

## 《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：知觉学习中非显著性刺激视觉加工的学习机制

作者：张琪、王紫乐、吴美君

### 第一轮

#### 审稿人 1 意见：

本文采用眼动指标将视觉搜索过程划分为三个阶段，探究了非凸显复杂刺激知觉学习对视觉加工不同阶段的影响，发现学习对不同搜索阶段的眼动有不同的影响。这是一个有趣的研究，实验方法较新颖，实验结果效应量强，具有潜在的发表价值。但是文章写作还存在很多问题，其中可能涉及了具体实验操作和数据分析的问题，研究主线不清晰，关键实验数据缺乏深入讨论，需要大修后再审。

**意见 1：**文章报告的反应时和各个阶段的眼动数据，是对所有试次还是仅对正确试次进行的分析？这两种不同的分析方法得到的结果意义会存在很大差异，作者需要明确说明。如果文中报告的是对所有试次的分析，需要进一步区分正确和错误试次进行细致分析，深入理解实验数据的含义。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的建议。文章中报告的反应时和各个阶段的眼动数据是对正确试次进行的分析。在文章中已经进行了明确说明。具体用红色标出(2.4 数据分析)。对于训练刺激来说，在训练后被试搜索该刺激的表现基本上达到“最优”，比如当目标不出现时，很多被试能够较好识别出目标不出现，没有发生错误反应。因此我们在文章中只报告了目标出现试次和目标不出现试次的正确反应。

**意见 2：**实验方法介绍太简单模糊，特别是对眼动技术中关键参数缺乏报告，影响了读者对具体实验方法合理性和可靠性的评估。例如作者没有给出注视点明确定义，对搜索过程三个阶段的划分不够清晰，其他问题不在此处一一列出。请作者仔细检查修改，尽可能详细清晰地介绍实验方法，使得他人能够理解研究的具体操作、可以根据文章报告的实验方法进行重复验证。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的建议。我们在实验方法部分增加了三个阶段的详细定义以及试次剔除情况，此外，我们还增加了眼跳、注视点、眨眼的详细定义。在正文中用红色字

**体标出(2.4.2 眼动分析), 具体如下:**

“实验选取眼动三个阶段的指标: 第一个阶段为搜索潜伏期, 定义为发生第一次眼跳前的注视时间, 对眼跳的定义为速度超过  $30\%$ , 加速度超过  $8000\%s^2$ , 运动距离超过  $0.1^\circ$ ; 第二个阶段为浏览阶段, 定义为从第一次发生眼跳到最后一次注视开始的扫描时间, 浏览阶段中包括的指标有注视点个数和注视点的平均停留时间, 当注视的持续时间超过  $100$  毫秒时视为一个注视点; 第三个阶段为确定时间, 定义为被试做出反应前最后一次注视的持续时间。当试次开始时, 被试伴随着眨眼或眼跳, 或搜索潜伏期小于  $80$  毫秒, 则该试次从分析中剔除, 对眨眼的定义为超过  $3ms$  的数据丢失。我们对训练三角形和未训练三角形的前后测眼动指标做重复测量方差分析。对于眼动指标, 我们分析了目标出现试次和目标不出现试次的正确反应结果。”

**意见 3:** 研究主线和逻辑存在很大问题, 对于知觉学习的理解也存在一些问题。

(1) 本研究最新颖有趣的地方在于, 利用眼动技术发现了学习对不同搜索阶段的加工具有不同的影响。但是研究讨论部分没有围绕这个发现进行深入探讨。三个搜索阶段可能反映了什么认知加工机制? 学习对不同搜索阶段具有不同的影响, 对于深入理解知觉学习有什么意义? 这些问题特别需要补充/加强论述。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议, 在讨论部分的确实缺少对不同的搜索阶段的加工进行深入探讨。基于审稿老师的意见和建议, 在讨论部分进行修改: **首先阐述**的三个阶段的主要结果, 以及根据特定任务选择性重加权假说(task-specific selective reweighting hypothesis)从理论上分析了这三个阶段的学习机制 (**知觉学习过程的机制**); **接着**通过该理论探讨“降低难度后特异性仍然存在”这一结果进一步说明学习机制, 从而引出知觉学习可能发生的神经处理水平 (**知觉学习神经机制**); **最后**通过探讨“前人在联合特征三个认知加工阶段的结果”与“本研究关于几何形状三个认知加工阶段的结果”差异, 来比较两者之间学习机制的差异, 以及未来可能需要解决的问题。因此讨论部分主要通过**知觉学习过程的机制和知觉学习的神经机制**两方面来论述知觉学习机制。

**讨论部分具体修改如下:**

“本研究采用 Qu 等人(2017)的实验范式, 通过将眼动指标划分为三个阶段探究知觉学习对不同视觉加工阶段的影响: 早期视觉加工阶段(搜索潜伏期)、中期视觉加工阶段(浏览阶段: 平均注视时间和注视点个数), 以及后期视觉加工阶段(确认时间)。将整个视觉搜索的过

程划分为这三个阶段，更能直观地探究知觉学习对不同视觉加工阶段产生的影响。本研究结果发现训练刺激在搜索潜伏期和浏览阶段出现了显著的知觉效应。然而代表后期视觉加工阶段的确认时间在前后测差异不显著。这表明知觉学习效应发生在视觉加工的相对早期阶段。事实上，也有研究者将知觉学习对视觉加工的影响划分为两个不同的层级：早期感官表征的变化以及在任务中根据表征进行决策时的变化。主要有两种假说解释知觉学习的机制：表征修正假说(representation modification hypothesis)和特定任务选择性重加权假说(task-specific selective reweighting hypothesis)。表征修正假说认为知觉学习的效果主要体现在对刺激特征进行早期编码的改善上(Karni & Sagi, 1991)。与这种观点相反的是，特定任务选择性重加权假说认为行为表现的提高可能是知觉学习根据早期视觉表征与决策之间的联系进行重新加权的结果(Dosher & Lu, 1998)。在本研究中，训练刺激的搜索潜伏期在知觉学习后显著增加，说明在眼跳前需要更长的时间对刺激特征进行编码，这与表征修正假说相矛盾。而注视点个数以及平均注视时间在知觉学习后显著减少，这说明视觉系统会选择早期视觉表征中的哪些对当前任务最具诊断性的特征，并加强编码这些刺激特征来进行重新加权。随着视觉系统逐渐将较高的权重分配给任务相关的特征，而将较低的权重分配给不相关的特征，就需要更少的注视点的个数和平均注视点将注意定位到目标上。这与特定任务选择性重加权假说一致，说明知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少眼跳的次数和时间，进而提高搜索表现。知觉学习对行为表现的改善主要发生在早期感觉表征和各种特定任务反应选择区域之间的联系中。

Qu 等人(2017)在任务较难的情况下没有发现知觉学习的迁移性，本研究发现通过减少搜索集大小来降低任务难度后，训练三角形朝向的知觉学习效应仍未迁移到未训练三角形，仍保持着特异性。这说明知觉学习根据任务选择或注意选择只对那些与训练任务相关的刺激表征进行重加权。知觉学习的选择性重加权理论通过改善基本保持不变的感觉表征与决策之间的关系来促进行为表现，而早期感觉表征(V1 视觉皮层表征)的稳定性可能有助于维持先前学习任务中的表现(Dosher & Lu, 1998; Dosher & Lu, 2017)。如果感觉表征发生改变(例如搜索未训练刺激)，则需要进一步重新加权。但是这时如果没有进行知觉学习，那么对未训练刺激的表征与决策之间的联系没有进行重新加权，从而表现出对训练刺激的特异性。然而，其他研究者认为改善仅局限于训练中所使用的刺激可能是由于学习效应的神经基质存在于感觉加工的早期阶段(Karni & Sagi, 1991)，这种可塑性变化可能发生在初级视觉皮层(V1)。因为早期视觉皮层的神经元具有较小的感受野(RFs)，并对简单的刺激特征(如朝向)具有选择性，因此更容易表现出特异性。尽管一些研究者将知觉学习的特异性归为 V1 神经元的可塑

性，但知觉学习的神经机制可能更复杂。知觉任务的表现随着练习而提高，大多数将知觉学习视为一个整体现象。然而，知觉学习可能并不是一个单一的现象。相反，即使是最简单的检测或感知辨别任务，也涉及到感觉处理、决策、自上而下的任务相关性、行动选择过程等大脑区域网络的参与。这些感觉过程和认知过程都可能在任务过程中发生，知觉学习可能涉及多个过程、层次和大脑区域。因此，未来研究应把知觉学习视为过程性的改变，可以从神经生理角度探究不同脑区在知觉学习不同阶段的参与情况，而并非简单的将知觉学习特异性归为 V1 皮层的加工。

此外，Zhang 等人(2022)同样将联合特征刺激(颜色和朝向特征的联合，例如红色竖线)的知觉学习划分为不同的阶段，实验中采用颜色(红、绿)和朝向的联合特征刺激作为搜索任务的目标和干扰物，实验中对红色竖线进行知觉学习，在知觉学习前后对红色竖线(与知觉学习刺激的朝向和颜色完全相同)，红色横线(与知觉学习刺激的颜色相同，朝向不同)，以及绿色竖线(与知觉学习刺激的朝向相同，颜色不同)进行测试。结果发现，无论是与知觉学习的刺激属性完全一致的联合特征，还是与其中一种刺激属性相同的联合特征来说，眼动结果都发现了在知觉学习后有更长的潜伏期。在本研究中采用的几何形状(知觉学习特征仅为不同的朝向)的知觉学习同样发现知觉学习后潜伏期更长。这说明无论是几何形状的知觉学习还是联合特征的知觉学习，在早期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制促进知觉学习。但是在中期视觉加工阶段，尽管几何形状的知觉学习和联合特征的知觉学习都有更少的注视点个数，但联合特征在知觉学习前后的平均注视时间差异不显著(Zhang et al., 2022)，这与几何形状的知觉学习结果不一致，这说明尽管几何形状和联合特征的知觉学习在中期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制，但是两者之间的学习机制也并非完全相同。未来研究需要更多的电生理证据从更深层次脑区加工的角度来探究两者之间的学习机制。”

(2) 文章花费了大量篇幅探讨难度因素，但是相对于之前研究 (Qu et al., 2017) ,本文发现似乎并没有对深入理解知觉学习机制是否发生在初级视皮层 (V1) 这个问题有所帮助；如果作者认为该结果有意义，需要进行合理论述令人理解。研究通过刺激特异性说明学习发生在 V1，也存在问题。建议作者仔细阅读思考 Qu et al., CC 2017 对于学习发生地点的讨论。

回应：非常感谢审稿老师有价值的建议。对于将刺激特异性归为知觉学习发生在 V1 确实也存在问题。关于知觉学习特异性和 V1 之间的讨论已经做了相应的修改。

#### 具体修改如下：

“Qu 等人(2017)在任务较难的情况下没有发现知觉学习的迁移性，本研究通过减少搜索集大小来降低任务难度后，训练三角形朝向的知觉学习效应仍未迁移到未训练三角形，

仍保持着特异性。这说明知觉学习根据任务选择或注意选择只对那些与训练任务相关的刺激表征进行重加权。知觉学习的选择性重加权理论通过改善基本保持不变的感觉表征与决策之间的关系来促进行为表现，而早期感觉表征(V1 视觉皮层表征)的稳定性可能有助于维持先前学习任务中的表现(Dosher & Lu, 1998; Dosher & Lu, 2017)。如果感觉表征发生改变(例如搜索未训练刺激)，则需要进一步重新加权。但是这时如果没有进行知觉学习，那么对未训练刺激的表征与决策之间的联系没有进行重新加权，从而表现出对训练刺激的特异性。然而，其他研究者认为改善仅局限于训练中所使用的刺激可能是由于学习效应的神经基质存在于感觉加工的早期阶段(Karni & Sagi, 1991)，这种可塑性变化可能发生在初级视觉皮层(V1)。因为早期视觉皮层的神经元具有较小的感受野(RFs)，并对简单的刺激特征(如朝向)具有选择性，因此更容易表现出特异性。尽管一些研究者将知觉学习的特异性归为 V1 神经元的可塑性，但知觉学习的神经机制可能更复杂。知觉任务的表现随着练习而提高，大多数将知觉学习视为一个整体现象。然而，知觉学习可能并不是一个单一的现象。相反，即使是最简单的检测或感知辨别任务，也涉及到感觉处理、决策、自上而下的任务相关性、行动选择过程等大脑区域网络的参与。这些感觉过程和认知过程都可能在任务过程中发生，知觉学习可能涉及多个过程、层次和大脑区域。因此，未来研究应把知觉学习视为过程性的改变，可以从神经生理角度探究不同脑区在知觉学习不同阶段的参与情况，而并非简单的将知觉学习特异性归为 V1 皮层的加工。”

(3) 文章对于简单特征学习和特征联合学习的特异性/迁移性的论述存在问题，并且这些论述对于本研究主线似乎也没什么帮助

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。简单特征学习和特征联合学习的特异性/迁移性的论述确实存在问题，对此，我们通过探讨“前人在联合特征三个认知加工阶段”与“本研究关于几何形状三个认知加工阶段”的结果，来比较两者之间学习机制的差异，以及未来可能需要解决的问题。

**具体修改如下：**

“此外，Zhang 等人(2022)同样将联合特征刺激(颜色和朝向特征的联合，例如红色竖线)的知觉学习划分为不同的阶段，实验中采用颜色(红、绿)和朝向的联合特征刺激作为搜索任务的目标和干扰物，实验中对红色竖线进行知觉学习，在知觉学习前后对红色竖线(与知觉学习刺激的朝向和颜色完全相同)，红色横线(与知觉学习刺激的颜色相同，朝向不同)，以及绿色竖线(与知觉学习刺激的朝向相同，颜色不同)进行测试。结果发现，无论是与知觉学



习的刺激属性完全一致的联合特征，还是与其中一种刺激属性相同的联合特征来说，眼动结果都发现了在知觉学习后有更长的潜伏期。在本研究中采用的几何形状(知觉学习特征仅为不同的朝向)的知觉学习同样发现知觉学习后潜伏期更长。这说明无论是几何形状的知觉学习还是联合特征的知觉学习，在早期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制促进知觉学习。但是在中期视觉加工阶段，尽管几何形状的知觉学习和联合特征的知觉学习都有更少的注视点个数，但联合特征在知觉学习前后的平均注视时间差异不显著(Zhang et al., 2022)，这与几何形状的知觉学习结果不一致，这说明尽管几何形状和联合特征的知觉学习在中期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制，但是两者之间的学习机制也并非完全相同。未来研究需要更多的电生理证据从更深层次脑区加工的角度来探究两者之间的学习机制。”

(4) 文章最后一段的论述，与本文研究发现有什么关联？建议作者结合本研究创新点（新的实验方法和结果等）进行深入探讨。另外，复杂刺激和联合特征有什么区别？文章如果想讨论，需要更清晰地定义。建议作者阅读以下文章：Ding, Li & Qu, *Psychonomic Bulletin & Review*, 2022, Is a new feature learned behind a newly efficient color? orientation conjunction search?

