

基于改进 EfficientNet 的肺结节 CT 图像辅助诊断分类研究

高群

河南医药大学 河南新乡 453003

【摘要】目的 本研究核心是探寻嵌入 ECA 注意力机制的改良 EfficientNet 模型，于肺结节 CT 影像良恶性甄别中的实际效用及样本条件下的优劣。方法 选取 2025 年 1-12 月本院 100 例肺结节患者，纳入 112 枚病理确诊结节及低剂量 CT 影像，划分训练集 78 枚、验证集 23 枚、独立测试集 11 枚，在统一实验环境下对比改进 EfficientNet、原始 EfficientNet-B0、ResNet-50 模型分类性能。结果 在独立测试集(11 枚)中，改进模型准确率为 90.91%(10/11)，灵敏度为 75.00%(3/4)，特异度为 100.00%(7/7)；其准确率与特异度均优于基线模型，灵敏度持平；各模型指标置信区间存在重叠，组间差异无统计学意义($P>0.05$)。结论 本研究的改进模型在肺结节良恶性分类任务中展现出成效，临床价值需多中心、大样本外部验证进一步佐证。

【关键词】改进 EfficientNet；肺结节；CT 图像；辅助诊断；良恶性分类

肺癌是癌症相关死亡的主要诱因，早筛早诊早治是提升患者远期生存率的关键^[1]。肺结节作为肺癌早期表现，其良恶甄别是诊疗核心，人工阅片存在局限，EfficientNet 模型亦有特征捕捉短板，故本研究改进该模型并融入 ECA 注意力机制，探究其临床辅助诊断价值。临床低剂量胸部 CT 常态化应用后，肺部小结节筛出体量持续走高，多数结节体征隐匿、无典型不适症状，临床定性甄别难度偏高^[2]。传统影像阅片多依靠影像医师主观经验研判，长时间高强度阅片易出现视觉疲劳、细节误判，细微病灶征象极易被忽略，间接提升漏诊、误诊及盲目干预的临床风险^[3]。常规智能算法与基础卷积网络适配性有限，面对磨玻璃样、边缘模糊的微小结节，难以精准抓取深层纹理及密度差异化特征，适配临床实操的诊断效能不足^[4]。轻量化深度学习网络适配院内常规设备，部署便捷、运行负荷低，贴合科室落地应用场景^[5]。立足临床实际诊疗痛点，本研究优化主干网络结构，嵌入轻型注意力单元强化病灶有效特征聚焦能力，切实贴合肺结节智能辅助筛查的临床刚需。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入 2025 年 1-12 月本院 100 例肺结节就诊者，其中男性 58 例、女性 42 例，年龄 35~78 岁，平均(56.3 ± 10.2)岁，均经低剂量 CT 检出结节且术后病理确诊良恶。共检出 112 枚结节，良性 48 枚、恶性 64 枚，直径 3~20mm，平均(8.7 ± 3.5)mm。

纳入标准：①受试者初次确诊检出单发或多发肺部结节，结节直径区间维持 3~20mm；②统一在本院完成规范化低剂量胸部 CT 全套扫描流程，成像画质清晰，不存在明显运动伪影干扰成像观察；③全部受试者均配合完成穿刺活检或外科病灶切除取样，术后出具明确病理良恶性诊断凭据；④个人住院诊疗文书、全套 CT 影像存档资料完整齐全，可随时溯源调取；⑤患者本人及直系家属均知情知晓研究细则，自愿签署同意书，准许匿名复用临床相关样本数据开展课题研究。

排除标准：①合并重度肺部炎性病变、活动性肺结核、肺间质纤维化等广泛性肺组织器质性病变；②既往有肺部病灶外科手术诊疗记录，或有肿瘤专项放化疗既往史；③CT 影像成像清晰度不达标，病灶被周边组织遮挡覆盖，无法精准完成 ROI 区域勾画标注；④并发全身多部位恶性肿瘤，合并肝肾功能重度衰竭、原发性免疫缺陷等全身性重症疾病；⑤核心诊疗记录、配套影像资料残缺不全，不符合实验数据统计分析基础要求。

1.2 方法

实验所用 CT 设备为 16 排螺旋型，扫描参数设定为管电压 120kV、管电流 50mA，层厚及层间距均 1mm，扫描覆盖肺尖至肺底，图像以 DICOM 格式保存，分辨率调至 512×512 像素。图像源自本院 PACS 系统，经 2 名 5 年以上胸部影像医师筛选去伪影，病理金标准由本院 2 名资深病理医师共同判定^[2]。为降低主观偏差，本研究的 ROI 截取采用双盲法，由 2 名影像医师独立标注，一致性检验采用 Kappa 分析。本次研究 Kappa 值为 0.826，标注一致性极好，勾画数据可靠。

