

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：数学焦虑影响数学概念知识加工的脑机制：静息态功能磁共振研究

作者：崔芳，廖心明，杨嘉望，刘洁

第一轮

审稿人 1 意见：

意见 1：文章中有多处错字或赘述需要修改。比如，引言中的第五段中的“静息状态下的血氧依赖性水平（blood oxygen level-dependent, BOLD）信号中的的低频（ <0.1 Hz）波动与健康个体人格特征的变异性”，中有重复字“的”；讨论中的第一段中的“本研究还发现，在数学概念知识任务的加工中，负责一般语义加工的脑区未算术原理成绩之间不存在相关性，与数学焦虑得分也不相关。”中的“未”改成“与”等等，全仔细检查全文。

回应：感谢审稿人的专业意见。修改稿中我们对全文进行了语言修改。

意见 2：State-Trait Anxiety Inventory, STAI 一般翻译为“特质-状态焦虑量表”而非“特质-状态量表”

回应：对应文字已根据意见修改，修改部分用蓝色标注。

意见 3：ROI 的选择中，给出每个 ROI 选取的参考文献出处。语义或概念的认知加工为什么定义了左侧 MTG 和左侧眶额叶？

回应：感谢审稿人的提醒。我们重新修改文中的这一部分如下：

“以往关于数学概念的脑成像研究发现，数学概念知识（如算术原理、数学术语）的加工相对于数字计算更依赖于语义/概念加工脑区（如左侧 MTG 和左侧眶额下回 IFG），相对于一般语义加工更依赖于视空间加工脑区（如顶内沟）（Liu et al., 2017; Zhang et al., 2012）。基于此，本研究将语义的认知加工定位在左侧 MTG 和左侧眶额叶。空间/数量加工的脑区则选自在视空间加工元分析研究中显著激活的双侧水平段顶内沟(MNI 坐标 $[-34, -54, 46]$)和 $[32, -56, 52]$)（Boccia et al., 2014）作为感兴趣区（Region of Interest, ROI）（见图 2）”为方便审阅，在修改稿中增加了 ROI 信息表格。

意见 4： 注意文中格式统一 。

回应： 已根据意见进行了全文修改。

意见 5： 最后一段中最后一句表述不清楚 “本研究发现高水平数学焦虑导介？ 右侧脑岛与右 HIPS 之间的过度联系， 因此抑制过度激活的右侧 HIPS 可能可以通过神经通路降低右侧脑岛的神经激活， 从而降低数学焦虑水平”

回应： 感谢审稿人的提醒。 我们重新修改文中的这一部分如下：

“基于本研究的发现， 即数学焦虑水平越高的个体， 其右侧 HIPS 和同侧脑岛之间的功能连接越强。 那么， 我们有理由作出这样的推测， 通过对位于皮层上的右侧 HIPS 区域施加神经调控（如经颅电刺激、 经颅磁刺激等）， 就可能通过这条神经通路降低右侧脑岛的激活程度， 从而减轻数学焦虑， 提高数学表现。”

意见 6： 请对多个偏相关结果进行 FDR 多重比较校正。

回应： 感谢审稿人的意见。 我们对四个 ROI 结果， 采用了体素水平 $p < 0.005$, cluster 水平 $p < 0.0125$ （未校正 $p < 0.05$ ）的阈值进行了 GRF 多重比较校正。 校正后的结果与未矫正结果一致： 即仅有以右侧 HIPS 为种子点进行相关分析时得到的 cluster（peak MNI[45, 3, -12]）达到显著（ $r = -0.41$, cluster size = 368）。 我们也基于该结果对原文进行了修改。

.....

审稿人 2 意见

论文的核心目的是考察数学焦虑影响数学概念知识加工的脑机制， 研究采用静息态脑影像和行为测量， 辅以中介分析方法发现在行为上验证了前人研究的结果， 即数学焦虑影响数学概念知识加工， 静息态 fMRI 结果显示右侧顶内沟和脑岛之间的功能连接可以显著预测个体的数学概念知识成绩， 并且完全中介了数学焦虑对数学知识之间的关系。 研究设计合理， 逻辑清晰， 有重要的理论和实践价值， 对数学焦虑的干预可能起到重要的启迪作用。 建议作者对如下一些问题进行修改：