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。在最后一段的论述确实没有与本文研究发现进行关联。结合审稿老师的意见，我们将根据本研究的创新点进行探讨，此外，通过阅读审稿老师的文献，我们确实发现将刺激表述为复杂刺激和联合特征不够准确清晰，因此，我们将两种刺激进行重新表述（具体为：联合特征与几何形状），在文章也定义了具体含义。具体修改见上一条回复。

另外，文章的统计数据报告还不够规范，例如对贝叶斯因子的使用，请仔细检查。

回应：非常感谢审稿老师有价值的建议。我们在文章中发现了统计报告不够规范的地方，也进行了相应的修改（例如置信区间的报告等）。此外，对于贝叶斯，我们考虑了相当于 t 检验的贝叶斯因子(BF) (Wagenmakers et al., 2018; Wasserstein & Lazar, 2016)，它评估了以评估替代假设(H1)相对于零假设(H0)的可信度。我们使用贝叶斯假设检验(Wagenmakers et al., 2018)计算了支持替代假设的贝叶斯因子  $BF_{10}$ ，以评估替代假设(H1)相对于零假设(H0)的证据强度。根据这个理论框架， $BF_{10}$  低于 1 反映了更有利于零假设的证据( $BF_{10}$  为 1-0.33 反映了较弱的证据；0.33-0.1 为中等证据； $< 0.1$  为支持零假设的非常强的证据)。因此，我们只在结果不显著时报告了贝叶斯因子  $BF_{10}$ ，以评估接受零假设的可信度。由于在文章中并未说明，我们增加了这部分的表述。具体在 2.4.1 部分。

.....

**审稿人 2 意见:**

作者通过眼动与行为指标考察知觉学习中非显著性刺激视觉加工的学习机制,结果发现:训练刺激在知觉学习中未发生迁移,未训练刺激在后测的表现与前测无显著差异,说明非显著性刺激加工具有特异性;知觉训练后眼动的潜伏期显著增加,注视点个数与平均注视时间减少,说明个体的非显著性刺激视觉加工主要发生在视觉早、中期阶段。总体来说,研究有一定创新性,研究设计合理,数据分析方法正确,结果可靠。

**意见 1:** 摘要部分的逻辑不严密。例如,研究目的未提及刺激迁移、但结果部分存在相应内容。建议统一对应。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,摘要部分的逻辑确实不严密。本研究主要研究知觉学习可以提高视觉搜索表现是通过哪些视觉加工过程发生变化。结合主要研究问题,对摘要进行修改。

**具体修改如下:**

“非显著性刺激知觉学习的研究发现成人大脑具有可塑性,但是知觉学习如何影响不同的视觉加工阶段仍不清楚。通过将眼动轨迹划分为三个视觉加工阶段来考察知觉学习的学习机制:搜索潜伏期(早期),代表的认知过程为加工当前位置及选择下一个位置的时间;浏览阶段(中期),代表注视加工位置个数和加工时间;确定时间(后期),代表确定当前刺激是否为目标并做出判断。结果发现训练刺激的学习效应没有迁移到未训练刺激;并且在训练后潜伏期显著增加,同时注视点个数和平均注视时间减少。说明知觉学习在早期和中期视觉加工阶段起作用,通过增加搜索潜伏期来减少眼跳的次数以及降低注视时间进而提高搜索表现。”

**意见 2:** 建议引言部分统一术语,选择单一特征和联合特征进行对应,删除“结合元素”。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,对于文章中已经做了相应的修改。

**意见 3:** 引言部分的最后一段缺少“知觉学习如何影响眼动指标”的研究假设及相关依据,建议补充一些背景(过往有相关研究)。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,在引言中最后的部分增加了知觉学习对不同的眼动指标的介绍,并在引言最后一段增加了研究假设。**具体修改如下:**

“此外,在实际的搜索过程包含很多认知加工过程,如搜索潜伏期、注视时间、注视点个数等。有研究者发现经过视觉搜索训练后,眼跳次数和扫视次数减少,注视时间变短,搜索效率提高(Zhang et al., 2022)。而在现实场景中,当目标与知觉学习过程中的位置不一致时,

注视时间更长(Malcolm & Henderson, 2010)。此外，知觉学习也会抑制任务无关位置，将注意力更多的分配到目标位置，从而导致注视点个数减少，平均注视时间增长(Malcolm & Henderson, 2010)。Hidalgo-Sotelo 等人(2005)也发现，知觉学习经验会导致注视目标的持续时间缩短。有研究采用人脸识别任务发现，知觉学习会改变眼球运动策略，知觉学习后在搜索过程中对人脸的定位变得更加精确，视角范围更小(Spotorno et al., 2015)。因此，只通过正确率和反应时并不能反映实际的视觉加工过程。尽管前人探讨了非显著性刺激的知觉学习效应，但是目前没有研究者去探讨知觉学习如何影响不同的视觉加工阶段，并不清楚知觉学习促进搜索表现是通过对搜索准备前阶段还是对搜索过程的认知加工。因此并不清楚知觉学习是通过哪一个视觉加工阶段来促进搜索表现。

我们通过将眼动划分三个阶段来探讨知觉学习机制(Malcolm & Henderson, 2009)：第一个阶段为早期视觉加工阶段，选择搜索潜伏期作为分析指标，其代表的认知过程为被试选择第一个搜索位置的时间；第二个阶段为中期视觉加工阶段，主要选择浏览阶段的眼动指标，浏览阶段中包括的指标有注视点个数和注视点的平均停留时间，被定义为从第一次眼跳到最后一次注视开始的时间；第三个阶段后期视觉加工阶段，选择确定时间作为分析指标，代表被试确定当前位置刺激是否为目标并做出判断的过程。因此，通过分析三个阶段的指标以及在前后测的差异，可以探讨非显著性刺激的知觉学习效应是如何影响不同的视觉加工阶段的，为进一步理解知觉学习的机制提供实验证据。我们假设，在早期视觉加工阶段，知觉学习会通过改变搜索潜伏期来促进搜索；在中期视觉加工阶段，如果改变的是注视点个数，那么说明是知觉学习后通过搜索更少的位置来促进搜索表现；如果改变的是注视时间，那么说明是加工每一个位置的视觉加工速度变快导致；后期视觉加工阶段，如果知觉学习后确认时间发生变化，那么说明知觉学习对后期加工阶段也有影响。”

**意见 4：**实验设计部分：刺激阵列是 8 个朝向的三角形性，但描述中，被试仅有四种朝向的训练和测试，请做进一步说明。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。在刺激屏中会呈现 8 个三角形刺激，这 8 个三角形共 4 种朝向。在搜索的过程中，目标朝向只有一个，剩下三种朝向的三角形随机呈现。如果朝上是目标：**当目标出现时**，屏幕中出现的 8 个三角形刺激为：**【朝上的三角形呈现 1 个；朝下、左和右的三角形各两个；从下、左、右随机挑选一个朝向作为最后一个三角形的朝向】**；**当目标不出现时**，屏幕中出现的 8 个三角形刺激为：**【朝下、左和右的三角形各两个；从下、左、右随机挑选两个朝向作为最后两个三角形的朝向】**。这四种朝向的三角形



出现的总体概率是相同的。由于表述有误，给审稿老师造成误解，对此，我们将这部分进行了修改，将“刺激阵列由 8 个不同朝向的三角形(RGB: 0, 0, 0)组成”改为“刺激阵列由 8 个三角形刺激(RGB: 0, 0, 0)组成”。

此外，为了让实验更加清楚，我们在实验程序中也进行了修改，具体修改如下：

“整个实验共三天，分为前测、训练和后测三个过程(图 1C)。在前测和后测时，对训练刺激和未训练刺激进行测试(以朝上为训练刺激，朝右为未训练刺激为例)，各 160 个试次，同时记录被试的眼动反应。在前测与后测会有两个搜索任务：搜索训练三角形任务和搜索未训练三角形任务。在搜索过程中，目标三角形的朝向只出现一个，其他三种朝向的三角形随机呈现。当被试的任务是搜索训练三角形时(例如：朝上的三角形)，刺激阵列中朝上的三角形只有一个；当被试的任务是搜索未训练三角形时(例如：朝右的三角形)，刺激阵列中朝右的三角形只有一个。在训练时，只对训练刺激进行训练，即搜索任务为：搜索训练三角形。整个训练过程分为三天，每天训练一次，每次共 1600 个试次(每组 400 个试次，共 4 组)。”

意见 5：讨论部分缺少“难度不影响刺激特异性”相关部分，建议对这一部分进行补充；另外在讨论部分，关于“联合特征和复杂刺激的学习机制”的讨论与本文的联系较少，三角形朝向倘若算是复杂刺激，那请增加复杂刺激的学习机制的相关内容，讨论部分建议再斟酌修改。

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。根据审稿老师的意见，我们在讨论部分做出了相应的修改。具体修改如下：

“本研究采用 Qu 等人(2017)的实验范式，通过将眼动指标划分为三个阶段探究知觉学习对不同视觉加工阶段的影响：早期视觉加工阶段(搜索潜伏期)、中期视觉加工阶段(浏览阶段：平均注视时间和注视点个数)，以及后期视觉加工阶段(确认时间)。将整个视觉搜索的过程划分为这三个阶段，更能直观地探究知觉学习对不同视觉加工阶段产生的影响。本研究结果发现训练刺激在搜索潜伏期和浏览阶段出现了显著的知觉效应。然而代表后期视觉加工阶段的确认时间在前后测差异不显著。这表明知觉学习效应发生在视觉加工的相对早期阶段。事实上，也有研究者将知觉学习对视觉加工的影响划分为两个不同的层级：早期感官表征的变化以及在任务中根据表征进行决策时的变化。主要有两种假说解释知觉学习的机制：表征修正假说(representation modification hypothesis)和特定任务选择性重加权假说(task-specific selective reweighting hypothesis)。表征修正假说认为知觉学习的效果主要体现在对刺激特征进行早期编码的改善上(Karni & Sagi, 1991)。与这种观点相反的是，特定任务选择性重加权假说认为行为表现的提高可能是知觉学习根据早期视觉表征与决策之间的联系进行重新加

权的结果(Dosher & Lu, 1998)。在本研究中, 训练刺激的搜索潜伏期在知觉学习后显著增加, 说明在眼跳前需要更长的时间对刺激特征进行编码, 这与表征修正假说相矛盾。而注视点个数以及平均注视时间在知觉学习后显著减少, 这说明视觉系统会选择早期视觉表征中的哪些对当前任务最具诊断性的特征, 并加强编码这些刺激特征来进行重新加权。随着视觉系统逐渐将较高的权重分配给任务相关的特征, 而将较低的权重分配给不相关的特征, 就需要更少的注视点的个数和平均注视点将注意定位到目标上。这与特定任务选择性重加权假说一致, 说明知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少眼跳的次数和时间, 进而提高搜索表现。知觉学习对行为表现的改善主要发生在早期感觉表征和各种特定任务反应选择区域之间的联系中。

Qu 等人(2017)在任务较难的情况下没有发现知觉学习的迁移性, 本研究发现通过减少搜索集大小来降低任务难度后, 训练三角形朝向的知觉学习效应仍未迁移到未训练三角形, 仍保持着特异性。这说明知觉学习根据任务选择或注意选择只对那些与训练任务相关的刺激表征进行重加权。知觉学习的选择性重加权理论通过改善基本保持不变的感觉表征与决策之间的关系来促进行为表现, 而早期感觉表征(V1 视觉皮层表征)的稳定性可能有助于维持先前学习任务中的表现(Dosher & Lu, 1998; Dosher & Lu, 2017)。如果感觉表征发生改变(例如搜索未训练刺激), 则需要进一步重新加权。但是这时如果没有进行知觉学习, 那么对未训练刺激的表征与决策之间的联系没有进行重新加权, 从而表现出对训练刺激的特异性。然而, 其他研究者认为改善仅局限于训练中所使用的刺激可能是由于学习效应的神经基质存在于感觉加工的早期阶段(Karni & Sagi, 1991), 这种可塑性变化可能发生在初级视觉皮层(V1)。因为早期视觉皮层的神经元具有较小的感受野(RFs), 并对简单的刺激特征(如朝向)具有选择性, 因此更容易表现出特异性。尽管一些研究者将知觉学习的特异性归为 V1 神经元的可塑性, 但知觉学习的神经机制可能更复杂。知觉任务的表现随着练习而提高, 大多数将知觉学习视为一个整体现象。然而, 知觉学习可能并不是一个单一的现象。相反, 即使是最简单的检测或感知辨别任务, 也涉及到感觉处理、决策、自上而下的任务相关性、行动选择过程等大脑区域网络的参与。这些感觉过程和认知过程都可能在任务过程中发生, 知觉学习可能涉及多个过程、层次和大脑区域。因此, 未来研究应把知觉学习视为过程性的改变, 可以从神经生理角度探究不同脑区在知觉学习不同阶段的参与情况, 而并非简单的将知觉学习特异性归为 V1 皮层的加工。

此外, Zhang 等人(2022)同样将联合特征刺激(颜色和朝向特征的联合, 例如红色竖线)的知觉学习划分为不同的阶段, 实验中采用颜色(红、绿)和朝向的联合特征刺激作为搜索任

务的目标和干扰物，实验中对红色竖线进行知觉学习，在知觉学习前后对红色竖线(与知觉学习刺激的朝向和颜色完全相同)，红色横线(与知觉学习刺激的颜色相同，朝向不同)，以及绿色竖线(与知觉学习刺激的朝向相同，颜色不同)进行测试。结果发现，无论是与知觉学习的刺激属性完全一致的联合特征，还是与其中一种刺激属性相同的联合特征来说，眼动结果都发现了在知觉学习后有更长的潜伏期。在本研究中采用的几何形状(知觉学习特征仅为不同的朝向)的知觉学习同样发现知觉学习后潜伏期更长。这说明无论是几何形状的知觉学习还是联合特征的知觉学习，在早期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制促进知觉学习。但是在中期视觉加工阶段，尽管几何形状的知觉学习和联合特征的知觉学习都有更少的注视点个数，但联合特征在知觉学习前后的平均注视时间差异不显著(Zhang et al., 2022)，这与几何形状的知觉学习结果不一致，这说明尽管几何形状和联合特征的知觉学习在中期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制，但是两者之间的学习机制也并非完全相同。未来研究需要更多的电生理证据从更深层次脑区加工的角度来探究两者之间的学习机制。”

**意见 6:** 图表部分，请增加 x 轴的表示的含义。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。根据审稿老师的建议，我们重新绘制了图形增加了 X 轴的含义，更改的图为：图 2 到图 7。

.....  
**审稿人 3 意见:**

该研究在 Qu 等人(2017)的基础上通过将眼动轨迹分为三个视觉加工阶段来探究不同加工过程的变化及学习机制。行为结果结果与前人研究一致，训练刺激的学习效应没有迁移到未训练刺激。眼动结果表明训练后潜伏期显著增加，同时注视点个数和平均注视时间减少。该结果对知觉训练领域有一定的理论贡献，然而作者没有进行更深入的讨论，以及结果无法支撑作者的一些观点，同时缺乏对有关知觉学习经典文献的参考。具体如下：

**重要问题:**

**意见 1:** 后测中，潜伏期显著增加，同时注视点个数和平均注视时间减少。造成这种实验结果的背后可能机制需要给予更多的讨论。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。在我们的结果中，后测搜索目标的潜伏期显著增加，同时注视点个数和平均注视时间减少。根据审稿老师的意见，我们在讨论部分对造成这种结果的可能机制做出了讨论。

### 具体修改如下：

“本研究采用 Qu 等人(2017)的实验范式，通过将眼动指标划分为三个阶段探究知觉学习对不同视觉加工阶段的影响：早期视觉加工阶段(搜索潜伏期)、中期视觉加工阶段(浏览阶段：平均注视时间和注视点个数)，以及后期视觉加工阶段(确认时间)。将整个视觉搜索的过程划分为这三个阶段，更能直观地探究知觉学习对不同视觉加工阶段产生的影响。本研究结果发现训练刺激在搜索潜伏期和浏览阶段出现了显著的知觉效应。然而代表后期视觉加工阶段的确认时间在前后测差异不显著。这表明知觉学习效应发生在视觉加工的相对早期阶段。事实上，也有研究者将知觉学习对视觉加工的影响划分为两个不同的层级：早期感官表征的变化以及在任务中根据表征进行决策时的变化。主要有两种假说解释知觉学习的机制：表征修正假说(representation modification hypothesis)和特定任务选择性重加权假说(task-specific selective reweighting hypothesis)。表征修正假说认为知觉学习的效果主要体现在对刺激特征进行早期编码的改善上(Karni & Sagi, 1991)。与这种观点相反的是，特定任务选择性重加权假说认为行为表现的提高可能是知觉学习根据早期视觉表征与决策之间的联系进行重新加权的结果(Dosher & Lu, 1998)。在本研究中，训练刺激的搜索潜伏期在知觉学习后显著增加，说明在眼跳前需要更长的时间对刺激特征进行编码，这与表征修正假说相矛盾。而注视点个数以及平均注视时间在知觉学习后显著减少，这说明视觉系统会选择早期视觉表征中的哪些对当前任务最具诊断性的特征，并加强编码这些刺激特征来进行重新加权。随着视觉系统逐渐将较高的权重分配给任务相关的特征，而将较低的权重分配给不相关的特征，就需要更少的注视点的个数和平均注视点将注意定位到目标上。这与特定任务选择性重加权假说一致，说明知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少眼跳的次数和时间，进而提高搜索表现。知觉学习对行为表现的改善主要发生在早期感觉表征和各种特定任务反应选择区域之间的联系中。”

