AI眼动指标开启认知功能智能评估新路径

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/42859.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

AI眼动指标开启认知功能智能评估新路径。阿尔茨海默病（AD）的发生发展往往经历漫长过程，在临床症状明显出现之前，大脑功能可能已经发生改变。预计到2050年，AD及相关痴呆症的全球患病率将增长两倍，这使得早期筛查与风险评估的需求愈发迫切。当前，基于脑脊液等金标准生物标志物检测特异性虽高，但具有侵入性且成本高昂；而日常生活认知（ECog）量表（特别是其简版ECog-12）等神经心理学评估则易受患者病感缺失或知情者回忆偏倚的干扰，在临床应用中存在局限性。

眼球运动并不仅仅反映视觉能力，它实际上受到大脑多个认知网络的调控。尤其是在需要主动控制眼球运动的任务中，眼动表现能够反映注意力、执行控制以及抑制能力的变化。眼动行为涉及的背外侧前额叶皮层（DLPFC）、额叶眼动区（FEF）等认知相关神经回路与早期神经退行性病变区域高度重叠。其中，反向眼跳任务通过测量扫视潜伏期和错误率，可有效评估抑制控制与执行功能，进而识别出轻度认知障碍（MCI）和早期AD患者。

因此，眼动指标被视为一种非侵入性的生理学替代方案，但传统统计模型难以处理潜伏期和错误率之间的非线性速度-准确率权衡。相比之下，深度学习中的卷积神经网络（CNN）可提取局部特征交互，Transformer自注意力机制则能捕获全局依赖关系，二者融合的混合架构更适合处理这类非单调性的临床分类问题。