意见 1： 对样本量的估计要放在论文正文中；

回应： 感谢审稿人的意见。 我们已将自检报告中对样本量的估计放入正文的“被试”部分。 修改部分用绿色标注。

意见 2：“排除 8 名头部旋转角度 $>1.5^\circ$ 或平移距离 $>1.5\text{mm}$ 的被试后，92 名被试的数据纳入分析”这里要写清楚到底是在什么测试中的结果需要排除；

回应：我们共采集了 100 名被试的数据，8 名被试均因为头动超过标准而被剔除，余下所有被试均纳入随后的数据分析。

意见 3：请补充伦理审核号码；

回应：本研究伦理审核号码为 CBDCS202112140035，依照审稿人意见补入原文。

意见 4：磁共振描述部分，建议还是要有 TR，TE 等大家最熟悉的描述，即在中文翻译后面添加相关的指标英文名；

回应：我们依据审稿人的意见做了如下修改。重复时间(Repetition time, TR) = 2300ms，回波时间(Echo time, TE) = 2.26ms，翻转角(flip angle) = 8° ，视场(field of view) = $232 \times 256\text{mm}^2$ ，获得矩阵(acquisition matrix) = $232 \times 256\text{mm}^2$ ，层厚 (slice thickness) = 1mm，体素大小 (voxel size) = $1 \times 1 \times 1\text{mm}^3$ 。采用梯度回波 T2 加权回波平面成像序列采集静息态功能图像，具体参数为：重复时间= 1500ms，回波时间= 30ms，翻转角= 70° ；视场 = $192 \times 192\text{mm}^2$ ，获得矩阵 = $94 \times 94\text{mm}^2$ 。整个大脑划分为 46 层，层厚 3mm，体素大小= $2.04 \times 2.04 \times 3\text{mm}^3$ 。

意见 5：表 1 中的指数，建议改为指标；科隆巴赫系数，建议改为内部一致性系数；表 1 建议增加每个指标的得分范围，以让读者排除其中是否有天花板或者地板效应，应该报告行为数据的正态分布检验情况；

回应：感谢审稿人的意见。我们将科隆巴赫系数改为了“内部一致性系数”。在表 1 中增加了每个指标的得分范围，增加了峰度和偏度值及正态性检验 K-S 检验的结果。

意见 6：图 3 中建议 B 用彩图，另外看数据其中有一个被试（或者几个被试）的数据点落在 y 轴上，是说这个被试的算数原理得分为 0，这个是不是应该要去掉？

回应：感谢审稿人的意见。在算术原理测验中没有得分为 0 的数值（见修改后表 1 的取值范围），散点图中在 y 轴上的圆点可能是错误呈现，图 3 已根据要求修改为彩图。

意见 7：“本研究发现高水平数学焦虑导介右侧脑岛与右 HIPS 之间”这里的导介，是否为介导？

回应：应为“介导”，相关表述已在原文中修改。

意见 8: 论文基于前人研究选择了四个 ROI 进行脑分析, 相当于把行为与脑进行了四次分析, 按照道理应该进行 family-wise 的矫正, 这里作者是否有做?

回应：见对审稿人 1 问题 6 的回应。

意见 9: 中介分析是基于前面筛选出来的功能连接来的, 这里是否有重复验证的问题? 因为你先选了那些与数学知识显著相关的连接, 然后你行为上已经知道数学焦虑与算数表现有关, 那么相当于你先窥探了数据。当然这个在目前很多的发表论文中都有类似的问题, 建议你可以通过 voxel-wise 的中介分析, 这样能去掉这种 bias。

回应：感谢审稿人的意见。我们尝试完成了 voxel-wise 的中介分析, 方法如下: 使用 Wager 等(2008, 2009)开发的工具包”Mediation toolbox”以数学焦虑水平为自变量 X, 算术原理的成绩为因变量 Y, 种子点为右侧 HIPS 的功能连接图为中介变量 M, 做单水平中介分析 (Single level mediation analysis), 在 FDR 校正的阈限下未发现显著的结果, 将阈限降低为未校正 $p < 0.01$ 时, 发现一个 cluster (峰值 MNI 坐标[45 0 3], cluster 包含 297voxel, 统计量 = 6.91) 位于右侧脑岛。该结果虽然未在全脑水平达到较强的统计显著性, 但也从另一方面为研究的可信度做了验证和补充。