**意见 2：**与上一个问题类似，作者主要是研究不同阶段的机制，前言中缺乏对知觉学习对不同阶段影响的介绍。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，在前言中最后的部分增加了知觉学习对不同的眼动指标的介绍，并在最后一段增加了研究假设。

### 具体修改如下：

“此外，在实际的搜索过程包含很多认知加工过程，如搜索潜伏期、注视时间、注视点个数等。有研究者发现经过视觉搜索训练后，眼跳次数和扫视次数减少，注视时间变短，搜

索效率提高(Zhang et al., 2022)。而在现实场景中,当目标与知觉学习过程中的位置不一致时, 注视时间更长(Malcolm & Henderson, 2010)。此外, 知觉学习也会抑制任务无关位置, 将注意力更多的分配到目标位置, 从而导致注视点个数减少, 平均注视时间增长(Malcolm & Henderson, 2010)。Hidalgo-Sotelo 等人(2005)也发现, 知觉学习经验会导致注视目标的持续时间缩短。有研究采用人脸识别任务发现, 知觉学习会改变眼球运动策略, 知觉学习后在搜索过程中对人脸的定位变得更加精确, 视角范围更小(Spotorno et al., 2015)。因此, 只通过正确率和反应时并不能反映实际的视觉加工过程。尽管前人探讨了非显著性刺激的知觉学习效应, 但是目前没有研究者去探讨知觉学习如何影响不同的视觉加工阶段, 并不清楚知觉学习促进搜索表现是通过对搜索准备前阶段还是对搜索过程的认知加工。因此并不清楚知觉学习是通过哪一个视觉加工阶段来促进搜索表现。

我们通过将眼动划分三个阶段来探讨知觉学习机制(Malcolm & Henderson, 2009): 第一个阶段为早期视觉加工阶段, 选择搜索潜伏期作为分析指标, 其代表的认知过程为被试选择第一个搜索位置的时间; 第二个阶段为中期视觉加工阶段, 主要选择浏览阶段的眼动指标, 浏览阶段中包括的指标有注视点个数和注视点的平均停留时间, 被定义为从第一次眼跳到最后一次注视开始的时间; 第三个阶段后期视觉加工阶段, 选择确定时间作为分析指标, 代表被试确定当前位置刺激是否为目标并做出判断的过程。因此, 通过分析三个阶段的指标以及在前后测的差异, 可以探讨非显著性刺激的知觉学习效应是如何影响不同的视觉加工阶段的, 为进一步理解知觉学习的机制提供实验证据。我们假设, 在早期视觉加工阶段, 知觉学习会通过改变搜索潜伏期来促进搜索; 在中期视觉加工阶段, 如果改变的是注视点个数, 那么说明是知觉学习后通过搜索更少的位置来促进搜索表现; 如果改变的是注视时间, 那么说明是加工每一个位置的视觉加工速度变快导致; 后期视觉加工阶段, 如果知觉学习后确认时间发生变化, 那么说明知觉学习对后期加工阶段也有影响。”

**意见 3:** 作者认为知觉训练发生在初级视觉皮层。然后对于潜伏期结果, 刺激不出现的条件下依旧存在显著效应, 该结果表明其训练机制很可能源于自上而下的反馈调节。这一结果如何与知觉学习的感觉皮层可塑理论相调和? 如何能证明其发生在初级感觉皮层?

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。结合其他审稿老师的意见, 我们对于将刺激特异性归为知觉学习发生在 V1 确实也存在问题。我们对这部分结合知觉学习理论进行了重新讨论。

**具体修改如下:**



“本研究采用 Qu 等人(2017)的实验范式, 通过将眼动指标划分为三个阶段探究知觉学习对不同视觉加工阶段的影响:早期视觉加工阶段(搜索潜伏期)、中期视觉加工阶段(浏览阶段:平均注视时间和注视点个数), 以及后期视觉加工阶段(确认时间)。将整个视觉搜索的过程划分为这三个阶段, 更能直观地探究知觉学习对不同视觉加工阶段产生的影响。本研究结果发现训练刺激在搜索潜伏期和浏览阶段出现了显著的知觉效应。然而代表后期视觉加工阶段的确认时间在前后测差异不显著。这表明知觉学习效应发生在视觉加工的相对早期阶段。事实上, 也有研究者将知觉学习对视觉加工的影响划分为两个不同的层级:早期感官表征的变化以及在任务中根据表征进行决策时的变化。主要有两种假说解释知觉学习的机制:表征修正假说(representation modification hypothesis)和特定任务选择性重加权假说(task-specific selective reweighting hypothesis)。表征修正假说认为知觉学习的效果主要体现在对刺激特征进行早期编码的改善上(Karni & Sagi, 1991)。与这种观点相反的是, 特定任务选择性重加权假说认为行为表现的提高可能是知觉学习根据早期视觉表征与决策之间的联系进行重新加权的结果(Dosher & Lu, 1998)。在本研究中, 训练刺激的搜索潜伏期在知觉学习后显著增加, 说明在眼跳前需要更长的时间对刺激特征进行编码, 这与表征修正假说相矛盾。而注视点个数以及平均注视时间在知觉学习后显著减少, 这说明视觉系统会选择早期视觉表征中的哪些对当前任务最具诊断性的特征, 并加强编码这些刺激特征来进行重新加权。随着视觉系统逐渐将较高的权重分配给任务相关的特征, 而将较低的权重分配给不相关的特征, 就需要更少的注视点的个数和平均注视点将注意定位到目标上。这与特定任务选择性重加权假说一致, 说明知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少眼跳的次数和时间, 进而提高搜索表现。知觉学习对行为表现的改善主要发生在早期感觉表征和各种特定任务反应选择区域之间的联系中。

Qu 等人(2017)在任务较难的情况下没有发现知觉学习的迁移性, 本研究发现通过减少搜索集大小来降低任务难度后, 训练三角形朝向的知觉学习效应仍未迁移到未训练三角形, 仍保持着特异性。这说明知觉学习根据任务选择或注意选择只对那些与训练任务相关的刺激表征进行重加权。知觉学习的选择性重加权理论通过改善基本保持不变的感觉表征与决策之间的关系来促进行为表现, 而早期感觉表征(V1 视觉皮层表征)的稳定性可能有助于维持先前学习任务中的表现(Dosher & Lu, 1998; Dosher & Lu, 2017)。如果感觉表征发生改变(例如搜索未训练刺激), 则需要进一步重新加权。但是这时如果没有进行知觉学习, 那么对未训练刺激的表征与决策之间的联系没有进行重新加权, 从而表现出对训练刺激的特异性。然而, 其他研究者认为改善仅局限于训练中所使用的刺激可能是由于学习效应的神经基质存在于

感觉加工的早期阶段(Karni & Sagi, 1991)，这种可塑性变化可能发生在初级视觉皮层(V1)。因为早期视觉皮层的神经元具有较小的感受野(RFs)，并对简单的刺激特征(如朝向)具有选择性，因此更容易表现出特异性。尽管一些研究者将知觉学习的特异性归为 V1 神经元的可塑性，但知觉学习的神经机制可能更复杂。知觉任务的表现随着练习而提高，大多数将知觉学习视为一个整体现象。然而，知觉学习可能并不是一个单一的现象。相反，即使是最简单的检测或感知辨别任务，也涉及到感觉处理、决策、自上而下的任务相关性、行动选择过程等大脑区域网络的参与。这些感觉过程和认知过程都可能在任务过程中发生，知觉学习可能涉及多个过程、层次和大脑区域。因此，未来研究应把知觉学习视为过程性的改变，可以从神经生理角度探究不同脑区在知觉学习不同阶段的参与情况，而并非简单的将知觉学习特异性归为 V1 皮层的加工。”

**意见 4:** 实验只进行了 3 天的训练，如何判断被试达到完全的训练效应。第三天和第二天的搜索效率是否有差异（或达到饱和），作者需要给出不同天数搜索效应的折线图。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。根据审稿老师的建议，我们在文中增加了不同天数搜索效应的折线图。由于每天的训练量很大，为了更能清楚的探究训练效应随着训练的变化，我们分析了每天前半试次和后半试次训练效应的变化（**如下图**，其中训练量 1 和 2 是第一天训练的前一半试次和后半试次；训练量 3 和 4 是第二天训练的前一半试次和后半试次；训练量 5 和 6 是第二天训练的前一半试次和后半试次），结果发现**目标出现的情况下，对目标的检测识别在第二天基本上达到训练的饱和**，第二天和第三天训练效应已经达到稳定状态。此外，我们也在文中增加了对这部分的分析结果：

**具体修改如下：**

**折线图：**

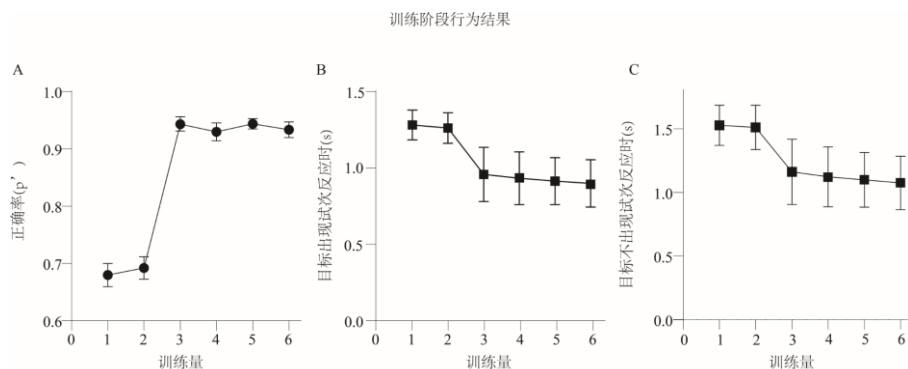


图 2：(A)不同训练量的正确率(p')结果。(B)目标出现试次中不同训练量的反应时结果。(C) 目标不出现试次中不同训练量的反应时结果。其中横坐标 1 和 2 代表第一天前半训练和后半训练；3 和 4 代表第二天前半训练和后半训练；5 和 6 代表第三天前半训练和后半训练。

### 分析结果如下:

“我们为了探究知觉学习效应随着不同训练量的变化,把每天的训练量分为前一半训练部分和后一半训练部分来进行分析(图 2),这样三天的训练可以分为 6 个训练部分(第一天的上一半训练量与下一半训练量,分别记为训练量 1 和训练量 2;第二天的上一半训练量与下一半训练量,分别记为训练量 3 和训练量 4;第三天的上一半训练量与下一半训练量,分别记为训练量 5 和训练量 6)。对于正确率( $p'$ )来说,重复测量方差分析结果发现训练量主效应显著( $F(1, 23) = 268.69, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.92$ )。进一步分析知觉学习表现随着训练量的增加不断提高,训练量 3 相比训练量 2 的正确率得到了显著的提高( $p < 0.001$ ),表明第二天的知觉学习效应相对于第一天来说得到了显著的提高。但是第二天之后,训练量 3 与训练量 4 ( $p = 0.352$ )、训练量 4 与训练量 5 ( $p = 0.221$ )、训练量 5 与训练量 6 ( $p = 0.230$ )正确率差异均不显著,表明知觉学习表现达到平稳。对于目标出现试次的反应时(RTs)来说,重复测量方差分析结果发现训练量主效应显著( $F(1, 23) = 161.28, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.88$ )。进一步分析表明,训练量 3 搜索反应相对于训练量 2 来说更快 ( $p < 0.001$ )。第二天的训练仍有显著改善,训练量 3 与训练量 4 反应时差异显著( $p < 0.05$ ),但是第二天结束之后反应时的表现已经达到平稳,训练量 4 与训练量 5( $p = 0.137$ )、训练量 5 与训练量 6( $p = 0.123$ )反应时差异不显著。对于目标不出现试次的反应时(RTs)来说,进一步分析表明,训练量 3 搜索反应相对于训练量 2 来说更快 ( $p < 0.001$ )。第二天的训练仍有显著改善,训练量 3 与训练量 4 反应时差异显著 ( $p < 0.05$ )。但是第二天后半训练(训练量 4)和第三天的前半训练(训练量 5)反应时差异不显著 ( $p = 0.352$ )。然而,第三天的训练后半训练(训练量 6)相对于前半训练(训练量 5)来说仍然有改善 ( $p < 0.05$ )。这些结果说明经过三天的训练,被试在正确率表现上和目标出现试次的反应时已经达到平稳状态,这表明了对目标检测的知觉学习效应在第二天之后就已经达到饱和状态。”

**意见 5:** 作者需要参考更多有关知觉学习经典的文献。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。根据审稿老师的意见,我们增加引用了 Doshier & Lu, 1998; Doshier & Lu, 2017; Malcolm & Henderson, 2010; Hidalgo-Sotelo et al., 2005; Spotorno et al., 2015; Liu & Weinsall, 2000 等参考文献,由于心理学报对稿件参考文献引用条目不超过 50 条,所以在引用时仅增加了与研究最为相关的经典文献。

次要问题：

**意见 6：**摘要中作者提到知觉学习可能发生在初级视觉皮层，但只是根据单纯的阴性结果推断出。需要给与更多的结果说明。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，我们结合其他审稿老师的意见，也确实发现我们根据刺激特异性的结果就认为知觉学习发生在初级视觉皮层存在一定的问题。本研究主要研究知觉学习可以提高视觉搜索表现是通过哪些视觉加工过程发生变化。结合主要研究问题，对摘要进行修改。

**具体修改如下：**

“非显著性刺激知觉学习的研究发现成人大脑具有可塑性，但是知觉学习如何影响不同的视觉加工阶段仍不清楚。通过将眼动轨迹划分为三个视觉加工阶段来考察知觉学习的学习机制：搜索潜伏期(早期)，代表的认知过程为加工当前位置及选择下一个位置的时间；浏览阶段(中期)，代表注视加工位置个数和加工时间；确定时间(后期)，代表确定当前刺激是否为目标并做出判断。结果发现训练刺激的学习效应没有迁移到未训练刺激；并且在训练后潜伏期显著增加，同时注视点个数和平均注视时间减少。说明知觉学习在早期和中期视觉加工阶段起作用，通过增加搜索潜伏期来减少眼跳的次数以及降低注视时间进而提高搜索表现。”

**意见 7：**眼动数据处理时，是否有兴趣区。即注视点落在刺激之外是否计算在内。

**回应：**常感谢审稿老师有价值的意见和建议，在本研究中，实验开始前被试需要盯着屏幕中央实验刺激才会呈现，因此被试的注视区域是从中央开始的。在中期视觉加工阶段的浏览过程，被试在视觉搜索任务中是自由眼动搜索的，浏览过程中所有注视点都计算在内。在后期视觉加工阶段的确认时间计算了最后一个注视点。由于我们对眼动指标的计算包含目标出现试次和目标不出现试次，所以就没有划分具体目标兴趣区。