技术突破：CNN-Transformer混合架构

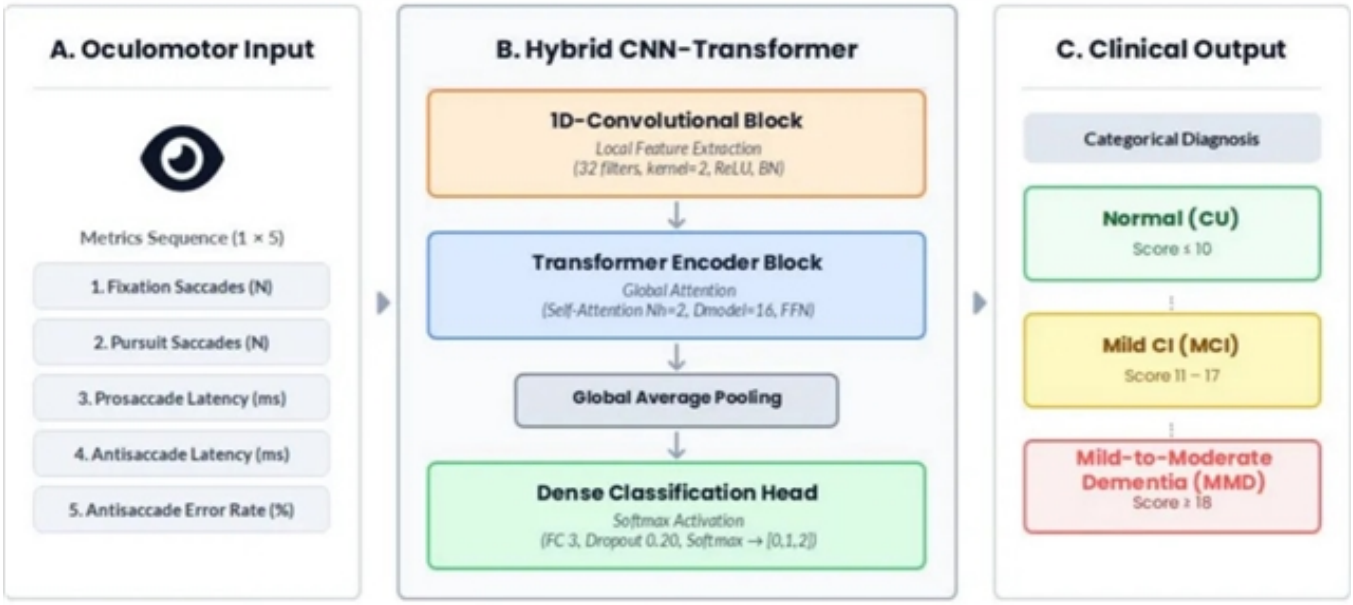


图1.卷积神经网络-Transformer混合模型架构

近日，美国马里兰大学Li-Qun Zhang团队在ENGINEERING Health and Rehabilitation Engineering期刊发表题为AI-Facilitated Assessment of Cognitive Status Based on Oculomotor Metrics的研究成果。针对上述难题，研究团队开发了一种混合式CNN-Transformer深度学习架构，纳入五项眼动指标：注视性扫视、追踪性扫视、朝向扫视潜伏期、反向扫视潜伏期和反向扫视错误率，首先采用D卷积层提取局部潜伏期-错误率交互特征，继而利用Transformer编码器对这些特征的全局重要性进行加权，最终的预测结果通过Sigmoid函数缩放，以确保数学稳定性。

在事后分析中，研究团队将连续的ECog-12预测值划分为三个临床标准层级：认知未受损（CU，定义为ECog-12评分≤10）、轻度认知障碍（MCI，评分为11~17）和轻中度痴呆（MMD，评分≥18分）。

核心发现：高准确率与类别不平衡并存

在包含807名受试者的独立留出测试集上，该模型的总体分类准确率达到85.13%。然而，鉴于该数据集存在严重类别不平衡问题（CU占测试集的86.4%），研究团队同步报道了各类别的诊断性能指标：CU的灵敏度为86.8%（精确率为97.9%）；MCI的灵敏度为23.1%（精确率为3.9%）；MMD的灵敏度为100%（仅4个测试样本，结果解读需谨慎）。

