

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：孤独症者的预测编码缺陷：前馈联结异常还是反馈联结异常？

作者：荆伟 陈琦 薛云卿 杨苗 张婕

第一轮

审稿人 1 意见：论文选题有较好的理论意义和实践价值，提出以下意见供参考：

意见 1：论文缺乏对核心概念的界定，且在写作过程中有一些缺乏界定的表述，显得含糊，不精确。

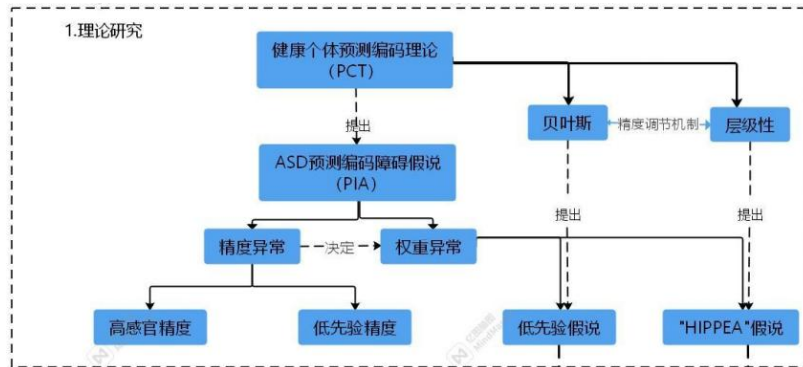
回应：非常感谢审稿专家的建设性意见。我们重新仔细审查全文，发现概念不清之处主要集中在 3.1.2.2 关联性经验先验学习能力降低这一部分。我们补充了相关概念界定，按行为预测、事件预测、奖励预测和目标预测四种不同的统计学习预测任务重新组织了文献，并且补充了原稿中遗漏的新近刊出的文献。较之原稿概念更明确，逻辑更清晰，文献更完备。（红色为本轮修改部分）

意见 2：论文题目和内容的契合度有优化空间，感觉主线和重点不够清晰明显，比较松散，可读性和层次性不强；

回应：非常感谢审稿专家的建设性意见。关于可读性和层次性不强，我们重新审查全文，发现主要集中在 3.2 反应性精度调节缺陷——“HIPPEA”假说这一部分。本轮修改我们按贝叶斯推理模型和层次性推理模型组织 ASD 个体在波动环境中调节学习速率的相关文献，并补充原稿中遗漏的新近刊出的文献。（红色为本轮修改部分）

关于全文主线和重点不够清晰的问题，可能源于 ASD 个体预测编码缺陷的研究涉及感知运动、认知学习和社交语言等广泛的领域，且相关概念和假说众多且关系复杂。因此，我们在此附上概念框架图，进一步澄清本文的叙述主线和重点。如图所示，本文首先概述预测编码理论，预测编码理论家族 (Predictive Coding Theories, PCT) 由 2.1 贝叶斯推理、2.2 层级性推理、和 2.3 主动性推理三个理论组成，该理论源于健康个体大脑功能研究。依据该理论，研究者提出 ASD 个体的两大核心缺陷以及在感知运动、认知学习和社交语言等多领域表现出来的缺陷可能是其预测编码缺陷的不同具体表现。该观点即为 ASD 个体预测编码缺陷假说 (Predictive Impairment in Autism, PIA)。在 PIA 内部，有一部分研究者依据贝叶斯推理模型提出了“低先验”假说 (Hypo-priors) (Pellicano & Burr, 2012) (本文的 3.1 部分)，另一部分研究者依据层级性推理模型提出和“高且不灵活的预测误差精度”假说 (High and Inflexible Precision of Prediction Errors in Autism, HIPPEA) (本文的 3.2 部分)。虽然这两个假说在机制上有所不同，但都意味着感知/后验更偏向感官输入，即感官输入与先验信念之间权重异常。由于预测误差精度是感官输入精度和先验信念精度之比的函数，因而自下而上的感官输入精度过高 (本文的 4.1 部分) 或自上而下的先验信念精度过低 (本文的 4.2 部分) 都将导致预测误差精度过高，也即感知/后验更偏向于感官输入。由此可见，两者之间的权重异常实际上是源于两者之间的精度失衡。因而，ASD 个体预测编码缺陷的潜在机制是感官输入与先验信念之间的精度失衡 (本文的第 4 部分)。由于已有研究大部分集中在验证“低先验”假说，而直接验证“HIPPEA”假说和旨在澄清潜在机制的相关研究近年才逐渐出