**意见 8：**前言需要更多的介绍知觉学习迁移的现象，非相关领域读者很难理解迁移是什么。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，根据审稿老师的建议，我们在前言部分增加了对知觉学习迁移的介绍，**具体修改如下：**

“知觉学习有两个基本特性：迁移性与特异性(马小丽 等, 2009)。一些研究发现在知觉学习中会发生迁移现象(Ahissar & Hochstein, 1997; Tanaka et al., 2007)。迁移性是指在某个特定刺激属性的知觉学习效应可以迁移到另外一个刺激属性上(Zhang et al., 2010; 马小丽 et al., 2009)。例如，对已知特定朝向进行知觉学习，这种知觉学习效应转移到另外一个朝向

上(Zhang et al., 2010)。例如,当任务变得更容易时,知觉学习效应会在刺激之间转移(Ahissar & Hochstein, 1997)。即使对于一个困难的任務,虽然没有直接的迁移,学习的速度会提高(Liu & Weinshall, 2000)。对于联合特征(例如颜色和形状)的知觉学习来说,知觉学习效应也是可以迁移的(Lobley & Walsh, 1998; Su et al., 2014),当只有一个特征(颜色或朝向)改变时,知觉学习效应会发生良好的迁移。例如, Su 等人(2014)探究了颜色/朝向的联合特征视觉搜索任务中的知觉学习效应。结果发现当只有一个联合特征刺激属性(颜色或方向)改变时,知觉学习效应发生良好的迁移,这说明对联合特征的学习效应会迁移到与训练目标具有相同颜色或相同方向的新目标上。因此,迁移在知觉学习中也很常见(Liu & Weinshall, 2000)。然而,知觉学习的效应并不总是迁移的,在很多研究中发现对某种刺激属性的知觉学习具有特异性……”

**意见 9:** 在程序中,前测和后测的具体任务是什么,需要简单说明。以及此过程中训练刺激和非训练刺激的数量是单个还是多个。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,我们确实在实验程序中没有表述清楚实验任务,给审稿老师造成困惑。根据审稿老师的建议,我们在实验程序部分进行了修改,具体修改如下:

“整个实验共三天,分为前测、训练和后测三个过程(图 1C)。在前测和后测时,对训练刺激和未训练刺激进行测试(以朝上为训练刺激,朝右为未训练刺激为例),各 160 个试次,同时记录被试的眼动反应。在前测与后测会有两个搜索任务:搜索训练三角形任务和搜索未训练三角形任务。在搜索过程中,目标三角形的朝向只出现一个,其他三种朝向的三角形随机呈现。当被试的任务是搜索训练三角形时(例如:朝上的三角形),刺激阵列中朝上的三角形只有一个;当被试的任务是搜索未训练三角形时(例如:朝右的三角形),刺激阵列中朝右的三角形只有一个。在训练时,只对训练刺激进行训练,即搜索任务为:搜索训练三角形。整个训练过程分为三天,每天训练一次,每次共 1600 个试次(每组 400 个试次,共 4 组)。”

**意见 10:** 存在多处语句不通的情况,需要作者对语言进行更仔细的修改。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,已经对文章进行了再次检查核对,语句不通顺的地方已经进行了修改。

---



## 第二轮

### 审稿人 1 意见:

本文补充了一些关键方法和数据信息，研究结果有趣，对于深入理解知觉学习和视觉搜索的认知加工机制具有潜在意义。但是论文写作仍然存在较多问题；有些数据需要补充。

### 前言

意见 1: 关于迁移性的研究背景介绍（前言第 2 段），建议参考以下文献：

Ding et al., NeuroRort 2013, 考察了几十分钟快速学习的线段朝向特异性，发现学习效应虽然在行为上完全特异，但是脑活动上仍然存在迁移效应；

Su et al., JEPHPP 2014 和 Ding et al., PBR 2023, 分别探讨了短期（几十分钟）和长期（6-10 天）线段朝向-颜色联合搜索学习的刺激特异性，发现学习效应不能迁移至朝向和颜色特征同时变化了的目标条件，但是可以部分迁移至某个特征（朝向或颜色）发生变化了的目标条件。

回应: 非常感谢审稿老师有价值的建议。我们在前言部分增加了背景介绍，补充了相关文献的介绍，具体修改如下(正文中用紫色字体标出):

“.....Qu 等人(2013)采用纹理辨别任务的知觉学习研究背景朝向特异性和目标位置特异性是否具有相似的脑机制。研究中将一个小的目标纹理嵌入在水平或垂直条的背景中，在实验中每个试次的目标位置随机变化，并且以固定视角的方式呈现在特定象限中。对于背景朝向特异性组来说，训练和未训练刺激的目标均位于右上象限，背景朝向正交于训练和未训练刺激朝向。对于目标位置特异性组来说，训练和未训练刺激的背景朝向始终是水平方向的，而目标位置在刺激条件之间变化，呈现在在左上象限或右上象限。结果发现虽然背景朝向特异性组的学习效应在行为上完全特异，但是脑活动上仍然存在迁移效应。对于联合特征(例如颜色和形状)的知觉学习来说，知觉学习效应也是可以迁移的(Lobley & Walsh, 1998; Su et al., 2014)，当只有一个特征(颜色或朝向)改变时，知觉学习效应会发生良好的迁移。例如，Su 等人(2014)探究了颜色/朝向的联合特征视觉搜索任务中的知觉学习效应。结果发现当只有一个联合特征刺激属性(颜色或方向)改变时，知觉学习效应发生良好的转移，这说明对联合特征的学习效应会迁移到与训练目标具有相同颜色或相同方向的新目标上。此外，Su 等人(2014)和 Ding 等人 (2023)分别探讨了短期（几十分钟）和长期（6-10 天）的颜色-朝向联合搜索任务的学习机制。结果发现无论是长期还是短期知觉学习，学习效应都不能迁移至整

体特征都变化的目标条件(朝向和颜色都改变),但是可以部分迁移至某个特征发生变化了的目标条件(朝向或颜色其中一个特征变化)。……”

**意见 2:** 关于朝向特异性的介绍(前言第 3-4 段), 请注意区分“简单线段朝向”和“复杂形状指向”(例如三角形和 T 形, Qu et al., 2017 和 Hu et al., 2019)。根据现有理论知识, 初级视觉皮层是对简单线段朝向具有特异性。

**回应:** 非常感谢审稿老师的建议, 这对提高我们稿件的质量有很大的帮助, 我们对“简单线段朝向”和“复杂形状指向”的特异性进行了区分(正文中用紫色字体标出), 具体修改如下:

“对于初级感觉皮层来说, 每个神经元都有一个有限的感受野, 对特定的朝向和位置等具有特异性。但是对朝向来说, 具有简单线段朝向(Ahissar & Hochstein, 1997)和复杂形状朝向(例如三角形和 T 形)(Hu et al., 2018; Qu et al., 2017)两种, 初级视觉皮层只对简单线段朝向具有特异性。随着知觉学习的进行, 辨别该属性的神经元变得更兴奋, 那么在涉及初级视觉皮层的知觉学习不会有迁移性。因此当知觉学习涉及到早期知觉过程的变化时, 这种学习对其他任务的迁移就较少(Sagi & Tanne, 1994)。而高级视觉皮层具有更大的感受野, 单个神经元可以对不同的简单线段朝向和位置敏感(Desimone & Ungerleider, 1989)。”

**意见 3:** 前人研究已经发现颜色-朝向特征联合搜索学习会影响对训练目标(非凸显刺激)搜索的眼动加工(Zhang et al., 2022), 本研究的新意是什么? 需要说明

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的建议, 首先, Zhang 等人(2022)虽然也是从不同的眼动指标代表不同的加工阶段来探究颜色-朝向特征联合搜索学习会影响对训练目标(非显著性刺激)搜索的眼动加工, 但是没有强调早期、中期和晚期的加工; 再者, 该研究通过的眼动指标对联合特征刺激进行知觉学习, 颜色-朝向的联合属于维度间特征联结, 本研究采用的三角形是维度内特征联结, 虽然两者都属于非显著性刺激, 但是刺激联结维度的不同在知觉学习机制方面也可能存在差异; 最后, 结合 Zhang 等人(2022)与本研究发现, 在早期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制促进知觉学习, 但是在中期视觉加工阶段, 尽管几何形状(本研究采用的三角形刺激)的知觉学习和联合特征的知觉学习都有更少的注视点个数, 但联合特征在知觉学习前后的平均注视时间差异不显著(Zhang et al., 2022), 这与几何形状的知觉学习结果不一致, 这说明尽管几何形状和联合特征的知觉学习在中期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制, 但是两者之间的学习机制也并非完全相同。综上, 本研究更加明确将知觉学习划分为不同的视觉加工阶段去探究知觉学习的机制, 从而更加清楚的了解知觉学习后哪些

视觉加工过程发生变化。

方法和结果部分：

**意见 4：**请说明为什么只在不显著时报告了贝叶斯因子，显著时不报告？本研究搜索潜伏期的学习效应不是很显著（ $p=0.021$ ），对应的 BF 值是多少？

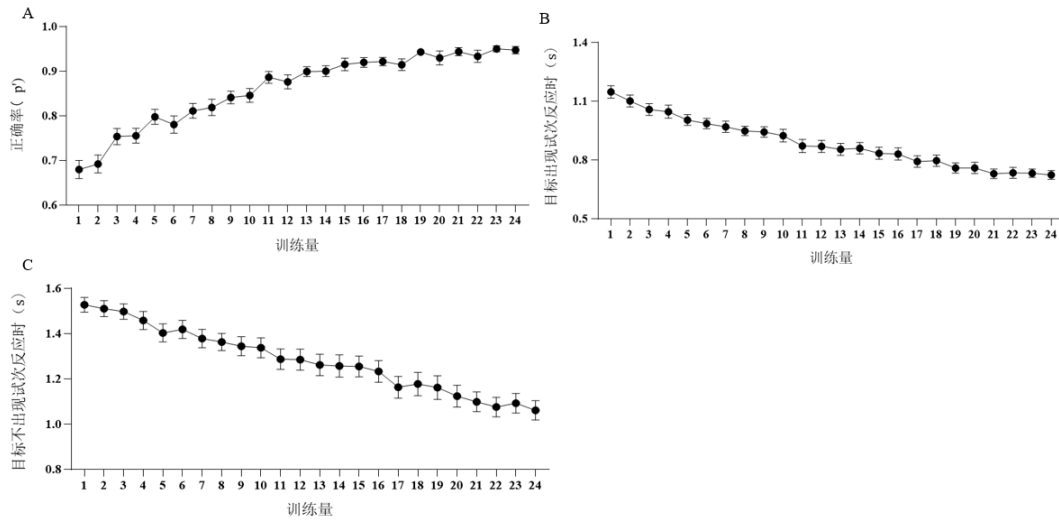
**回应：**非常感谢审稿老师有价值的建议，对于贝叶斯，我们考虑了相当于 t 检验的贝叶斯因子(BF) (Wagenmakers et al., 2018; Wasserstein & Lazar, 2016)，它评估了以评估替代假设(H1)相对于零假设(H0)的可信度。我们使用贝叶斯假设检验(Wagenmakers et al., 2018)计算了支持替代假设的贝叶斯因子  $BF_{10}$ ，以评估替代假设(H1)相对于零假设(H0)的证据强度。根据这个理论框架， $BF_{10}$  低于 1 反映了更有利于零假设的证据( $BF_{10}$  为 1-0.33 反映了较弱的证据；0.33-0.1 为中等证据； $< 0.1$  为支持零假设的非常强的证据)。因此，我们只在结果不显著时报告了贝叶斯因子  $BF_{10}$ ，以评估接受零假设的可信度(例如，在 Zhang 等人(2022)的研究中也只在不显著时报告了贝叶斯因子：Zhang, Y., Yang, Y., Wang, B., & Theeuwes, J. (2022). Spatial enhancement due to statistical learning tracks the estimated spatial probability. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 84 (4), 1077-1086.)。

此外，训练三角形的搜索潜伏期在目标出现时前测与后测的结果： $(\Delta -32.43 \pm 63.95 \text{ ms}, t(23) = -2.48, p = 0.021, \text{Cohen's } d = 0.52, 95\% \text{ CI} = [-59.43, -5.42])$ ，计算出来的 BF 值为：2.646。 $BF_{10}$  低于 1 反映了更有利于零假设的证据，但是此结果中的  $BF=2.246$ ，说明了更加支持 H1 假设，说明训练三角形的搜索潜伏期在目标出现时前测与后侧是有显著差异的。

**意见 5：**行为成绩（正确率和反应时）结果：第一天内的两个阶段（训练量 1 和训练量 2）之间没有显著差异，但是和第 2 天的第一个阶段（训练量 3）差异非常显著；这是很有趣的一个结果。建议更细致分析并呈现每一天（特别是第一天）的正确率和反应时，看看第一天内（例如划分为 8 组或更多）是否存在快速学习和疲劳效应。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的建议，我们将每一天的训练分为 8 组（共 24 组），正确率和反应时结果如下图所示。

训练阶段行为结果



进行结果分析之后有以下发现：

①对于正确率来说：第一天的8组中，训练量2与训练量3差异显著( $p < 0.001$ )，训练量4与训练量5差异显著( $p < 0.01$ )，训练量6与训练量7差异显著( $p < 0.01$ )；而在第二天的8组中，只有训练量10与训练量11差异显著( $p < 0.01$ )以及训练量12与训练量13差异显著( $p < 0.05$ )；然而，在第三天的8组中，仅有训练量18和训练量19差异显著( $p < 0.05$ )。这说明在三天的训练中，在第一天的学习是比较迅速的，在第三天的学习就比较缓慢。此外，每天的最后一组与下一天的第一组的差异都是不显著的(8组与9组，16组与17组)。

②对于目标出现试次的反应时结果来说：第一天的8组中，训练量1与训练量2差异显著( $p < 0.01$ )，训练量2与训练量3差异显著( $p < 0.05$ )，训练量4与训练量5差异显著( $p < 0.05$ )；而在第二天的8组中，只有训练量10与训练量11差异显著( $p < 0.001$ )以及训练量14与训练量15差异显著( $p < 0.05$ )；然而，在第三天的8组中，仅有训练量18和训练量19差异显著( $p < 0.001$ )以及训练量20和训练量21差异显著( $p < 0.05$ )。这说明在三天的训练中，在第一天的学习是比较迅速的，相比于第一天在后面两天的学习就比较缓慢。此外，第一天的最后一组与第二天的第一组的差异不显著(8组与9组)，但是第二天的最后一组与第三天的第一组差异显著(16组与17组:  $p < 0.001$ )。

③对于目标不出现试次的反应时结果来说：第一天的8组中，训练量3与训练量4差异显著( $p < 0.05$ )，训练量4与训练量5差异显著( $p < 0.01$ )，训练量6与训练量7差异显著( $p < 0.01$ )；而在第二天的8组中，只有训练量10与训练量11差异显著( $p < 0.001$ )；然而，在第三天的8组中，训练量19和训练量20差异显著( $p < 0.001$ )，训练量21和训练量22差异显著( $p < 0.05$ )以及训练量23和训练量24差异显著( $p < 0.05$ )。此外，第一天的最后一组与第二

天的第一组的差异不显著(8组与9组),但是第二天的最后一组与第三天的第一组差异显著(16组与17组:  $p < 0.01$ )

综合来说,结果发现:对于正确率来说,在经过前一天的知觉学习后,第二天接着第一天的学习效果继续进行学习,并且在第一天的学习是比较迅速的,相比于第一天在后面两天的学习就比较缓慢。但是对于反应时来说,第二天接着第一天的学习效果继续进行学习,在第三天第一个训练量相对于第二天的最后一个训练量学习效果显著提升,这可能是由于第二天的训练停止后,知觉学习在两次训练间隔发生了线下增益(Tamaki et al., 2020),这种情况可能是由于睡眠导致知觉学习的改善(Tamaki et al., 2020; Yang et al., 2022)。此外,在每天的训练过程中知觉表现仍然是有改善的,但是改善随着训练量的增加就比较缓慢,这说明可能存在一定的疲劳效应。

