

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：基于眼动信号来源的认知老化差异性规律研究

作者：黄景，刘丽聪，李明钰，龙奕名，李小俚

第一轮

审稿人意见：

意见 1：在“2 差异性认知老化的国内外研究现状”部分，需要对 Park、Huang、Davis 等人的研究进行具体描述，当前仅笼统地提及，与所要研究的问题针对性不够。

回应：谢谢专家的提议。此处 3 个例子是为了进一步详细地表明，以往的研究即便发现了老年人认知存在退化，但是将认知过程进行进一步细化和分类后，发现老年人在部分认知过程中存在保持或者增强。根据专家意见，修改文稿对这 3 个例子进行了细节性的解释：

“Park 等(2002)通过让被试汇报成对出现的多个字母组成的字符串是否相同来测试被试的加工速度、通过韦氏测试中的数字正背和倒背等任务来测试被试短期记忆、通过让被试从多个词中选出同义词和反义词来测试被试基于世界知识的言语能力；研究发现虽然健康老年人的加工速度、短期记忆等认知能力下降了，但他们的世界知识水平得到了保持或增强；Huang 等(2017)在不同范式下的扫视学习中，通过将扫视学习分为学习初的、快速的外显学习过程以及随后的、慢速的内隐学习过程；研究发现虽然老年人的快速学习能力下降了，但他们的内隐学习能力得到了很好的保持；Davis 等(2021)在被试自由观看完八分钟的电影后，让被试根据电影里的剪辑片段来汇报片段中的情节；通过将剪辑片段分为同一个场景片段（事件内）以及跨场景片段（事件外），研究者们发现虽然老年人对事件外的回忆能力下降了，但他们对事件内的回忆能力得到了保持。”详见第 5 页 35 行至第 6 页 44 行。

意见 2：作者提到“代偿或帮助的特异性机制和认知增强随任务的变异性机制亟待进一步研究。”但全文并未聚焦老年大脑的代偿机制，当前研究设计也很少涉及这一点，因此建议删除，仅聚焦于认知增强的变异性机制进行探究即可。

回应：谢谢专家的提议。确实文稿研究只涉及认知增强的变异性机制，很少涉及老年大脑的代偿机制。因此，修改文稿删除了这部分内容。详见第 6 页 49-50 行。

意见 3：三个研究设计既涉及一般性自上而下和自下而上眼跳任务的分离，又涉及视觉搜索和自然场景中的眼跳任务，这是两个层面的加工，但都很复杂，特别是自然场景中的任务可能会涉及到更多的眼跳指标，因此建议作者在研究预期上分别进一步厘清。

回应：谢谢专家的提议。确实如专家所说，研究任务比较复杂。根据专家提议，修改文稿在研究预期上添加了更多预期结果，“在眼跳反应时上，年龄和场景一致性交互显著，即搜索目标与场景是否一致更影响青年人眼动搜索，较少影响老年人眼动搜索，因为老年人反应时普遍更长。”以及“从眼跳动态过程来看，刺激凸兀度主要影响眼跳最大速率时刻前的运动，目标一致性主要影响眼跳最大速率时刻后的运动，且这些影响和年龄交互都显著。”详见第 10 页 160 行至第 166 行。

意见 4：全文还有几处存在字句小错误，如“即当眼跳反应时在 140 到 180 毫米之前”，需

作者认真校对。

回应：谢谢专家的指出。我们再次对文稿进行了校对，修订了包括专家提到的几处字句错误。

第二轮

审稿人意见：

意见 1：作者阐述“本研究基于自上而下信号和自下而上信号到达眼跳控制系统的时间的不同，分离这 2 种信号，再根据 2 种信号随条件和场景的变化来研究认知增强的变化规律。”据我们所知，眼跳区分反射性眼跳和控制性眼跳，实际上这两种眼跳不容易分离，如何能通过一个较为精确的时间点来分离自上而下和自下而上的眼跳信号就更为困难，所以作者需要在这一点上补充更为明确具体的描述。

回应：谢谢专家的提醒。反射性眼跳也称为视觉导向的眼跳，是指眼球对处于边缘视野的新奇刺激的自动朝向反应，主要受外源性注意的引导；控制性眼跳往往涉及到如抑制、工作记忆等更多认知加工的控制，同时受外源性和内源性注意的引导。一直以来，外源性信号和内源性信号很难分离，所以这两种眼跳也不容易分离。分离眼跳中的自上而下和自下而上的控制信号，确实也是本研究的重点和难点。

首先，本研究主要是基于眼球运动速率到达最大时刻为界限，将此刻之前的信号当作自下而上控制的信号，此刻之后的信号当作自上而下控制的信号。虽然这种分离法，目前没有被证实，但是通过前人的研究和作者的研究，这一分离法，是可行的。理由如下：图 1 是节选自 Shadmehr 等眼动研究著名学者 2010 年发表在 *Annual review of neuroscience* 上的综述文章中的 Figure 1A 图。图 A 为眼球运动控制的模型，它表明眼动控制系统是一个动态的控制系统，不同信号（如内源性的目标位置、外源性的目标价值等）到达控制系统的时间存在差异，对眼球运动轨迹的影响也存在差异，即眼动开始执行前的信号影响眼动最开始的运动方向和速率；眼动开始后到达系统的信号影响之后的运动轨迹。因此，即便是眼球扫视到相同位置的目标，当目标的价值不一样时，眼球的运动过程（轨迹）存在差异（如图 Figure 1B 所示）。B 图左边的图是眼球位置随时间的变化，右边的图是眼球速率随时间的变化。可以看到即便眼球开始运动和结束运动的位置都一样，但运动时程存在差异。差异主要集中在速率到达最大速率时刻附近。