现，因而“低先验”假说的相关研究成为了本文的论述重点，涉及感知运动、认知学习和社交言语三个领域内的三种不同先验类型。



关于论文题目和内容的契合度的问题，我们再一次深入思考，为了使题目与内容契合度更高，我们曾考虑将原标题改为《孤独症者的预测编码缺陷：感官输入与先验信念之间的权重异常与精度失衡》。但是这个题目太过冗长不凝炼。事实上，ASD 个体预测编码缺陷涉及两个方面，一个是感官输入与先验信念之间的权重异常，一个是感官输入与先验信念之间的精度失衡。两者之间的关系是精度失衡导致权重异常，精度失衡是预测缺陷的潜在机制，而权重异常是预测缺陷的表现特征，包括“低先验”和“高且不灵活的预测误差精度”两种不同表现形式。由于自下而上的感官输入基于到达皮层颗粒层沿皮层层次向上发展的前馈联结。自上而下的先验信念基于进入皮层颗粒层上层沿皮层层次向下或平行发展的反馈联结(Khan et al., 2015)。因而，ASD 个体感官输入和先验信念之间的精度失衡，要么是由于前馈联结异常导致的感官输入精度过高，要么是由于反馈联结异常导致的先验信念精度过低，但目前尚无定论。因而，我们还是认为目前的题目能够更好地更概括地反映 ASD 个体预测编码缺陷的本质。

意见 3: 论文小结有新观点，但显得宽泛了一些，针对题目涉及科学问题的回应针对性不强。
回应: 非常感谢审稿专家的建设性意见。本文要解决的科学问题是 ASD 个体预测编码缺陷的特征及其潜在机制是什么。在论文总结与展望部分，5.1 和 5.2 提出了如何操纵哪些具体变量进一步阐明 ASD 个体预测编码的“低先验”和“高且不灵活的预测误差精度”两个特征。针对 ASD 个体预测编码缺陷的潜在机制，5.3 部分提出要澄清到底是由于前馈联结异常导致的感官输入精度过高，还是反馈联结异常导致的先验信念精度过低，未来应运用具有优秀的时间分辨率和复杂的源定位技术的脑磁图开发出更多能够区分前馈联结与反馈联结信号的新技术，如相位转移熵 (Fogelson et al., 2021) 和相位振幅耦合 (Seymour et al., 2019) 技术。最后，5.4 提出了未来如何基于预测编码缺陷理论开发出 ASD 个体预测性干预康复方案的具体建议。

审稿人 2 意见: 论文选题很好，具有很好的理论与实践价值。行文流畅，逻辑性强，语言准确。建议录用。但在以下几个方面还可以做进一步思考：

意见 1: 孤独症是一个谱系障碍，文中提到的很多研究不一致，这恰恰是谱系障碍的表现。因此可能需要不同的理论来解释这一研究结果。请作者思考这一问题。

回应: 非常感谢审稿专家的建设性意见。目前，在孤独症儿童研究领域存在两个理论流派。有学者关注感知加工异常，提出弱中央统合和强烈世界等假说；有学者关注社会功能受损，提

出心理理论障碍和社交动机障碍等假说。然而，两者均未能统一解释 ASD 多样症状。随着预测编码理论（Predictive Coding Theories, PCT）不断发展，学者们提出 ASD 在感知运动、认知学习和社交活动等多领域存在的缺陷是其预测缺陷的不同表现。该观点称之为 ASD 的预测缺陷假说（Predictive Impairment in Autism, PIA）（Pellicano & Burr, 2012; Van de Cruys et al., 2014）。该理论之所以引起广泛关注，是因为它可能将多领域缺陷与两大核心症状整合在统一理论框架中进行更深层次的机制解释，从而开发更好的治疗方法，甚至更完善的诊断标准和工具（Constant et al., 2020; Baker et al., 2016）。由此可见，PIA 旨在提供一个统一的理论框架能够解释 ASD 的多样症状。事实上，不仅限于此，PIA 还有望能够进一步解释 ASD 谱系内不同功能水平个体缺陷的表现，例如基本生理机制的个体差异，如神经调节功能，可能导致不同的反应性精度调节能力，进而导致认知学习上的个体差异，从而表现出不同的障碍程度（Lawson et al., 2014）。

意见 2: 能够完成实验的孤独症被试，应该是程度较轻的孤独症。建议作者在写研究结果的时候，把被试的孤独程度要说明一下。也就是说，研究结果是适合于哪种类型的孤独症。

回应: 正如审稿专家所言，能够完成实验的孤独症被试都是智力水平正常的高功能孤独症。在孤独症认知研究领域，研究者们通常做法都是按生理年龄和智力水平匹配对照组。两组被试生理年龄和智力水平无差异。如果两组的研究结果产生差异，那么就可以归结为孤独症导致的差异。如果是以低功能孤独症为被试，那么两组之间的差异就无法说清是由于智力差异导致的，还是由于孤独症导致的。孤独症研究领域的通常做法都是选取智力正常的高功能孤独症个体为被试，因而本文与已有相关文献一致并未在报道中强调高功能一词。

第二轮

编委 1 意见: 作者已经较好地回复了审稿者的意见，同意发表。

编委 2 意见: 同意发表。

主编意见: 根据编委和审稿专家的意见，建议修改后发表。建议作者将题目和相关内容改为“孤独症谱系障碍的预测编码缺陷”，目前没有“预测编码障碍”。

回应: 谢谢主编的意见。我们已经修改。