我们将相关内容也补充到文章中(用紫色字体标出),具体修改如下:

“当把每天的训练量分为前半训练部分和后半训练部分来进行分析时发现第一天内的两个阶段(训练量1和训练量2)之间没有显著差异,但是和第2天的第一个阶段(训练量3)差异非常显著,为了更加清楚探究训练效应随着训练的变化,我们将每一天的训练划分为8组(共24个训练量),结果如图4所示。对于正确率来说:第一天的8组中,训练量2与训练量3差异显著( $p < 0.001$ ),训练量4与训练量5差异显著( $p < 0.01$ ),训练量6与训练量7差异显著( $p < 0.01$ );而在第二天的8组中,只有训练量10与训练量11差异显著( $p < 0.01$ )以及训练量12与训练量13差异显著( $p < 0.05$ );然而,在第三天的8组中,仅有训练量18和训练量19差异显著( $p < 0.05$ )。这说明在三天的训练中,在第一天的学习是比较迅速的,在第三天的学习就比较缓慢。此外,每天的最后一组与下一天的第一组的差异都是不显著的(8组与9组,16组与17组)。对于目标出现试次反应时结果来说:第一天的8组中,训练量1与训练量2差异显著( $p < 0.01$ ),训练量2与训练量3差异显著( $p < 0.05$ ),训练量4与训练量5差异显著( $p < 0.05$ );而在第二天的8组中,只有训练量10与训练量11差异显著( $p < 0.001$ )以及训练量14与训练量15差异显著( $p < 0.05$ );然而,在第三天的8组中,仅有训练量18和训练量19差异显著( $p < 0.001$ )以及训练量20和训练量21差异显著( $p < 0.05$ )。这说明在三天的训练中,在第一天的学习是比较迅速的,相比于第一天在后面两天的学习就比较缓慢。此外,第一天的最后一组与第二天的第一组的差异不显著(8组与9组),但是第二天的最后一组与第三天的第一组差异显著(16组与17组:  $p < 0.001$ )。对于目标不出现试次反应时结果来说:第一天的8组中,训练量3与训练量4差异显著( $p < 0.05$ ),训练量4与训练量5差异显著( $p < 0.01$ ),训练量6与训练量7差异显著( $p < 0.01$ );而在第二天的8组中,只有训练量



10 与训练量 11 差异显著( $p < 0.001$ ); 然而, 在第三天的 8 组中, 训练量 19 和训练量 20 差异显著( $p < 0.001$ ), 训练量 21 和训练量 22 差异显著 ( $p < 0.05$ )以及训练量 23 和训练量 24 差异显著( $p < 0.05$ )。此外, 第一天的最后一组与第二天的第一组的差异不显著(8 组与 9 组), 但是第二天的最后一组与第三天的第一组差异显著(16 组与 17 组:  $p < 0.01$ )。总之, 对于正确率来说在学习过程中不存在疲劳效应, 在经过前一天的知觉学习后, 第二天接着第一天的学习效果继续进行学习, 并且在第一天的学习是比较迅速的, 相比于第一天在后面两天的学习就比较缓慢。但是对于反应时来说, 第二天接着第一天的学习效果继续进行学习, 在第三天第一个训练量相对于第二天的最后一个训练量学习效果显著提升, 这可能是由于第二天的训练停止后, 知觉学习在两次训练间隔发生了线下增益(Tamaki et al., 2020), 这种情况可能是由于睡眠导致知觉学习的改善(Tamaki et al., 2020; Yang et al., 2022)。”

意见 6: 请补充报告眼动数据分析中, 训练和非训练条件, 分别在前后测时, 目标出现试次和目标不出现时的正确试次数目 (即, 图 4-7 中, 各个条件对应的试次数目)。

回应: 非常感谢审稿老师有价值的建议, 前测与后测的总试次数为 160, 目标出现的概率为 50%, 因此目标出现和不出现的试次各有 80 个试次。下图是分别在目标出现试次和目标不出现试次中, 前测与后测搜索训练三角形和未训练三角形的正确试次个数。在正文中对该图进行了补充。

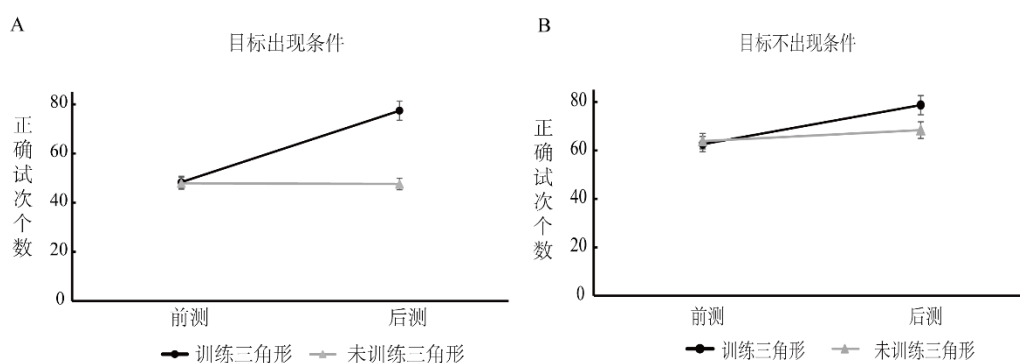


图 2: (A)目标出现条件下在前后测中搜索训练三角与未训练三角形的正确试次个数。(B) 目标不出现条件下在前后测中搜索训练三角与未训练三角形的正确试次个数。

讨论和结论部分, 请加强论述的条理性、逻辑性和严谨性 (论述时尽可能给出证据)。

意见 7: 讨论第 1 段: “训练刺激的搜索潜伏期在知觉学习后显著增加, 说明在眼跳前需要

更长的时间对刺激特征进行编码，这与表征修正假说相矛盾”，这句话有什么依据？

相对于“搜索潜伏期”，注视点个数的训练效应更显著（看似更稳定可靠的学习效应，与 Zhang et al., 2022 一致），有目标条件训练后注视点个数平均只比 1 大一点（说明大多数试次第一次就注视到了目标？），该结果的意义可能更清晰，建议加强对该结果的讨论。关于搜索潜伏期为什么在学习后显著变长，文中将其与注意点个数变少关联起来进行了论述，但是这个论述的证据还不充分。可以考虑将训练后注视点个数仅为 1 的试次和其它试次进行比较，考察两者的搜索潜伏期差异，可能更好理解“搜索潜伏期”的意义。

总之，需要为研究结论“知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而提高搜索表现”提供更多依据；如果证据不足，建议在表述上弱化该结论。

回应：非常感谢审稿老师有价值的建议，“训练刺激的搜索潜伏期在知觉学习后显著增加，说明在眼跳前需要更长的时间对刺激特征进行编码，这与表征修正假说相矛盾”是根据表征修正假说的定义进行分析得到的。我们理解的是：根据表征修正假说，知觉学习的效果主要体现在对刺激特征进行早期编码的改善上。如果按照表征修正假说，那么知觉学习效果主要是通过对刺激特征进行早期编码的改善，那么搜索潜伏期是缩短的(早期编码改善所致)，但是我们的结果却是知觉学习之后需要更长的搜索潜伏期来进行搜索，所以我们推断这可能与表征修正假说不一致。如果我们有不准确的理解或者还需要有进一步完善的地方，恳请您能够再次指正，给我们修改的机会，我们愿意做进一步的修改和完善。

此外，根据审稿老师的意见和建议，我们将训练后第一次就注视到了目标的试次和其它试次进行比较。我们分析了所有试次中的正确反应结果（没有划分为目标出现试次和目标没有出现试次的原因：因为我们对于眼动结果是分析的正确反应的结果，对于有的被试来说，训练之后当目标出现时总是第一眼能够正确识别到目标。这就造成在训练后目标出现条件下，某些被试首次注视到目标的正确反应试次为 100%，而其它正确反应试次为 0%。为了便于分析，所以我们分析了所有试次中首次注视到目标的试次和其它试次正确反应结果）。结果发现，首次注视到目标试次的搜索潜伏期要比其它试次更长( $\Delta 29.63 \pm 33.64\text{ms}$ ,  $t(23) = 4.26$ ,  $p < 0.001$ , Cohen's  $d = 0.89$ , 95% CI = [19.02, 43.42])，此外，我们也发现首次注视到目标试次的平均注视时间也要比其它试次更短( $\Delta -61.26 \pm 43.71\text{ms}$ ,  $t(23) = -6.87$ ,  $p < 0.001$ , Cohen's  $d = 1.43$ , 95% CI = [-79.23, -42.81])，基于此部分结果，我们在文中研究结论部分“知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而提高搜索表现”增加了依据(正文中用紫色字体标出)，并且在表述上也弱化该因果

性质的结论。

**具体修改如下：**

“……说明知觉学习可能是通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少眼跳的次数和时间，进而提高搜索表现。为了进一步证明知觉学习可能是通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置来促进搜索，本研究又将首次注视到目标的试次和其它试次进行比较，来考察两者的搜索潜伏期差异。结果发现，首次注视到目标试次的搜索潜伏期要比其它试次更长( $p < 0.001$ )，此外，我们也发现首次注视到目标试次的平均注视时间也要比其它试次更短( $p < 0.001$ )，这说明了知觉学习可能是通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而促进搜索。”

**意见 8：**讨论第 2 段：与本文结果有什么关联，本文（或前人利用类似范式的研究）有什么证据来支持这一段的讨论？Qu et al., 2017 已有明确证据表明来自外纹状视皮层 LOC 的 N2pc 学习效应，Zhang et al.(2022)也发现了特异于训练目标的 N2pc 学习效应，如何结合本文结果来进行理解？

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的建议，讨论第 2 段就任务难度与前人研究结果进行比较，用选择性重加权理论解释了结果，并对知觉学习的神经机制进行了探讨，本文是通过考察不同的眼动指标所代表的视觉加工阶段探讨知觉学习的促进搜索的学习机制，从神经生理角度探究不同脑区在知觉学习不同阶段的参与情况与本文的研究理念相似，都是分析不同阶段在知觉学习过程中的机制，我们增加了这部分的讨论(正文用紫色标出)，但本文并未记录相应的指标，所以只进行简单探讨，**具体修改如下：**

“本研究采用 Qu 等人(2017)的实验范式，通过将眼动指标划分为三个阶段探究知觉学习……此外，Qu 等人(2017)的研究也证明了来自外纹状视皮层 LOC 的 N2pc 学习效应，不仅如此，Zhang 等人(2022)也发现了特异于训练目标的 N2pc 学习效应，对于知觉学习中 N2pc 成分地发现可能反映了空间注意集中到任务相关的目标刺激，在眼动产生之前将注意力进行分配，以优化之后的搜索过程。因为只有在眼动产生之前将隐蔽注意力分配给刺激时，才能观察到眼动前 N2pc 成分(Talcott & Gaspelin, 2021)。本文发现在知觉学习后注视点个数以及平均注视时间减少，这可能在眼动之前就对隐蔽注意力进行分配，从而对刺激进行编码促进了搜索过程。”

**意见 9：**讨论第 3 段：关于维度内特征联结（如本文“非凸显形状”）和维度间特征联结（e.g.,

颜色-朝向联结)的异同,请参考引用 Ding et al., PBR 2023 (见第一次审稿意见);此外,在将本研究和前人视觉搜索学习研究进行比较时,还需要考虑训练时间和难度的可能影响。

回应:非常感谢审稿老师有价值的建议,通过阅读 Ding 等人(2023)的文献,在讨论部分增加了“维度内特征联结和维度间特征联结(颜色-朝向联结)”以及“训练时间和难度”对知觉学习影响的讨论(用紫色字体标出)。

#### 具体修改如下:

“此外, Ding 等人(2023)使用颜色-朝向联合特征进行知觉学习之后同样发现联合特征的学习效果可以部分转移到与被训练目标具有相同颜色或相同方向的新目标上,并且学习效应的总量近似等于单个特征迁移效应的总和。结果表明对联合特征的知觉学习后并不是形成一个新的不可分割的特征,而是对单个特征进行学习的,说明了对联合特征知觉学习是基于特征的注意增强机制。不仅如此, Ding 等人(2023)对维度内特征联结(如三角形)和维度间特征联结(如颜色-朝向联结)的知觉学习也进行了讨论,维度内特征联结的几何形状可能会在知觉学习后形成一个新的功能单元。维度间联合特征的学习效应可以迁移到与之相同的单一刺激属性上,这实际上反映了基于特征的注意是联合特征搜索中知觉学习的潜在机制(Ding et al., 2023; Su et al., 2014)。根据单元化假设(unitization hypothesis),维度内联合特征经过知觉后会形成一个与联合特征相对应的新的功能单元(Czerwinski et al., 1992),并且知觉学习效应特异于训练目标,不能迁移到任何新的目标上(Su et al., 2014)。总之,这些结果表明维度内联合特征和维度间联合特征的知觉学习可能存在不同的机制,未来研究需要更多的电生理证据从更深层次脑区加工的角度来探究两者之间的学习机制。”

“Qu 等人(2017)在任务较难的情况下没有发现知觉学习的迁移性……实际上,不同训练难度对知觉学习的结果也有不同影响。较简单的任务被认为发生在高级视皮层,因此会出现较强的迁移性。然而较困难和精细的任务被认为发生在初级视觉皮层,需要自上而下的调节,进而会影响视觉加工的准确性,因而表现出较强的特异性(Ahissar & Hochstein, 1997)。与简单的线段朝向相比,复杂刺激的学习较难,被试需要的辨别和编码时间较长,所以需要较长的训练才能出现知觉学习效应。除了难度对知觉学习效果有影响之外,训练时间对知觉学习也有不同影响。有研究发现在短短一个小时的训练后,知觉学习的成绩迅速提高(Fahle et al., 1995),同样 Ahissar 与 Hochstein (1996)在对 pop-out 检测的知觉学习中也发现,在较短时间内的知觉学习朝向特异性就发生了改变。但另一些研究发现,被试对朝向的敏感性在知觉学习 6 天后才有显著提高(Matthews et al., 1999)。Karni 与 Sagi (1993)提出知觉学习可能有快速学习阶段和慢速学习阶段。快速学习阶段是在训练后短时间有了显著改善;而慢速

学习阶段是在最后一次训练后 6~8 小时之后才表现出明显的改善，这一阶段的变化通常与睡眠有关。而本研究训练时间为三天，将每一天划分为前一半学习量和后一半学习量发现，第一天的前一半学习量和后一半学习量没有变化，但是第二天的知觉学习效应相对于第一天来说得到了显著的提高，表明非显著刺激的知觉学习在慢速学习阶段有所改善。”

**意见 10:** 建议将本文研究发现和前人眼动研究 (e.g.,前言中提及的文献) 进行更全面的比较, 哪些结果和前人一致, 哪些不一致, 哪些是本研究新发现? 等等; 请结合本研究发现 (包括与前人比较) 和 3 个眼动指标的含义更清晰有条理地阐述本研究发现的意义。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的建议, 我们将前人眼动研究与本研究进行了比较, 具体如下:

“一些研究者同样记录了知觉学习期间的眼动轨迹, 发现知觉学习后潜伏期增长, 眼跳次数减少(Zhang et al., 2022; Malcolm & Henderson, 2010)), 这与本研究结果一致。但是一些研究者发现知觉学习后平均注视时间更长(Malcolm & Henderson, 2010), 或者差异不显著(Zhang et al., 2022)。例如, Zhang 等人(2022)将联合特征刺激(颜色和朝向特征的联合, 例如红色竖线)的知觉学习划分为不同的阶段, 实验中采用颜色(红、绿)和朝向的联合特征刺激作为搜索任务的目标和干扰物, 实验中对红色竖线进行知觉学习, 在知觉学习前后对红色竖线(与知觉学习刺激的朝向和颜色完全相同), 红色横线(与知觉学习刺激的颜色相同, 朝向不同), 以及绿色竖线(与知觉学习刺激的朝向相同, 颜色不同)进行测试。结果发现, 无论是与知觉学习的刺激属性完全一致的联合特征, 还是与其中一种刺激属性相同的联合特征来说, 眼动结果都发现了在知觉学习后有更长的潜伏期。在本研究中采用的几何形状(知觉学习特征仅为不同的朝向)的知觉学习同样发现知觉学习后潜伏期更长。这说明无论是几何形状的知觉学习还是联合特征的知觉学习, 在早期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制促进知觉学习。但是在中期视觉加工阶段, 尽管几何形状的知觉学习和联合特征的知觉学习都有更少的注视点个数, 但联合特征在知觉学习前后的平均注视时间差异不显著(Zhang et al., 2022), 这与几何形状的知觉学习结果不一致, 这说明尽管几何形状和联合特征的知觉学习在中期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制, 但是两者之间的学习机制也并非完全相同。Ding 等人(2023) 同样使用颜色-朝向联合特征进行知觉学习之后同样发现联合特征的学习效果可以部分转移到与被训练目标具有相同颜色或相同方向的新目标上, 并且学习效应的总量近似等于单个特征迁移效应的总和。结果表明对联合特征的知觉学习后并不是形成一个新的不可分



割的特征，而是对单个特征进行学习的，说明了对联合特征知觉学习是基于特征的注意增强机制。不仅如此，Ding 等人(2023) 对维度内特征联结(如三角形)和维度间特征联结(如颜色-朝向联结)的知觉学习进行了讨论，维度内特征联结的几何形状可能会在知觉学习后形成一个新的功能单元。维度间联合特征的学习效应可以迁移到与之相同的单一刺激属性上，这实际上反映了基于特征的注意是联合特征搜索中知觉学习的潜在机制(Ding et al., 2023; Su et al., 2014)。根据单元化假设(unitization hypothesis)，维度内联合特征经过知觉后会形成一个与联合特征相对应的新的功能单元(Czerwinski et al., 1992)，并且知觉学习效应特异于训练目标，不能迁移到任何新的目标上(Su et al., 2014)。这些结果表明维度内联合特征和维度间联合特征的知觉学习可能存在不同的机制，未来研究需要更多的电生理证据从更深层次脑区加工的角度来探究两者之间的学习机制。”

意见 11：另外，建议通篇检查文字表达，加强文章的简洁清晰和可读性。例如，3.1 行为结果，“这些结果表明，训练三角形的正确率和 RTs 在知觉学习后表现出明显的学习效果，并且这种效果不会迁移到未训练三角形上。”重复出现了两次，冗余。

回应：非常感谢审稿老师认真阅读我们的稿件，我们对这部分内容进行了修改，此外，我们也对全篇文章进行了阅读修改，避免重复类型的错误出现。

.....

审稿人 3 意见：

此稿件在 Qu 等人(2017)的研究基础上，探究知觉学习中非显著性刺激视觉加工的学习机制。针对上一轮稿件中的许多问题，作者进行了适当修改，提高了稿件质量。但是通读最新的稿件，仍有一些问题需要作者回复或者修改：

意见 1：论文写作不够准确清晰、逻辑性不足，请进行全文修改。比如摘要第二句，写的十分拗口，每个阶段对应的指标也没有说清楚，导致第三句结果部分也很突兀，让读者难以理解。

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，对于摘要部分我们清晰化每个阶段对应的指标，不通顺的地方也进行了改正（用蓝色标出）。

具体修改如下：

“非显著性刺激知觉学习的研究发现成人脑具有可塑性，但是知觉学习如何影响不同的视觉加工阶段仍不清楚。通过将眼动指标划分为三个视觉加工阶段来探究知觉学习的学习

机制：搜索潜伏期(早期)，代表的认知过程为加工当前位置及选择下一个位置的时间；注视点个数和平均注视时间(中期)，代表搜索过程中注视加工位置个数和平均加工时间；确定时间(后期)，代表确定当前刺激是否为目标并做出判断。结果发现训练刺激的学习效应没有迁移到未训练刺激；并且在训练后潜伏期显著增加，同时注视点个数和平均注视时间减少。说明知觉学习在早期和中期视觉加工阶段起作用，可能是增加搜索潜伏期来减少眼跳的次数以及降低注视时间进而提高搜索表现。”

意见 2：通过增加搜索潜伏期来减少眼跳的次数以及降低注视时间进而提高搜索表现”这种因果性质的表达是否合适？是否被证明？

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，“通过增加搜索潜伏期来减少眼跳的次数以及降低注视时间进而提高搜索表现”这种描述确实证据还不充分，对此我们结合审稿老师 2 提出的问题进行修改。我们将训练后注视点个数为 1 的试次和其它试次进行比较，考察两者的搜索潜伏期差异，为研究结论“知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而提高搜索表现”提供更多依据。此外，我们在表述上也弱化了因果性质的结论。

我们将训练后第一次就注视到了目标的试次和其它试次进行比较。我们分析了所有试次中的正确反应结果（没有划分为目标出现试次和目标没有出现试次的原因：因为我们对于眼动结果是分析的正确反应的结果，对于有的被试来说，训练之后当目标出现时总是第一眼能够正确识别到目标。这就造成在训练后目标出现条件下，某些被试首次注视到目标的正确反应试次为 100%，而其它正确反应试次为 0%。为了便于分析，所以我们分析了所有试次中首次注视到目标的试次和其它试次正确反应结果）。结果发现，首次注视到目标试次的搜索潜伏期要比其它试次更长( $\Delta 29.63 \pm 33.64\text{ms}$ ,  $t(23) = 4.26$ ,  $p < 0.001$ , Cohen's  $d = 0.89$ , 95% CI = [19.02, 43.42])，此外，我们也发现首次注视到目标试次的平均注视时间也要比其它试次更短( $\Delta -61.26 \pm 43.71\text{ms}$ ,  $t(23) = -6.87$ ,  $p < 0.001$ , Cohen's  $d = 1.43$ , 95% CI = [-79.23, -42.81])，基于此部分结果，我们在文中研究结论部分“知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而提高搜索表现”增加了依据，并且在表述上也弱化该因果性质的结论(正文中用紫色字体标出)。

具体修改如下：

“……说明知觉学习可能是通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少眼跳的次数和时间，进而提高搜索表现。为了进一步证明知觉学习可能通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏

期来减少搜索的位置来促进搜索，本研究又将首次注视到目标的试次和其它试次进行比较，来考察两者的搜索潜伏期差异。结果发现，首次注视到目标试次的搜索潜伏期要比其它试次更长( $p < 0.001$ )，此外，我们也发现首次注视到目标试次的平均注视时间也要比其它试次更短( $p < 0.001$ )，这说明了知觉学习可能是通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而促进搜索。”

#### 其它部分修改如下：

将结论“知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而提高搜索表现”更改为“**知觉学习可能是通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而提高搜索表现**”

**意见 3：**反应时窗口设为 2s 是否合理？根据图 3 中数据，目标不出现条件下前测的平均反应时已经达到 1.7s 上下，此时 2s 的时间窗口是否太短？这一部分试次比例是多少，或者说正确拒斥试次占比多少？此外反应时数据是否剔除三个标准差之外的数据？

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的建议。我们计算了所有被试未在 2s 内按键的反应比例，对于目标出现试次来说，这部分比例为  $0.03 \pm 0.02\%$ ；对于目标不出现试次来说，这部分比例为  $0.05 \pm 0.03\%$ .说明大部分被试是能够在 2s 以内进行反应的。我们也计算了正确拒斥试次的比例，该部分的比例为  $0.85 \pm 0.08\%$ 。此外，剔除三个标准差以外的数据后，重新分析反应时的数据，反应时的结果显著性不变。所有被试以下表格是每个被试在目标不出现条件下训练刺激和未训练刺激在前测的反应时结果（未剔除三个标准差之外的数据结果）：

被试	训练刺激前测反应时	未训练刺激前测反应时
1	1.61	1.21
2	1.56	1.57
3	1.72	1.71
4	1.82	1.81
5	1.73	1.80
6	1.75	1.65
7	1.58	1.69
8	1.62	1.61
9	1.58	1.56
10	1.66	1.64
11	1.63	1.53
12	1.74	1.62
13	1.68	1.73
14	1.66	1.63

15	1.68	1.70
16	1.57	1.56
17	1.62	1.43
18	1.67	1.54
19	1.62	1.64
20	1.72	1.64
21	1.76	1.72
22	1.64	1.69
23	1.40	1.40
24	1.63	1.74

此外，我们对反应时进行分析时，没有剔除三个标准差之外的数据，对此，我们剔除了三个标准差之外的数据并进行了重新分析，对文章中反应时结果也进行了更正（用蓝色字体标出），剔除三个标准差以外的数据后，重新分析反应时的数据，反应时的结果显著性不变。以下表格是每个被试在目标不出现条件下训练刺激和未训练刺激在前测的反应时结果（剔除三个标准差之外的数据结果）：

被试	训练刺激前测反应时	未训练刺激前测反应时
1	1.61	1.21
2	1.56	1.57
3	1.72	1.71
4	1.82	1.81
5	1.75	1.81
6	1.75	1.65
7	1.58	1.70
8	1.62	1.61
9	1.58	1.56
10	1.66	1.64
11	1.63	1.53
12	1.75	1.62
13	1.71	1.73
14	1.67	1.63
15	1.68	1.70
16	1.57	1.56
17	1.62	1.43
18	1.67	1.54
19	1.62	1.64
20	1.72	1.64
21	1.76	1.73
22	1.64	1.69
23	1.40	1.40

意见 4: 目标出现和不出现试次结果之间的差异, 及其可能代表的认知加工过程差异应该被讨论。

回应: 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。在讨论部分已经增加了对目标出现和不出现试次结果的讨论 (用蓝色字体标出)。

具体修改如下:

“本研究采用 Qu 等人(2017)的实验范式, 通过将眼动指标划分为三个阶段探究知觉学习对不同视觉加工阶段的影响: 早期视觉加工阶段(搜索潜伏期)、中期视觉加工阶段(浏览阶段: 平均注视时间和注视点个数), 以及后期视觉加工阶段(确认时间)。将整个视觉搜索的过程划分为这三个阶段, 更能直观地探究知觉学习对不同视觉加工阶段产生的影响。本研究结果发现训练刺激在搜索潜伏期和浏览阶段出现了显著的知觉效应。然而代表后期视觉加工阶段的确认时间在前后测差异不显著。这表明知觉学习效应发生在视觉加工的相对早期阶段。事实上, 也有研究者将知觉学习对视觉加工的影响划分为两个不同的层级: 早期感官表征的变化以及在任务中根据表征进行决策时的变化。主要有两种假说解释知觉学习的机制: 表征修正假说(representation modification hypothesis)和特定任务选择性重加权假说(task-specific selective reweighting hypothesis)。表征修正假说认为知觉学习的效果主要体现在对刺激特征进行早期编码的改善上(Karni & Sagi, 1991)。与这种观点相反的是, 特定任务选择性重加权假说认为行为表现的提高可能是知觉学习根据早期视觉表征与决策之间的联系进行重新加权的结果(Dosher & Lu, 1998)。在本研究中, 训练刺激的搜索潜伏期在知觉学习后显著增加, 说明在眼跳前需要更长的时间对刺激特征进行编码, 这与表征修正假说相矛盾。而注视点个数以及平均注视时间在知觉学习后显著减少, 这说明视觉系统会选择早期视觉表征中的哪些对当前任务最具诊断性的特征, 并加强编码这些刺激特征来进行重新加权。随着视觉系统逐渐将较高的权重分配给任务相关的特征, 而将较低的权重分配给不相关的特征, 就需要更少的注视点的个数和平均注视点将注意定位到目标上。这与特定任务选择性重加权假说一致, 说明知觉学习可以通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少眼跳的次数和时间, 进而提高搜索表现。知觉学习对行为表现的改善主要发生在早期感觉表征和各种特定任务反应选择区域之间的联系中。此外, 根据双可塑性模型(Dual-Plasticity model)假设, 无论注意力是否存在都可以发生知觉学习效应(Shibata et al., 2014; Watanabe & Sasaki, 2015)。这个理论提出了两种类型的知觉学习可塑性: 基于特征的可塑性和基于任务的可塑性。基于特征的可塑性被定义为特征表示的变化。基于任务的可塑性被定义为与训练任务相关的加工过程的变化

(Nguyen et al., 2020)。这两种可塑性说明了知觉学习存在着不同的机制。根据这一模型，与基于特征的可塑性相关的变化应被视为对训练特征的神经反应的变化，然而基于任务的可塑性源于对训练任务的参与，这与视觉表征和认知区域之间的连接性的变化相关(Shibata et al., 2016)。在本研究中，如果知觉学习是基于特征的可塑性，那么目标特征不出现时，被试的知觉学习效应不会与目标特征出现时相似，至少两种情况的知觉学习效果是有差异的。而本研究结果发现搜索潜伏期、注视点个数以及确认时间无论在目标特征出现或者不出现时的知觉学习效应都是一致的。如果这说明这对训练刺激的知觉学习是基于任务的可塑性，这也与特定任务选择性重加权假说一致。”

**意见 5:** 文章题目强调非显著视觉刺激，其与显著性视觉刺激的差异（也是本文的创新之处）应被简要讨论，或者简要引入。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，根据审稿老师的建议，我们在第三段将相关内容进行补充。

**具体修改如下:**

“在视觉实验中，显著性视觉刺激则是在环境中相对醒目的刺激，比如说明亮的交通灯、颜色鲜艳的广告牌等等，因其与周围环境的巨大对比而会更容易引起人们的注意和记忆，从而更容易被记住和识别。而非显著视觉刺激是指搜索的目标和背景同质，相似性高。比如在不同朝向的三角形中搜索某个特定朝向的三角形。因此非显著性刺激需要观察者花费更多时间和精力去寻找或者识别。研究者们普遍认为，……”

**意见 6:** 联合特征刺激的讨论是否有必要？

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的建议。我们后面对联合特征刺激的研究(Zhang et al., 2022)进行讨论是因为研究选择的联合特征刺激也是非显著性刺激，在经过大量试次的训练达到知觉学习的效果，本研究对该研究的联合特征刺激进行讨论可以更加全面的了解知觉学习的机制。我们通过与该研究比较发现：在知觉学习后无论是联合特征刺激还是几何形状(知觉学习特征仅为不同的朝向)在知觉学习后潜伏期更长，这说明在早期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制促进知觉学习。但是在中期视觉加工阶段，尽管几何形状的知觉学习和联合特征的知觉学习都有更少的注视点个数，但联合特征在知觉学习前后的平均注视时间差异不显著，这说明中期视觉加工阶段两者之间的学习机制并不相同。

---



### 第三轮

审稿人 1 意见：

论文写作还是存在较多问题，强烈建议请有经验研究者指导把关论文写作；补充数据有明显问题，请通篇仔细检查文章数据和文字表述，认真修改对待。具体请见文档批注。

意见 1：（1）“我们将训练后第一次就注视到了目标的试次和其它试次进行比较。我们分析了所有试次中的正确反应结果”？？？

（2）“因为我们对于眼动结果是分析的正确反应的结果，对于有的被试来说，训练之后当目标出现时总是第一眼能够正确识别到目标。”其他被试呢？

（3）“所以我们分析了所有试次中首次注视到目标的试次和其它试次正确反应结果。”如何定义“目标没有出现时，首次注视到目标的试次”呢？如果比较的是所有试次中，只注视了一次的试次和注视了多次的试次，两者之间的比较存在“是否有目标”这混淆变量的影响。