进一步地，Schütz 等(2012)发现，同一个任务中，不同试次间因为眼跳潜伏期（眼动反应时）的不同，眼跳幅值受奖励价值的影响存在差异；潜伏期越长，眼跳幅值受奖励价值影响越大。以往研究发现，眼跳轨迹不一定是直线，也可以是弧线；Azadi 等（2021）进一步发现在序列眼跳中，当前眼跳轨迹的弧度同时受上一个眼跳位置和下一个眼跳位置的影响。这些都进一步支持，眼动控制系统是一个动态系统，即便眼跳很快，眼球运动持续时间只有 20-30 毫秒，在眼跳执行期间，眼球的运动轨迹仍然受其它信号影响，是可以被改变。

最后，本项目的研究一的实验结果表明，基于眼球运动速率到达最大时刻为界限，将信号分为自下而上控制信号和自上而下控制信号是可行的。作者研究（Huang et al., 2017）发现基于 double-step 范式诱发的眼跳学习任务中，老年人学习后眼跳幅值改变程度和青年人一样好。在此基础上，本项目的研究一进一步探讨老年人眼跳学习保持的机制。在此研究中，我们借鉴事件相关电位技术的分析方法，将每个试次的眼跳，以眼动速率达到最大时刻为事件，将学习前的所有试次的眼球运动时程叠加平均作为基线，将学习时的所有试次的眼球运动时程叠加平均，作为学习时的眼球运动时程；二者相减后得到图 2 的结果。我们可以看到，即便老年人和年轻人在眼跳幅值上的改变没有显著差异，但是学习对信号前期的影响，青年

人比老年人下,学习对信号后期的影响,青年人比老年人下。这与作者研究(Huang et al., 2017)中的实验二结果一致。

图 2, 眼跳学习对眼球运动时程的影响。(因未发表, 暂不提供)

鉴于自检报告中规定了对解决问题的研究构方案的字数限制, 且发表的构想类文章会给读者提供对审稿专家的回复, 以上解释将不会添加到自查报告中。

参考文献

Azadi, R., Zhu, E. Y., & McPeck, R. M. (2021). Modulation of saccade trajectories during sequential saccades. *Journal of neurophysiology*, 125(3), 796–804.

Huang J., Gegenfurtner, K. R., Schütz A.C. & Billino J. (2017). Age effects on saccadic adaptation: Evidence from different paradigms reveals specific vulnerabilities. *Journal of Vision*, 17: 9.

Schütz, A. C., Trommershäuser, J., & Gegenfurtner, K. R. (2012). Dynamic integration of information about salience and value for saccadic eye movements. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(19), 7547–7552.

Shadmehr, R., Smith, M. A., & Krakauer, J. W. (2010). Error correction, sensory prediction, and adaptation in motor control. *Annual review of neuroscience*, 33, 89-108.

意见 2: P. 7 L91, “作者猜测可以通过人类眼跳运动中运动速率的时程来分离早期和晚期的学习, 即分离自上而下加工(早期)和自下而上加工(晚期)”, 因为眼跳会同时受到外源性和内源性注意的引导, 且属于极为微小的运动, 因此这里所说的眼跳的运动速率是指什么? 有哪些具体的眼动指标可以反映出来? 需作者再做补充。

回应: 谢谢专家的提议。如对您第一条建议的回应, 眼跳虽然持续时间很短, 运动微小, 但是眼跳过程, 即眼球运动轨迹存在大量信息。眼动指标, 除了常用的眼跳潜伏期、眼跳幅值、眼跳最大速率、眼跳持续时间、眼跳平均速率等皆为可使用指标。本研究主要以眼跳潜伏期, 最大速率时刻点、最大速率、眼跳幅值(速率在对应时间上的微积分)为指标。修改文稿增加了分析方法和指标, “数据分析方法上, 研究将借鉴事件相关电位技术的分析方法, 将每个试次的眼跳, 以眼动速率达到最大时刻为事件, 将学习前的所有试次的眼球运动时程叠加平均作为基线, 将学习时的所有试次的眼球运动时程叠加平均, 作为学习时的眼球运动时程。研究将考察眼跳潜伏期, 最大速率时刻点、最大速率、眼跳幅值(速率在对应时间上的微积分)等指标。”以及“这些预测将通过眼跳幅值(速率在对应时间上的微积分)来考察。”详见第 8 页 104 行至第 112 行。

第三轮

编委复审意见: 认知老化中的个体差异是相对前沿的领域。该文一定程度上在认知老化领域提供了新的视角, 特别是在探讨老年人认知增强的机制方面具有意义。

作者对审稿专家提出的问题进行了详细的回复, 并对稿件进行了相应的修改。

建议接受。