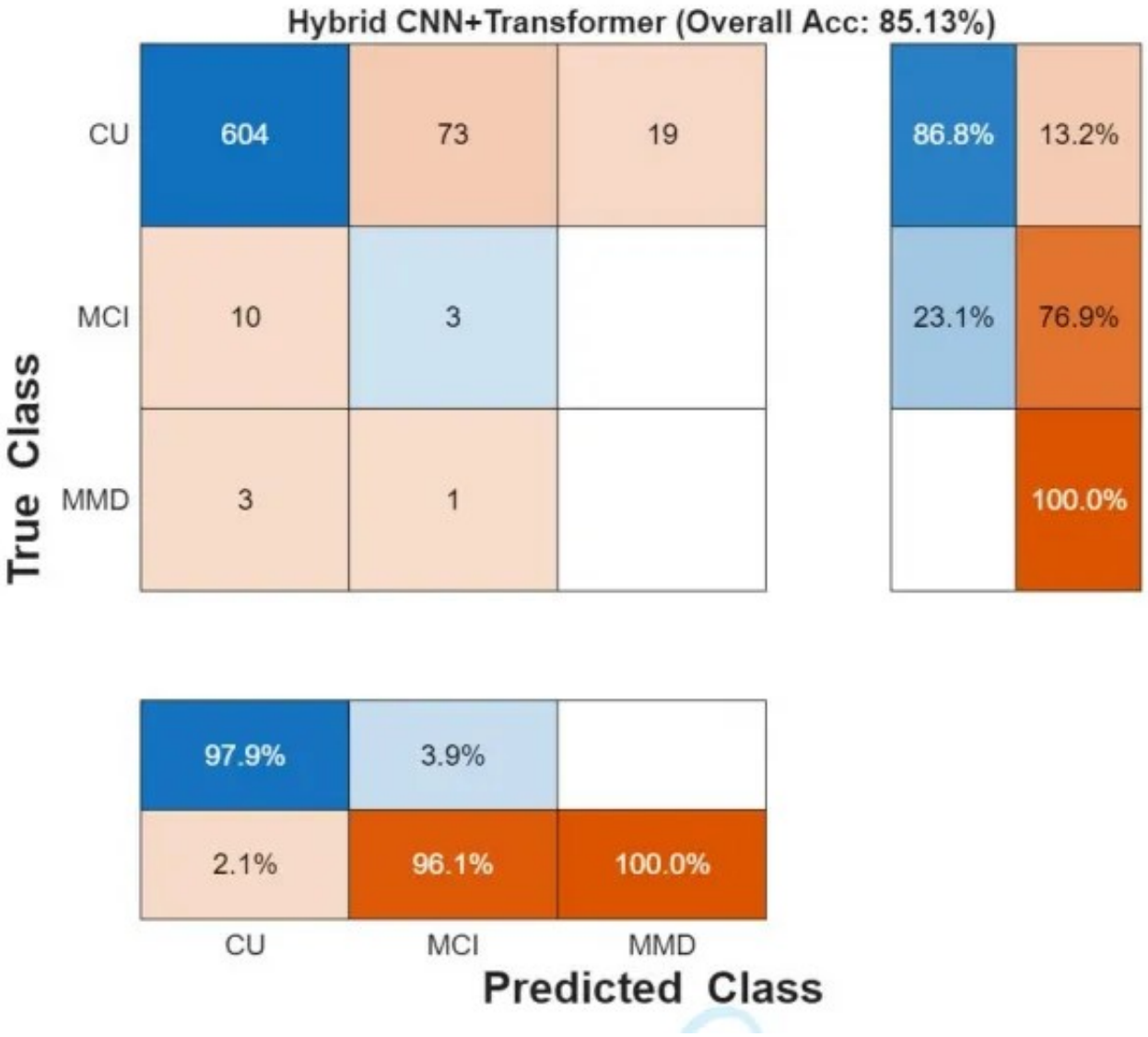


图2.临床分类混淆矩阵

临床应用：可靠性的边界在哪里？

为验证该模型临床应用的可靠性，研究团队进一步采用了Bland-Altman分析（图3）。结果表明，个体水平预测的可靠性在临床鉴别最具关键性的CU/MCI边界区域最低，因此该模型在个体水平的临床决策中应谨慎使用。

研究团队还评估了该模型作为二元筛查工具检测任何损害（ECog > 10）的能力。受试者工作特征（ROC）曲线（图4）的曲线下面积（AUC）为0.60，表明在该不平衡样本中，区分任何认知损害（ECog-12 > 10）与正常认知的判别能力虽属中等，但高于随机水平。