我们将这部分结果增加在中介分析的方法和结果部分, 作为补充证据。

意见 10: 讨论部分对于本研究的实践意义提升还不够, 建议结合脑计划的背景, 双减政策等国家相关的政策背景, 讨论该研究能如何服务国家战略。

回应：感谢审稿人的意见。我们增加了如下表述：

“近年来, 国家布局了系列重大脑科学项目, 青少年脑智开发是其中重要的需求; 二十大又提出教育强国的战略目标。本研究探讨数学焦虑对算术原理表现影响的脑机制, 提示情绪对学科成绩的影响可能通过大脑中数学加工脑区 HIPS 与负性情绪加工脑区脑岛通路起作用, 为高数学焦虑的青少年在数学学习相关的脑智发育上提供了神经调控的思路, 为帮助儿童青少年解决学习困难问题提供了新靶点。”

.....

审稿人 3 意见

意见 1: 文章中作者使用了四组 ROI, 是否是 4 个 ROI? 建议列一个表格列明 ROI。

回应: 感谢审稿人的意见。我们增加了 4 个 ROI 的表格 (如下), 并把“组”改为“个”, 以免造成误解。修改部分用红色标注。

脑区名称	MNI 坐标 [X, Y, Z]	选取来源
左侧水平段顶内沟	[-34, -54, 46]	Boccia et al., 2014
右侧水平段顶内沟	[32, -56, 52]	Boccia et al., 2014
左侧颞中回	[-58, -44, 0]	Wu et al., 2012
左侧眶额下回	[-46, 28, -4]	Binder et al., 2009

意见 2: 假如说有 4 个 ROI, 那么在 ROI 间需要做多重比较校正以控制假阳性。每个 ROI 的功能连接图校正后 P 值需要卡在 0.05/4。

回应: 见对审稿人 1 问题 6 的回应。

意见 3: 功能连接图和数学焦虑水平之间是否存在关系? 建议检验一下。

回应: 感谢审稿人的意见。我们进行了补充分析, 分别计算四个种子点的功能连接图与数学焦虑水平之间的相关(voxel $p < 0.005$, cluster $p < 0.0125$, GRF 校正), 结果发现: 在以双侧 HIPS、左侧 MTG 为种子点的功能连接图与数学焦虑均无显著相关, 以左侧眶额下回 (orbital_IFG)与右侧顶枕交界处(峰值 MNI 坐标[33, -66, 45], cluster size = 230)的功能连接强度与数学焦虑水平呈显著正相关(见图 1)。我们进一步提取了该显著 cluster 上的 FC 强度, 得到左侧眶额下回与右侧顶枕交界处之间的 FC 强度, 以此为中介变量做中介效应检验, 来验证这条连接是否作为数学焦虑水平与算术原理之间的中介变量。结果发现中介效应不显著, 该连接与算术原理成绩并无显著的相关关系。

右侧 HIPS 为种子点的功能连接图中未发现与数学焦虑水平在全脑水平上的相关, 这可能是由于数学焦虑水平对静息态功能连接来说特异性较高, 而全脑水平的矫正对信号强度的要求高, 因此难以在全脑水平出现阳性结果, 这一推测在审稿人 2 推荐的全脑水平中介分析的结果中进一步得到了验证, 即中介效应在 FDR 矫正的阈限下未达到显著, 而未校正 $p < 0.01$ 的阈限下可以在全脑水平验证 HIPS-insula 通路与数学焦虑水平的相关关系, 及其在算术原理成绩与数学焦虑之间的中介作用。我们将新的分析结果与讨论加入了正文中。

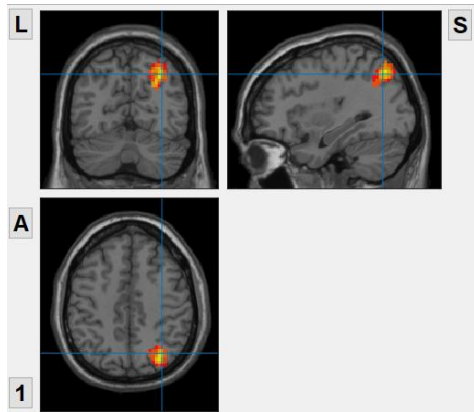


图 1 左侧眶额下回为种子点的功能连接图与数学焦虑水平显著相关的脑区位于右侧顶枕交界处，图中为右侧顶枕交界处示意图(峰值 MNI 坐标[33, -66, 45], cluster size = 230)