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，以上（1）-（3）3 个问题的内容是为了回答上一轮审稿专家提出的意见，额外提供的其他证据，目前已全部删除。

（1）和（2）的确是表述不明确，（3）部分因为后侧第一注视点落到非目标试次为空值得被试较多，所以我们将目标未出现试次作为落到非目标试次进行了分析，但这样分析是不合适的，因此，我们在文章中删除了这部分的所有内容。

意见 2：关于“搜索潜伏期含义”这个问题，审稿老师在不同的位置提出了类似的问题，所以我们在这里进行了整理，以便回复。摘要第二句“搜索潜伏期(早期)，代表的认知过程为加工当前位置及选择下一个位置的时间”搜索潜伏期的含义究竟是什么？本研究发现的搜索潜伏期延长说明了什么。前言第七段第三句“我们假设，在早期视觉加工阶段，知觉学习会通过改变搜索潜伏期来促进搜索”搜索潜伏期变长或变短分别说明什么呢？

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，我们在文中确实没有明确搜索潜伏期含义，因此在文中前言部分增加了搜索潜伏期含义和相关文献，来说明本文发现搜索潜伏期延长，可能与内隐注意有关，反应了在眼跳之前被试已经出现了对目标位置的内隐注意。具体修改如下：

“我们参考前人研究将眼动划分三个阶段(Malcolm & Henderson, 2009)来探讨非显著性刺激的知觉学习机制：第一个阶段为早期视觉加工阶段，选择搜索潜伏期作为分析指标，代表加

工当前位置及选择下一个位置的认知过程,搜索潜伏期可能反应了在眼跳之前被试内隐注意的分配(Kowler et al., 1995; Q. Zhang et al., 2022)。有研究发现在眼跳之前,注意就已经被分配到了目标出现的位置(Casteau & Smith, 2020; Kowler et al., 1995)。在 Kowler 等人(1995)的实验中,被试需要完成两种搜索任务,随机搜索和固定搜索,在两种任务中的搜索屏呈现之前,中央会出现一个箭头随机指向一个字母位置,在随机搜索中,被试只需要随机选择一个出现的字母报告,而在固定搜索中被试需要报告最右侧的字母,结果发现固定搜索的潜伏期显著长于随机搜索,说明注意的转移先于眼跳。Q. Zhang 等人(2022)的研究发现,在知觉学习后,搜索潜伏期延长,并在第一次眼跳前观察到了特异于训练目标的 N2pc 成分,认为被试在眼跳前已经将内隐注意分配到目标位置。因此我们假设,如果知觉学习后,早期视觉加工阶段即搜索潜伏期显著变长,说明被试通过增强内隐注意来促进搜索。”

**意见 3:** 讨论第一段第九句“在眼跳前需要更长的时间对刺激特征进行编码”说明了什么?

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,此部分内容与重加权理论相关,但重加权理论与本研究报告的眼动不同阶段的确不应简单对应,所以对相关内容进行了删除。

**意见 4:** 关于“搜索潜伏期延长和注视点个数以及平均注视时间在知觉学习后显著减少存在什么关联”这个问题,审稿老师在不同的位置提出了类似的问题,所以我们在这里进行了整理,以便回复。摘要第二句“搜索潜伏期(早期),代表的认知过程为加工当前位置及选择下一个位置的时间;”如何与注视点个数减少,共同解释知觉学习的效果和机制?摘要最后一句“可能通过增加搜索潜伏期来减少眼跳的次数以及降低注视时间进而提高搜索表现。”结论有问题;讨论第一段第十句“注视点个数以及平均注视时间在知觉学习后显著减少”这个结果比较好理解。但是为什么搜索潜伏期会延长呢?建议结合视觉搜索中的眼动特点(补充参考文献)更好地论述。讨论第一段第十二句“说明知觉学习可以通能是增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少眼跳的次数和时间”有证据吗?两者是因果,还是协同的过程?结论“知觉学习可能是通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期来减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而提高搜索表现。”这个结论不严谨。搜索潜伏期和注视点个数之间存在什么关联,如何共同解释知觉学习效应,还需要更深入思考(最好结合已有的视觉搜索眼动文献)或研究。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议。本研究确实没有明确的证据表明在知觉学习后,搜索潜伏期延长和眼跳的次数减少以及注视时间降低,两者是因果,还是协同的过程。因此,我们弱化了这种因果性质的结论,并在文章讨论第一段增加了后测数据中目标出

现试次搜索潜伏期和注视点个数的相关分析,对比了目标出现时注视点个数为0和注视点个数大于0的试次,并将结论修改为:说明知觉学习会影响早期和中期视觉加工阶段,可能通过增长搜索潜伏期,同时减少眼跳的次数和降低注视时间来提高搜索表现。具体修改如下:

讨论第一段“为了进一步探讨知觉学习后搜索潜伏期增长与注视点个数减少之间的关系,发现搜索潜伏期与注视点个数呈负相关( $r_{23} = -0.416, p < 0.05$ ),表明搜索潜伏期越长,注视点个数越少。同时我们根据注视点个数将目标出现的试次分为两类(注视点个数为0/注视点个数大于0),结果发现注视点个数为0的试次搜索潜伏期显著长于注视点个数大于0的试次( $p < 0.001$ )。说明知觉学习可能通过增长搜索潜伏期,同时减少眼跳的次数和降低注视时间来提高搜索表现。”

摘要“……说明知觉学习会影响早期和中期视觉加工阶段,可能通过增长搜索潜伏期,同时减少眼跳的次数和降低注视时间来提高搜索表现。”

结论“……知觉学习可能是通过增加第一次眼跳前的搜索潜伏期、减少搜索的位置以及更快的加工每一个位置进而提高搜索表现。”

意见5:“结果发现训练刺激的学习效应没有迁移到未训练刺激” 什么学习效应?

回应:非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,此处是我们没有描述清楚,我们将行为结果与眼动结果相结合进行说明,已在摘要进行修改(用橙色标出)。具体修改如下:

“结果发现对训练刺激的搜索正确率提高,反应时变快,同时搜索潜伏期显著增加,注视点个数和平均注视时间减少,且行为和眼动指标的变化都没有迁移至未训练刺激。”

意见6:“并且在训练后潜伏期显著增加,同时注视点个数和平均注视时间减少。” 能否迁移至非训练刺激?

回应:非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,已经在文章中说明(用橙色标出)。具体修改如下:

“结果发现对训练刺激的搜索正确率提高,反应时变快,同时搜索潜伏期显著增加,注视点个数和平均注视时间减少,且行为和眼动指标的变化都没有迁移至未训练刺激。”

意见7:“Qu 等人(2013)” 对该文献的阅读理解引用有误。请结合 Ding et al. (NeuroReport 2003) 综合理解。

回应:非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,此处使我们引用错误,感谢审稿老师给出正确的文章信息,已在文中进行修改(用橙色标出)。具体修改如下:

“在 Ding 等人(2003)的实验中，被试需要完成两部分线段朝向辨别任务，首先对 45° 朝向线段进行两组训练，反应时显著变短。接下来将线段朝向旋转 90°，同样进行两组训练，结果发现两种朝向的线段在训练过程中第一组的反应时差异不显著，第二组同样不显著，表明知觉学习效应在行为上具有特异性，但 N1 成分的振幅在 45° 线段朝向的两组训练中，第二组相比于第一组更小，同时 45° 线段朝向的第二组与旋转 90° 后的第一组差异不显著，表明在大脑活动上出现了迁移。”

**意见 8：“对于联合特征(例如颜色和形状)的知觉学习来说……”** 重新组织，简洁清晰有条理。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，我们已在文中进行修改（用橙色标出）。**具体修改如下：**

“采用联合特征刺激(例如颜色和形状)的知觉学习研究发现，知觉学习效应具有迁移性(Ding et al., 2023; Su et al., 2014)，Su 等人(2014)探究了短期(40-50 分钟)颜色-朝向的联合特征视觉搜索任务中的知觉学习效应，结果发现当训练后的联合特征刺激只有一个属性(颜色或朝向)改变时，知觉学习效应会发生迁移，但当颜色和朝向都改变时不会发生迁移。此外，Ding 等人 (2023)探究了长期(6-10 天)的颜色-朝向联合搜索任务的学习机制，也发现了类似的结果。”

**意见 9：“研究者们普遍认为，非显著性刺激的知觉学习涉及初级感觉皮层的变化(Gilbert et al., 2001)。”**

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，此处使我们用语不当，已对文中进行修改（用橙色标出）。**具体修改如下：**

“目前已经有一些研究证据表明非显著性刺激的知觉学习与初级感觉皮层的变化有关(Maertens & Pollmann, 2005;Fang et al., 2005;Ding et al.,2003)。”

**意见 10：“但是对朝向来说，具有简单线段朝向(Ahissar & Hochstein, 1997)和复杂形状朝向(例如三角形和 T 形)(Hu et al., 2018; Qu et al., 2017)两种，”**请将审稿人的建议与文章修改有机结合。而不是仅仅填补一两句话。其它地方有类似问题。请自己先认真对待。

**回应：**非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，我们将简单线段朝向和复杂形状朝向知觉学习的内容与文章内容进行了结合，并在前言增加相关内容（用橙色标出）。**具体修改如下：**

“朝向属性的知觉学习研究一般包括简单线段朝向(Ahissar & Hochstein, 1997)和复杂形状朝向(例如三角形和 T 形)(Hu et al., 2018; Qu et al., 2017)两种。有研究者发现简单线段朝向的知觉学习具有迁移性(Ding et al., 2003)。Fang 等人(2005)研究发现线段朝向知觉学习与初级视觉皮层相关, 被试对特定朝向线段训练后, V1 区域活动水平增强。Qu 等人(2017)对复杂形状朝向的知觉学习发现, 在训练后 N2pc 成分振幅增大, 表明复杂形状朝向在知觉学习后可以自动捕获注意。Sigman 等人(2000)的研究发现复杂形状朝向的知觉学习具有位置及朝向特异性, 所以认为复杂形状朝向的知觉学习可能与初级视觉皮层有关。”

**意见 11:** “有研究者发现经过视觉搜索训练后, 眼跳次数和扫视次数减少, 注视时间变短, 搜索效率提高(Zhang et al., 2022)。” 检查描述是否有误。

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议, 此处我们描述有误, 已在文中进行修改(用橙色标出)。具体修改如下:

“有研究者发现视觉搜索训练后, 搜索潜伏期延长, 注视点个数减少, 浏览时间变短, 搜索效率提高(Q. Zhang et al., 2022)。”

**意见 12:** “注视点个数减少, 平均注视时间增长(Malcolm & Henderson, 2010)。”

**回应:** 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议, 此处我们描述有误, 已在文中进行修改(用橙色标出)。具体修改如下:

“在采用现实场景作为刺激的研究中, 当目标出现在高概率位置时, 平均注视时间更短, 同时, 知觉学习后被试可以习得对任务无关位置的抑制, 将注意更多的分配到目标位置, 从而导致目标出现在高概率位置时平均注视时间减少, 确认时间更短(Malcolm & Henderson, 2010)。”

**意见 13:** “一些研究者同样记录了知觉学习期间的眼动轨迹, 发现知觉学习后潜伏期增长, 眼跳次数减少(Zhang et al., 2022; Malcolm & Henderson, 2010) ”

**回应:** 非常感谢审稿老师认真阅读我们的稿件, 此处我们文献引用有误, Malcolm 等人(2010)的文章中并未提到搜索潜伏期增长, 我们已经在讨论部分进行了修改。具体修改如下:

“有研究者同样记录了知觉学习期间的眼动轨迹, 发现知觉学习后搜索潜伏期增长, 注视点个数减少(Q. Zhang et al., 2022), 这与本研究结果一致。”

意见 14: “但是一些研究者发现知觉学习后平均注视时间更长((Malcolm & Henderson, 2010)), 或者差异不显著(Zhang et al., 2022) ” 与前言描述不一致

回应: 非常感谢审稿老师认真阅读我们的稿件, 此处我们描述有误, 我们已经在前言部分和讨论部分进行了修改。具体修改如下:

“但有的研究者发现知觉学习后确认更短(Malcolm & Henderson, 2010), 或者平均注视时间差异不显著(Q. Zhang et al., 2022)。”

意见 15: Zhang et al., 2022 的研究呢? 本研究和 Zhang et al., 2022 研究的区别和新意是什么? 这个问题之前提过, 为什么还是没有修改呢? 请认真对待, 节约大家的时间。

回应: 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议, 我们与 Zhang 等人的研究有以下不同, Zhang 等人(2022)的研究使用的刺激是颜色-朝向特征联合刺激, 属于维度间特征联结, 而本研究采用的三角形是维度内特征联结, 虽然两者都属于非显著性刺激, 但是不同刺激联结维度的知觉学习机制可能存在差异; 其次, Zhang 等人(2022)与本研究的结果也不一致, 两个研究都发现了在知觉学习后有更长的搜索潜伏期。这说明无论是几何形状的知觉学习还是联合特征的知觉学习, 在早期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制促进知觉学习。但是在中期视觉加工阶段, 尽管几何形状的知觉学习和联合特征的知觉学习都有更少的注视点个数, 但联合特征在知觉学习前后的平均注视时间差异不显著(Zhang et al., 2022), 这与几何形状的知觉学习结果不一致, 这说明尽管几何形状和联合特征的知觉学习在中期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制, 但是两者之间的学习机制也并非完全相同。最后, Zhang 等人(2022)虽然也是在不同的加工阶段选择相应的眼动指标进行分析, 但是没有强调早期、中期和晚期的加工。因此, 尽管前人探讨了维度间特征联结非显著性刺激的知觉学习效应, 但是目前没有研究者去探讨维度内特征联结知觉学习如何影响不同的视觉加工阶段, 并不清楚知觉学习促进搜索表现是通过对搜索准备前阶段还是对搜索过程的认知加工。

我们将该部分内容与文章讨论内容相结合, 在讨论第六段进行了补充(用橙色标出)。

具体修改如下:

“……例如, Q. Zhang 等人(2022)采用联合特征刺激(颜色和朝向), 探究了当联合特征刺激只有一个属性(颜色或朝向)改变时, 和颜色和朝向都改变的时的知觉学习过程。颜色-朝向特征联合刺激属于维度间特征联结, 而本研究采用的三角形是维度内特征联结, 虽然两



者都属于非显著性刺激，但是不同刺激联结维度的知觉学习机制存在差异。结果发现，无论是与知觉学习的刺激属性完全一致的联合特征，还是与其中一种刺激属性相同的联合特征来说，眼动结果都发现了在知觉学习后有更长的潜伏期。在本研究中采用的几何形状(知觉学习特征仅为不同的朝向)的知觉学习同样发现知觉学习后潜伏期更长。这说明无论是几何形状的知觉学习还是联合特征的知觉学习，在早期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制促进知觉学习。但是在中期视觉加工阶段，尽管几何形状的知觉学习和联合特征的知觉学习都有更少的注视点个数，但联合特征在知觉学习前后的平均注视时间差异不显著(Q. Zhang et al., 2022)，这与几何形状的知觉学习结果不一致，这说明尽管几何形状和联合特征的知觉学习在中期视觉加工阶段可能存在相似的学习机制，但是两者之间的学习机制也并非完全相同。”

意见 16：“我们假设”这些假设有什么依据。

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，我们将假设与眼动的三个加工阶段相结合，首先说明了每个加工阶段代表的认知过程及其含义，并增加相应的参考文献，最后提出本研究的假设。我们已在前言增加相关内容（用橙色标出）。具体修改如下：

