

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：老年遗忘型轻度认知障碍执行功能的神经机制及数字干预研究

作者：刘海宁 董现玲 刘海虹 刘艳丽 李现文

第一轮

审稿人意见：

作者提出了关于老年遗忘型轻度认知障碍执行功能的神经机制及数字干预的研究构想。整体上，论文所提出的科学问题明确，研究思路比较清晰，写作规范。

目前论文的主要问题是，基于深度学习的研究思路比较模糊。具体而言，关于三维卷积神经网络分类模型的构建没有论述清楚。如：这里作者使用“三维”是指什么？这里的“分类模型”是指针对什么目标的分类？建议作者进一步阐述清楚。以下是几个小的修改建议：

回应：非常感谢给出的建设性修改意见。这里的“三维”是指同步提取空间域以及时间域特征的一种卷积神经网络。三维卷积操作指的是将一个三维卷积核在多个时间维度上相邻的数据叠加形成的立方体上进行卷积操作。这种分析方法既关注不同时刻点上的不同脑电波信号的空间特征，又关注存在于连续脑电波信号中时间维度上的特征。这里的“分类模型”是指针对遗忘型轻度认知障碍患者抑制、刷新和转换三个执行功能子成分的分类。具体而言，需要区分基线、抑制、刷新和转换四个不同因子水平，在每个执行功能子成分与基线条件的差异间各训练 1 个分类器（抑制 VS. 基线、刷新 VS. 基线、转换 VS. 基线）；通过 5 倍交叉验证，初步构建遗忘型轻度认知障碍抑制、刷新和转换模型。具体修改请见高亮部分。

意见 1：文中论述提到：执行功能与“执行控制、中央执行、执行注意”等术语经常互换使用。建议“执行控制”、“中央执行”、“执行注意”分别应用引号，而不是放在一起引用。

回应：非常感谢给出的针对性修改意见。针对该部分的标点符号问题，我们已进行修改，具体修改请见高亮部分。

意见 2：行文整体上清晰流畅，不过有个别句子偏长，建议通读论文，改写过长的句子。

回应：非常感谢给出的语言方面的修改意见。我们已对过长句子进行修改，具体修改请见高亮部分。

意见 3：文中多处文献引用格式不符合规范，建议通篇修改。

回应：非常感谢给出的修改意见。针对文献引用格式问题，我们已进行修改，具体修改请见文献引用浅蓝色高亮部分。

意见 4：“Wang 等(2019)采用 Pearson 相关分析发现 aMCI 患者在工作记忆（刷新）任务中右腹外侧前额叶皮层、右背外侧前额叶皮层和左辅助运动区的低频振幅增加，同时表现出相关的功能连接模式改变。”这里关于“采用 Pearson 相关分析发现”的论述是不准确的，“低频振

幅”的结果和“Pearson 相关分析”没直接关系。

回应：非常感谢给出的针对性修改意见。针对该部分的表述，我们已修改为“Wang 等(2019)采用 Pearson 相关分析发现 aMCI 患者在工作记忆（刷新）任务中的成绩下降与其右腹外侧前额叶皮层、右背外侧前额叶皮层和左辅助运动区的低频振幅代偿性增加有关”。具体修改请见高亮部分。

第二轮

编委意见：

意见 1：文章的总体思路和逻辑是清晰和有意义的。但是更为深入的逻辑性还需要加强。作者从文献，和执行控制的 3 个核心成分的定义，去推测‘抑制’可能是比‘刷新’、‘转换’更基础的。自己的研究设计是准备对 3 个成分都采集 ERP 数据，但是具体如何通过传统和深度学习的方法来考察核心的科学问题缺乏有针对性的阐述，目前的描述都像是‘外围战’，多少都沾边，但是最直接的逻辑思路是缺乏的。

回应：非常感谢给出的建设性修改意见。基于脑电数据的深度学习分析方法具体流程如下（1）频域特征提取：提取研究中 aMCI 患者不同执行功能任务态的脑电数据，将 ERPs 的 theta, alpha 及 beta 3 个频段形成的图像按照 RGB 通道顺序形成多光谱图像。将不同脑区的多光谱图像分别作为输入数据，同步输入到不同的卷积通道，经过三层二维卷积层和三层池化层提取频域特征。（2）时空特征提取：将不同任务不同时刻的脑地形图作为输入，采用五层三维卷积层和一层二维卷积层生成空间特征图，同时通过反向传播获取梯度加权类激活热图（Gradient-weighted Class Activation Mapping, Grad-CAM），分析网络对于 3 个执行功能子成分分类的关注脑区，进一步提取重点脑区的空间特征。（3）脑功能连接特征提取：首先，从任务态脑电中提取基于拓扑的复杂网络度量的大脑连接特征；其次，提取不同频段的连通特征，作为三维卷积神经网络分类器集成的输入；最后，将不同频带上连接复杂网络特征的一维向量转换成二维张量，作为一维的输入，进一步提取重点脑区的脑功能连接特征。（4）构建深度学习分类模型：将上述多维神经生理学脑电频域和时空特征进行融合；之后，进行特征组合集群分析，筛选出有效特征值，区分基线、抑制、刷新和转换四个不同因子水平，搭建机器学习分类架构，在每个执行功能子成分与基线条件的差异间各训练 1 个分类器；通过 5 倍交叉验证，初步构建遗忘型轻度认知障碍抑制、刷新和转换模型。（5）跨分类验证：以其余执行功能子成分的脑电特征值作为测试集，对上述 aMCI 抑制、刷新和转换模型进行执行功能子成分特征集两两间交叉验证，比较不同模型分类结果的准确度、敏感度、特异度，以考察不同子成分神经特征间的“重叠”程度。（6）跨人群验证：按照研究一的研究流程，对 30 名认知正常老年人群进行 ERP 脑电实验。将临床诊断结果作为金标准，对 aMCI 抑制、刷新和转换域神经相关分类模型分类效果进行准确度、敏感度、特异度的跨人群验证。具体修改请见高亮部分。

意见 2：另外一个关键问题，数字化的干预研究，到底是为了进一步证实‘抑制’可能是比‘刷新’、‘转换’更基础的，从研究设计来看是这样的，因为设计了 3 个干预组（分别针对 3 个成分）。但是文字的表述，又貌似想说是根据前面的研究确定了‘抑制’是更基础成分之后，进行更有针对性靶向干预。建议作者再仔细思考一下，到底干预研究的意义（或者

说最重要的意义)是什么,然后进行研究设计和研究讨论之间更为 coherent 的表述。综上建议进一步修改。

回应: 非常感谢给出的建设性修改意见。数字干预的意义在于证实‘抑制’可能是比‘刷新’、‘转换’更基础。经过通读全文,我们将“理论构建”部分的相关描述进行了进一步修改,比如“采用“典型异常脑电特征-主要兴趣脑区-重点驱动脑区-特异性致病特征”的思路,尝试探索并阐明 aMCI 干预调控候选靶向目标”,“力图在临床认知康复应用中进一步验证不同靶向数字干预方法的干预效果。通过精准靶向调控不同执行功能子成分,以期改善 aMCI 患者的临床认知表现。将可能的特异性损伤靶标(“抑制”)作为重点关注的干预调控靶标,并细致比较其与其他干预调控靶标(如“刷新”、“转换”)的干预、迁移和剂量效应差异……”具体修改请见高亮部分。