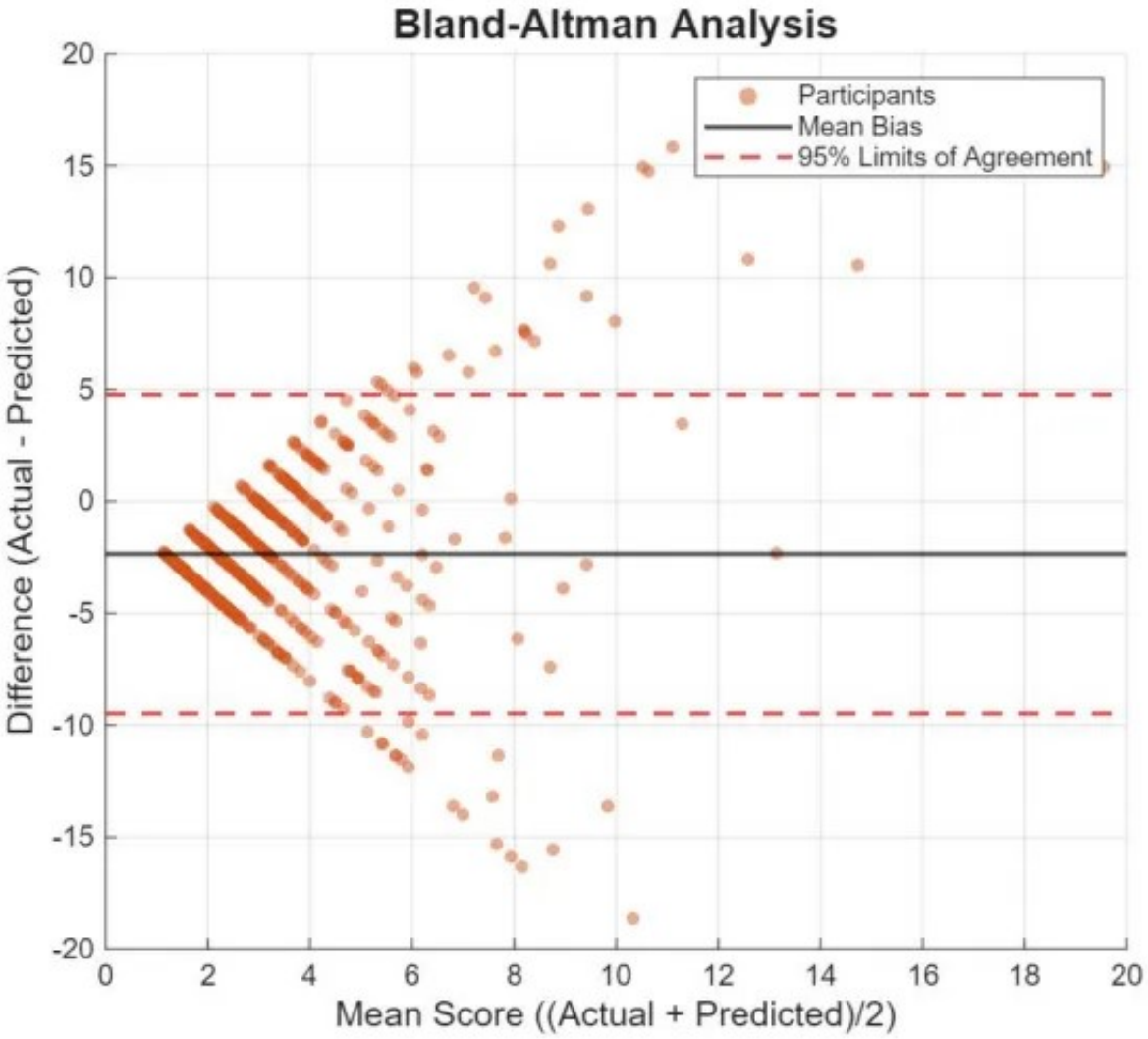


图3.Bland-Altman一致性分析

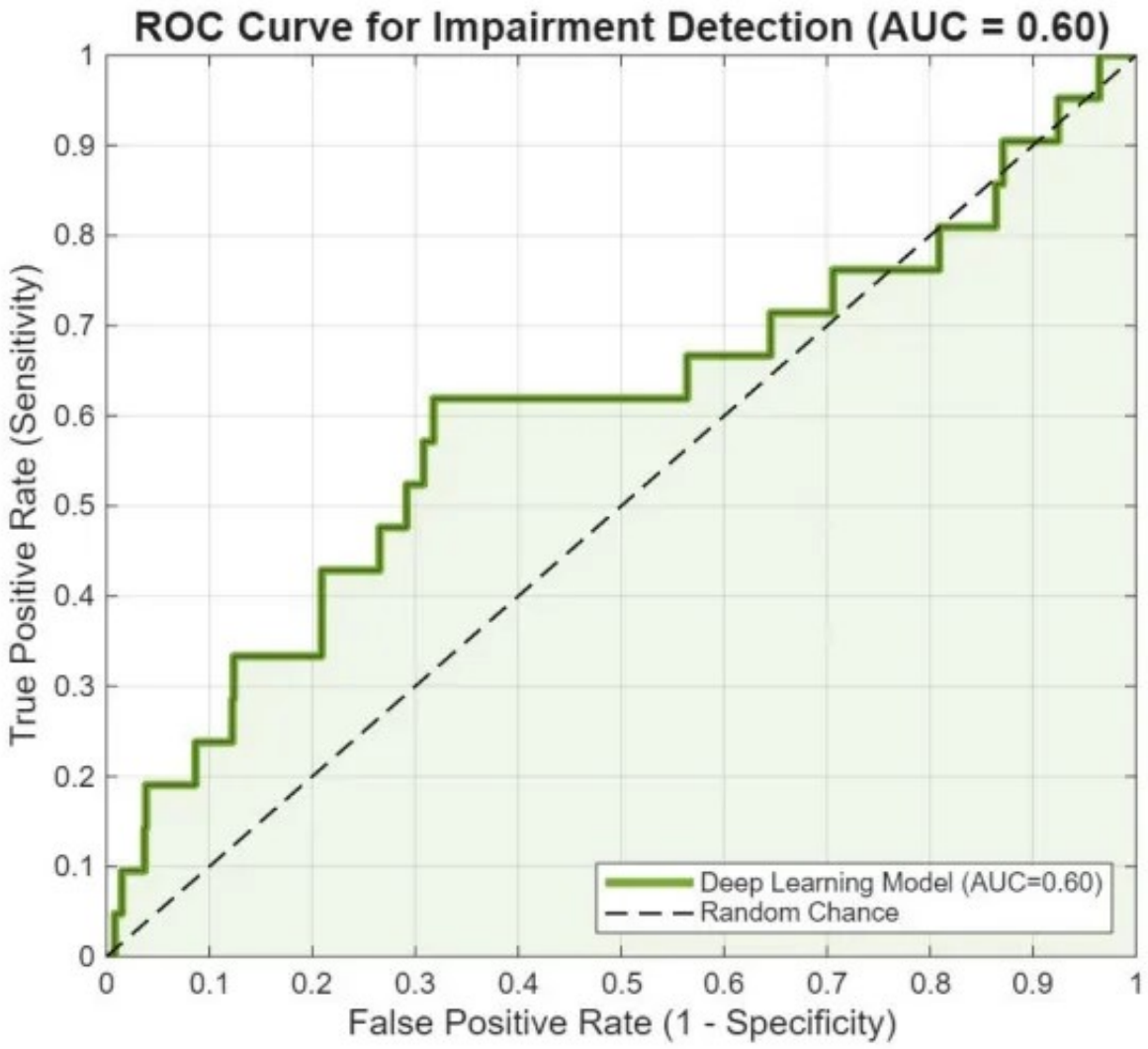


图4.损伤检测受试者工作特征曲线

综上，这项研究表明，基于五项眼动指标的混合深度学习模型能够以较高准确率实现功能性认知衰退的分类。传统模型通常难以处理潜伏期与错误率之间的非线性关系，但该研究采用的混合CNN-Transformer架构有效克服了这一局限。

开发准确、客观且无创的筛查工具，对神经退行性疾病的早期风险评估具有深远意义。尽管结果令人鼓舞，但该研究仍存在局限性：分析基于回顾性数据，尽管队列规模较大，但仍需在独立数据集上进行外部验证，以确保模型在不同人口学特征和记录设备间的泛化性。

通过将眼动追踪的生理特异性与CNN-Transformer架构的计算能力相结合，研究团队为实现客观、可扩展且精准的认知筛查提供了一条可行路径。上述发现进一步强化了眼动指标作为AD及相关痴呆症数字生物标志物的潜力。

研究亮点：开发了融合CNN与Transformer的混合深度学习模型，实现眼动信号智能分析。利用眼动指标替代传统复杂检测方式，非侵入、低成本，为认知筛查提供新思路。基于807名受试者的独立测试，实现认知状态分类准确率85.13%，展现辅助筛查潜力。为早期筛查、康复评估和健

康管理提供技术支持。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://journal.hep.com.cn/ehre/EN/10.2738/ENGHRE.2026.0001

作者：Li-Qun Zhang 来源：《工程·健康与康复工程》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发