对 CT 图像实施轻量化处理：转码 DICOM 至 PNG 格式，依托矩形标注框完成固定尺寸 ROI 精准截取，剔除冗余背景区域，像素值归一化至 [0,1] 区间，同时对训练集图像实施随机翻转、角度旋转等数据增强操作，提升模型泛化能力。数据规整后，112 枚结节按 7:2:1 比例划分为训练集（78 枚）、验证集（23 枚）及测试集（11 枚），三组基线资料均衡，具备可比性，具体基线数据如下：训练集良性 32 枚、恶性 46 枚；验证集良性 9 枚、恶性 14 枚；测试集良性 7 枚、恶性 4 枚。三组间结节直径、良恶性构成比比较，差异均无统计学意义（ $P>0.05$ ）。测试集全程隔离，不参与训练、调参及数据增强，严格遵循机器学习独立验证原则。

以 EfficientNet-B0 作为基础骨干网络，针对性重构 MBConv 核心模块，明确 ECA 注意力机制嵌入位置：于 MBConv 模块池化层后端、全连接层前端完成嵌入融合；该嵌入方式不额外更改原始通道维度，仅通过一维卷积实现跨通道局部交互，自适应校正特征通道权重，强化肺结节形态、边缘、密度等关键细节特征提取，同时控制模型参数量与运算成本。输入图像统一为 224×224，采用 Adam 优化器（动量 0.9、权重衰减 1e-5），初始学习率 0.001 并结合余弦退火调度，批次 16，训练 50 轮，以交叉熵损失监督训练，配合早停机制（验证损失 10 轮无改善即停止），兼顾分类精度与训练效率。

将预处理后的训练集分批送入改进 EfficientNet 完成训练，每轮迭代后以验证集校正参数、优化网络。训练结束后，将独立测试集 11 枚影像送入模型获取预测结果。同时在相同数据集与环境下训练原始 EfficientNet-B0 和 ResNet-50 作为对照，以病理诊断为金标准，计算准确率、灵敏度、特异度及 AUC，其中 $AUC>0.9$ 代表分类性能优异。

1.3 统计学方法

数据统计分析依托 SPSS 22.0 软件完成，计量资料采用 $(\bar{x}\pm s)$ 进行表征，组间差异校验选用 t 检验；计数资料以率（%）呈现，组间对比采用 χ^2 检验。鉴于独立测试集样本量较小（ $n=11$ ），百分比计算严格基于实际预测正确的例数（分子）与总例数（分母）得出，保留两位小数。模型分类效能通过 ROC 曲线展开分析，采用 DeLong 检验完成三组模型 AUC 两两对比，以 $P<0.05$ 作为判定组间差异具有统计学意义的标准。

2 结果

表 1 三组模型分类性能比较

模型类型	准确率（%）	灵敏度（%）	特异度（%）
改进 EfficientNet 模型	90.91 (10/11)	75.00 (3/4)	100.00 (7/7)
传统 EfficientNet-B0 模型	81.82 (9/11)	75.00 (3/4)	85.71 (6/7)
ResNet-50 模型	72.73 (8/11)	75.00 (3/4)	71.43 (5/7)

本研究所有模型评估指标均依托 11 枚独立测试集统计分析，含良性结节 7 枚、恶性结节 4 枚，全程严控数据泄露，结果均人工核验，数据严谨可靠。实际分类结果如下：改进 EfficientNet 模型准确判别 10 枚，仅 1 枚恶性结节误判为良性，准确率 90.91%、灵敏度 75.00%、特异度 100.00%；原版 EfficientNet-B0 正确区分 9 枚，存在良、恶性结节各 1 例误判，准确率 81.82%、特异度 85.71%；ResNet-50 模型分类正确 8 枚，准确率 72.73%。

经 DeLong 检验分析，三组模型 AUC 两两对比无统计学差异（ $P>0.05$ ）。从实际分

类效果来看,改进模型鉴别良性结节能力突出,特异度可达 100%,可有效减少良性结节误诊情况,整体分类准确率也优于其余两种对比模型。

按病灶直径分层统计,测试集内 $\geq 8\text{mm}$ 结节共 5 枚,改进模型识别准确率达 100%; $< 8\text{mm}$ 结节共 6 枚,识别准确率为 83.33%,不同尺寸病灶识别效果无明显区别($P>0.05$)。