“我们参考前人研究将眼动划分三个阶段(Malcolm & Henderson, 2009)来探讨非显著性刺激的知觉学习机制：第一个阶段为早期视觉加工阶段，选择搜索潜伏期作为分析指标，代表加工当前位置及选择下一个位置的认知过程，搜索潜伏期可能反应了在眼跳之前被试内隐注意的分配(Kowler et al., 1995; Q. Zhang et al., 2022)。有研究发现在眼跳之前，注意就已经被分配到了目标出现的位置(Casteau & Smith, 2020; Kowler et al., 1995)。在 Kowler 等人(1995)的实验中被试需要完成两种搜索任务，随机搜索和固定搜索，在两种任务中的搜索屏呈现之前，中央会出现一个箭头随机指向一个字母位置，在随机搜索中，被试只需要随机选择一个出现的字母报告，而在固定搜索中被试需要报告最右侧的字母，结果发现固定搜索的潜伏期显著长于随机搜索，说明注意的转移先于眼跳。Q. Zhang 等人(2022)的研究发现，在知觉学习后，搜索潜伏期延长，并在第一次眼跳前观察到了了特异于训练目标的 N2pc 成分，认为被试在眼跳前已经将内隐注意分配到目标位置。因此我们假设，如果知觉学习后，早期视觉加工阶段即搜索潜伏期显著变长，说明被试通过增强内隐注意来促进搜索。第二个阶段为中期视觉加工阶段，即浏览阶段，被定义为从第一次眼跳到最后一次注视开始的时间，这个阶段包括的指标有注视点个数和注视点的平均停留时间。研究者发现知觉学习后，注视点个数(Q. Zhang et al., 2022)、平均注视时间(Malcolm & Henderson, 2010; Q. Zhang et al., 2022)等加工过程会发生变化，表明知觉学习后被试只需要搜索更少的位置或加工当前位置速度变快。

因此知觉学习后，如果注视点个数显著变少，那么说明是通过搜索更少的位置来促进搜索表现；如果注视时间显著变短，那么说明加工每一个位置的视觉加工速度变快。第三个阶段为后期视觉加工阶段，被定义为从最后一个注视点开始到按键为止，即确定时间，代表被试确定当前位置刺激是否为目标并做出判断的过程。有研究发现，知觉学习后确认时间变短 (Malcolm & Henderson, 2010)，表明被试可以更快识别目标。因此如果知觉学习后后期视觉加工阶段发生变化，说明知觉学习会影响被试对当前位置是否有目标的判断过程。因此，通过分析三个阶段的指标以及在前后测的差异，可以探讨非显著性刺激的知觉学习效应是如何影响不同的视觉加工阶段的，为进一步理解知觉学习的机制提供实验证据。”

意见 17：“2 实验方法” 这部分内容，请自己再好好检查。

回应：非常感谢审稿老师认真阅读我们的稿件，我们对这部分内容进行了检查修改。

意见 18：（1）请补充说明，支持  $H_1$  假设时  $BF_{10}$  的数值范围。

（2）结果显著时也请报告，特别是与实验结论相关的重要结果。请报告贝叶斯因子  $BF_{10}$ 。

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，我们已在结果部分也都报告贝叶斯因子  $BF_{10}$ （用橙色标出）。同时也在数据分析部分增加了支持  $H_1$  假设时  $BF_{10}$  的数值范围。具体修改如下：

“ $BF_{10}$  大于 1 反映了更有利于替代假设( $H_1$ )的证据( $BF_{10}$  为 1-3 反映了较弱的证据；3-10 为中等证据；> 10 为支持替代假设的非常强的证据)。”

意见 19：“3.1 行为结果” 请简洁地，清晰有条理地报告结果。

回应：非常感谢审稿老师认真阅读我们的稿件，我们对这部分内容进行了检查修改，简洁的报告了结果。

意见 20：“图 4” 与图 3 不一致，请仔细检查数据!!! 与图 3 的结果明显不同，请仔细检查数据。整个研究的数据也都请检查确认。

回应：非常感谢审稿老师认真阅读我们的稿件，我们图 3 的数据有误，因此我们对图 3 进行了更新。为了简化结果，我们删除了将每一天的训练划分为 8 组(共 24 个训练量)的分析结果，以及相应的数据图。

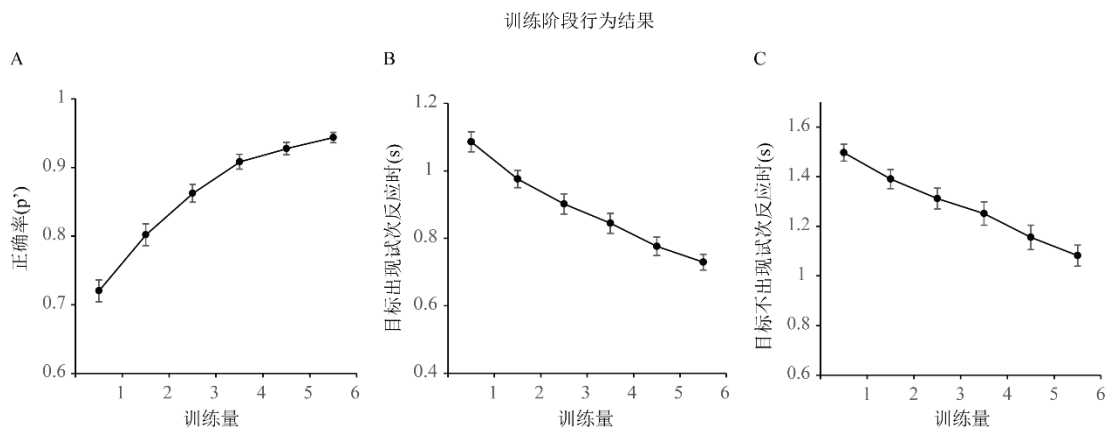


图 3: (A)不同训练量的正确率(p')结果。(B)目标出现试次中不同训练量的反应时结果。(C) 目标不出现试次中不同训练量的反应时结果。其中横坐标 1 和 2 代表第一天前半训练和后半训练; 3 和 4 代表第二天前半训练和后半训练; 5 和 6 代表第三天前半训练和后半训练。

意见 21: “4 讨论” 加强论述的条理性和严谨性。

回应: 非常感谢审稿老师认真阅读我们的稿件, 我们对这部分内容进行了检查修改, 进一步加强了论述的条理性和严谨性。

意见 22: “也有研究者将知觉学习对视觉加工的影响划分为两个不同的层级” 本研究报告的眼动不同阶段与这里描述的知觉学习不同机制, 并不是一回事, 不能简单对应。如果一定要将两者联系, 请引用更多的文献支持, 谨慎论述。

回应非常感谢审稿老师有价值的意见和建议, 我们在仔细阅读相关文献后发现, 表征修正假说(representation modification hypothesis)和特定任务选择性重加权假说(task-specific selective reweighting hypothesis)和本研究报告的眼动不同阶段的确不应简单对应, 因此我们对此部分内容进行了删除。

.....

审稿人 3 意见:

作者已对上一轮审稿中的问题进行系统地解释和修改。但是希望作者进一步检查文稿细节部分, 尤其是中英文混杂部分, 以提高文稿质量:

意见 1: 迁移性是指在某个特定刺激属性的知觉学习效应可以迁移到另外一个刺激属性上 (Zhang et al., 2010; 马小丽 et al., 2009)。

回应: 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议, 我们已经在文章第三段增加说明 (用绿色标

出)。具体修改如下:

“迁移性是指经过训练后,被试对训练刺激的视知觉能力有明显提高,同时这种能力的提高也表现在与之相似的刺激上(Fahle et al., 2005; 马小丽 et al., 2009)。以往研究表明知觉训练的学习效果在某些情况下可以迁移到未训练的刺激属性,比如朝向(J. Y. Zhang et al., 2010)、空间位置(Xiao et al., 2008)、运动方向(Liu & Weinshall, 2000)等。”

意见 2: 两种目标类型在 RTs 上有显著性差异。

回应: 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,为避免中英文混用,我们已经在文章中全部将“RTs”用“反应时”替代(用绿色标出)。

意见 3: 为了提高论文地可重复性,在“设备和刺激”部分,应该报告刺激的亮度值,而不是 RGB 值。

回应: 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议,已在“设备和刺激”部分增加了亮度值的报告。(用绿色标出)具体修改如下:

“……刺激阵列由 8 个黑色三角形组成(图 1A),用 Spyder X(Lin et al.,2023)测得亮度值为 0.12 cd/m<sup>2</sup>,所有的刺激都呈现在亮度值为 20.9 cd/m<sup>2</sup> 的灰色背景上。8 个三角形的边长都为 1°,且距离屏幕中央 7° 视角。”

---

#### 第四轮

审稿人 1 意见:

在新稿件中,作者修正了我之前指出的一些明显数据错误以及数据理解、概念表述和文献引用问题。研究发现(结果)有助于深入理解复杂刺激视觉搜索学习的机制。同时,论文写作还是存在不少表述上不够清晰/准确的地方。同时建议作者认真思考理解审稿人的问题和建议,自己多检查,请有经验的研究者把关,提高论文质量。

意见 1: 这里列举其中一个之前已提及多次的概念表述问题。搜索潜伏期是本文的一个非常重要的眼动测量指标,需要清晰地介绍其客观的操作性定义,在此基础上再提出该指标可能反映的含义(认知过程或机制)。这个指标在前人文献(e.g., Malcolm\_Henderson\_JOV\_2009; Zhang\_JOV\_2022)中已有介绍,本文也引用了这些文献。但是在审稿人多次建议下,新的稿件对这个指标的介绍仍然存在问题。该指标的操作性定义(发生第一次眼跳前的注视时

间), 仅在眼动分析方法部分非常简短地进行了介绍; 在此之前, 论文多次介绍“搜索潜伏期(早期), 代表加工当前位置及选择下一个位置的认知过程”。我很难理解这个含义, 也不清楚“发生第一次眼跳前的注视时间”为何“代表加工当前位置及选择下一个位置的认知过程”? 我查阅了 Malcolm\_Henderson\_JOV\_2009 和 Zhang\_JOV\_2022 这两篇文献, 以下是相关内容摘录:

First, we examined search initiation time, defined as the time from appearance of the search scene until the first saccade away from the initial fixation point (i.e., initial saccade latency). We assume search initiation time reflects processes related to time needed to establish the search template plus time needed to select a first search target candidate in the scene. (Malcolm\_Henderson\_JOV\_2009)

Search initiation time as the fixational period before the first saccade ... Search initiation time was defined as the period from the onset of the search display until the first saccade away from the central fixation. We assumed that search initiation time reflected the time needed to select the first item in the search display for examination. (Zhang\_JOV\_2022)

在 Malcolm\_Henderson\_JOV\_2009 中, 在介绍搜索潜伏期的操作性定义后, 提出该指标可能反映了搜索模板的构建和潜在目标的(首次)选择过程; 在这两篇文献中, 我没有看到关于“搜索潜伏期(早期), 代表加工当前位置及选择下一个位置的认知过程”的描述, 不知本文的依据是什么? 这个过程又如何与文章之后提及的内隐注意分配有关?

回应: 非常感谢审稿老师有价值的意见和建议, 此处是我们没表述清楚, 已在文章中修改(用青色标出)。具体修改如下:

摘要部分“搜索潜伏期(早期), 是指从搜索屏呈现到第一次眼跳离开初始注视点位置的时间, 代表了在搜索屏中选择第一个搜索位置的时间。”

前言第六段“第一个阶段为早期视觉加工阶段, 选择搜索潜伏期作为分析指标, 是指从搜索屏呈现到第一次眼跳离开初始注视点位置的时间, 代表了在搜索屏中选择第一个搜索位置的时间, 我们假设搜索潜伏期可能反映了在眼跳之前被试内隐注意的分配。”

意见 2: 此外, 本文提及“搜索潜伏期可能反应了在眼跳之前被试内隐注意的分配”, 我在前人文献中也没有看到这个观点。在 Zhang\_JOV\_2022 中, 提出没有眼跳和只有一次眼跳的正确试次比例与内隐注意有关 (“we examined the proportion of correct trials in which no saccade (zero-saccade trials) or only one on-target saccade (single on-target-saccade trials) was

made before response. These two measurements were tightly associated with the covert attention that may contribute to the training-induced transformation from serial to parallel search”),这个观点我认为是有道理的；但是文献并没有提及搜索潜伏期和内隐注意的关联。如果“搜索潜伏期可能反应了在眼跳之前被试内隐注意的分配”是本文作者提出的假设，在文献引用时最好不要让人误解。

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，“搜索潜伏期可能反应了在眼跳之前被试内隐注意的分配”是我们提出的假设，此处是我们文献引用有误，我们已在文章相应部分进行修改（用青色标出）。具体修改如下：

“第一个阶段为早期视觉加工阶段，选择搜索潜伏期作为分析指标，是指从搜索屏呈现出第一次眼跳离开初始注视点位置的时间，代表了在搜索屏中选择第一个搜索位置的时间，我们假设搜索潜伏期可能反映了在眼跳之前被试内隐注意的分配。”

意见 3：讨论中介绍“Ding 等人(2023)的研究对颜色-朝向联合特征刺激进行搜索训练，训练后发现了显著的知觉学习效应，且颜色和朝向特征都存在迁移”，这个理解或表述有误。其它文献理解、引用和表述问题（包括朝向特征，朝向特异性的理解等等之前已经提过的问题），不一一赘述。建议作者自己再检查，尽可能减少错误和前后矛盾的地方，加强逻辑条理性。

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，此处是我们表述有误，我们已在文章中修改，同时我们对文章中其它文献理解、引用和表述问题的地方也进行了修改（用青色标出）。具体修改如下：

“Ding 等人(2023)的研究对颜色-朝向联合特征刺激进行搜索训练，训练后发现了显著的知觉学习效应，且这种知觉学习效应会迁移到与目标共享相同颜色或朝向特征的新目标上。”

意见 4：新稿件在讨论部分补充了搜索潜伏期增长和注视点个数减少之间的相关结果，发现注视点个数为 0 的试次搜索潜伏期显著长于注视点个数大于 0 的试次。这个结果挺有趣，可能加深对“搜索潜伏期、注视点个数和内隐注意”之间关系的理解。有一个问题是，搜索潜伏期是指发生第一次眼跳前的注视时间，如何理解注视点个数为 0 的试次的搜索潜伏期呢？这些试次，是都发生了眼跳，但是眼跳后并没有在某个位置注视超过 100ms 吗？这样的试次比例有多少呢？

回应：非常感谢审稿老师有价值的意见和建议，我们在文中增加了注视点个数为 0 和注视点



个数大于 0 代表的加工过程及其比例（用青色标出）。具体修改如下：

“同时我们根据注视点个数将目标出现的试次分为两类，浏览过程中注视点个数为 0 是指刺激出现后被试只进行了一次眼跳就做出了判断，所以被试从第一个眼跳直到按键中间仅有一个注视点，而此注视点归为确定时间，并未计算到浏览过程中，所以浏览过程中的注视点个数为 0；浏览过程中注视点个数大于 0 是指刺激出现后，被试进行了多于 1 次眼跳后才做出判断，即刺激出现后到按键中间有多于 1 个注视点。结果发现注视点个数为 0（ $30.32 \pm 20.90\%$ ）的试次搜索潜伏期显著长于注视点个数大于 0（ $69.70 \pm 20.90\%$ ）的试次（ $p < 0.001$ ）。”

---

### 第五轮

**编委意见：**经过多轮修改，作者能较好地回复评审专题提出问题和建议，论文质量得到了较大的完善和提高，建议接受发表。不过，在发表前，建议作者请有经验的研究者把关，进一步提高论文的写作质量。

**回应：**

非常感谢编委老师有价值的意见和建议，我们已经对文章进行进一步的修改完善，以提高稿件质量，修改部分在文中已用黄色字体标出。

**主编意见：**本研究将眼动指标划分为三个视觉加工阶段，对知觉学习中非显著性刺激视觉加工的学习机制进行了考察。该研究的选题具有一定新颖性，研究框架清晰，数据处理过程科学规范。参考外审专家意见进行修改后，本论文已经达到《心理学报》发表文章的相关要求，建议发表。