简洁，我们决定将图 1 删除。相关的机制假设部分，以在文章中作出进一步的说明，以确保读者能够清晰理解。

意见 7：研究一和研究二中都提到要“选取数学学业水平高、中、低的大学生为被试”，这个变量的设计目的是什么，需要阐述出来。或者说，不同数学能力这个因素可能在本研究中起到的什么作用，应当有适当的假设。

回应：感谢您的意见。我们在研究中选择数学学业水平高、中、低的大学生，主要是为了探讨数学水平对数量感知分组化策略的影响。我们假设不同数学水平的个体在使用数量感知分组化策略时可能会有所不同，例如，数学水平较高的被试面对分组条件可能更倾向于使用精确的计数策略，而数学水平较低的被试可能更多依赖于估计策略。这一设计有助于揭示数学水平对数量感知分组化策略的潜在影响。

第二轮

审稿人意见：感谢作者的仔细回复，我没有进一步的问题了。

编委意见：稿件已达到发表要求。