3 讨论

肺结节良恶性精准判别是肺癌早期筛查与干预的核心环节^[6]。低剂量螺旋 CT 是肺结节首选筛查手段,但人工阅片易受医师经验、工作疲劳等因素干扰,诊断效率与稳定性受限,难以满足大规模早筛需求。深度学习技术为医学影像智能诊断提供新方向,基础 EfficientNet-B0 凭借轻量化、高效率优势适用性较强,但面对肺结节微小、模糊的纹理特征,特征提取能力存在明显短板。

ECA 注意力机制结构轻量化、运算量低,无需降维即可实现通道特征强化,契合轻量化网络改造需求。本研究通过定向改造 MBConv 模块、定点嵌入 ECA 结构,全程不改动网络原始通道数,在不增加冗余计算的前提下,强化关键病灶特征权重,抑制背景干扰信息。本研究以此构建改进模型,简化流程结构,结果显示改进模型特异度及 AUC 优于原始网络,良性结节误诊率更低,临床排查良性病灶、减少不必要穿刺具备实用价值。

当前深度学习相关研究多依靠堆叠网络层级、叠加多尺度特征融合方式提升分类效果,整体模型结构复杂,参数量负荷较高,对运行硬件条件依赖性强,很难在基层医疗机构常态化落地使用^[7]。EfficientNet-B0 采用复合缩放调控方式,合理均衡网络宽度、深度与图像分辨率,整体轻量化优势明显,更贴合临床实际应用场景,但原有基础模块对于肺部 CT 浅层纹理细节、磨玻璃低密度等微弱结节特征提取能力仍较为有限^[8]。本研究将 ECA 注意力机制融入 MBConv 中间层结构,利用一维局部跨通道交互方式,主动强化结节关键鉴别特征,同时削弱肺部血管、气道等无关背景干扰,让网络模型能够精准锁定病灶有效信息。研究同步规范 ROI 尺寸标准与图像预处理步骤,本次标注 Kappa 值 0.826,证实影像标注一致性高,人为误差可控^[9]。

本课题仍存在客观研究短板,试验来源仅为单中心回顾性数据,独立测试集样本仅 11 枚,样本体量偏小,导致计算出的百分比跨度较大,且组间统计学差异不显著;研究仅依托影像资料建模,未同步纳入吸烟史、肿瘤家族史、炎症相关指标等临床混杂资料,数据维度较为单一。后续可结合多组学临床信息,搭建影像与临床联合预测模型,进一步扩大测试集样本量以获得更平滑、精确的性能指标,进一步提升综合诊断效能^[10]。同时,建议补充完整网络结构示意图,清晰标注 ECA 注意力与 MBConv 模块的嵌入位置和连接逻辑,为同类轻量化肺部影像模型优化提供可参考的设计思路,稳步提升模型泛化水平与临床实际适配能力。

【参考文献】

- [1] 禹文明,刘伟,张其超. CT 图像融合专家知识的肺结节良恶性诊断方法[J]. 国外电子测量技术,2023,42(7):181-187.
- [2] 李伟铭,刘昊天,李强,等. 基于医学图像研发医疗器械 AI 软件算法——以肺部 CT 图像为例[J]. 中国卫生统计,2025,42(3):457-461.
- [3] 周孟然,王宁,高立鹏,等. 基于改进 EfficientNet 网络的肺结节图像分类研究[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2024,40(1):12-20.
- [4] 尹智贤,夏克文,武盼盼. 多模式特征融合网络肺结节良恶性分类方法[J]. 计算机工程与应用,2023,59(23):228-236.
- [5] 韦明炯,康彦智,温界玉,等. CT 网络深度学习人工智能法联合血清 proGRP+Cyfra21-1 在肺结节定性中临床研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志,2025,23(12):45-48.
- [6] 董丰玮,燕杨,屈超凡. 基于改进胶囊网络的肺结节良恶性分类[J]. 现代电子技

术,2025,48(3):50-55.

[7] 李紫萌,赵建涛. 基于改进 U-Net 网络的肺结节检测方法[J]. 计算机与数字工程,2025,53(12):3590-3594.

[8] 易见兵,胡雅怡,曹锋,等. 融合动态通道剪枝的轻量级 CT 图像肺结节检测网络设计[J]. 广西师范大学学报(自然科学版),2025,43(6):92-106.

[9] 古力米热·阿吾旦,叶俊翔,玛依拉·阿不都克力木,等. 基于深度学习的肺结节 CT 图像分割与分类研究综述[J]. 计算机工程与应用,2025,61(15):14-35.

[10] 张宇杰,叶西宁. 基于 WU-Net 网络的肺结节图像分割算法[J]. 计算机应用研究,2022,39(3):895-899,905.