意见 4: 四个 ROI 之间的功能连接与行为是否存在某种效应? 这可以直接检验作者选择 ROI 的一些假设。

回应: 感谢审稿人的专业意见。我们分别提取了每个 ROI 与另外的 3 个 ROI 之间的功能连接, 得到每个被试在 4 对 ROI 之间功能连接的值 (共 16 条连接)。然后以平均框架方向位移(frame-wise displacement, FD)为控制变量, 将这 16 条连接值分别与算术原理成绩做相关, 我们发现右侧 HIPS 与左侧 MTG 之间的功能连接强度与算术原理呈显著正相关 (未校正 $p < 0.001$), 具体地, 以 HIPS 为种子点时, 二者之间的 FC 与算术原理成绩相关值 ($r = .35, p < 0.001$), 以左侧 MTG 为种子点时, 二者之间的 FC 与算术原理成绩的相关值($r = .34, p < 0.001$)。上述结果经过 FDR 校正后仍然显著。这表明我们选取的 ROI 确与算术原理的加工存在关联。我们将此结果加入了结果部分的第一段, 以验证 ROI 选取的假设。

第二轮

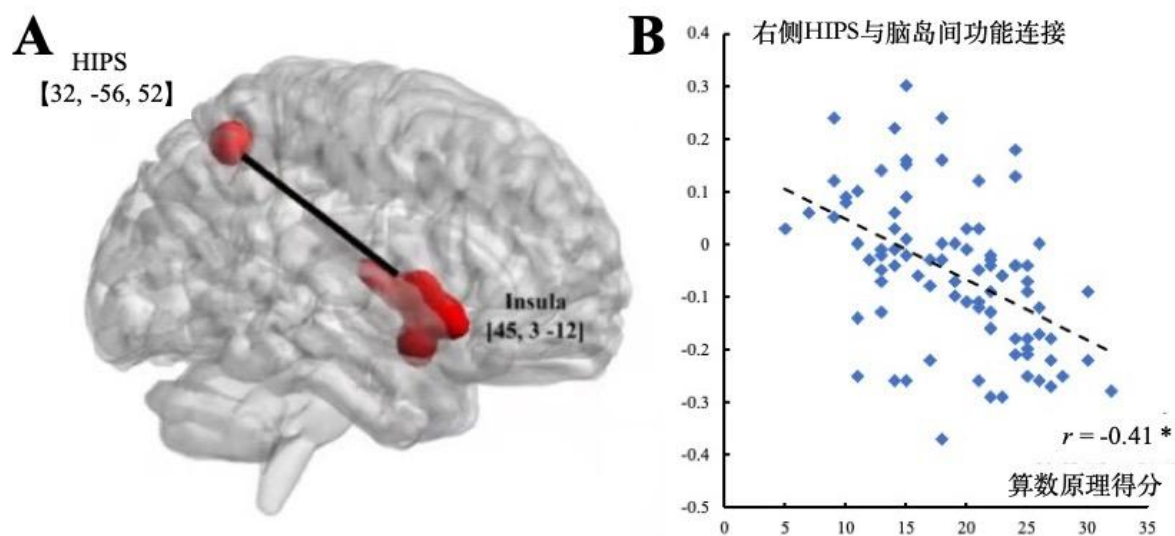
审稿人 1 意见:

作者对审稿人的意见逐一进行了修改, 建议可以发表

审稿人 2 意见:

作者很好回答了审稿人提出的意见和建议, 建议接收。 还有最后一个需要修正的点是论文的图 3B 中 x 轴的原点标记 0 可以去掉, 或者换个位置, 现在这个 0 标记在 y 轴上了。如果可能, 其实可以考虑将 x 轴及其标记放在页面下方而不是放在中间, 这样能把数据看得更清楚。

回应:感谢审稿人的专业意见,我们已在原文中按照要求对图片做了修改, 修改后图片如下:



审稿人 3 意见:

作者对我的审稿意见已作出适当的回应。

编委意见: 同意审稿人意见, 建议发表

主编意见: 本论文借助静息态功能磁共振成像技术, 结合行为测量结果, 对数学焦虑影响数学概念知识加工的脑机制进行了考察。本论文研究框架清晰, 数据处理过程科学规范。