

指南导向的人工智能辅助TI-RADS分级在甲状腺结节风险分层与规范化管理中的应用价值

马诺¹ 黄飞¹ 张渝悦² 张晴晴³ 董文阅^{4*}

1.宁夏医科大学第一临床医学院, 中国·宁夏 银川 750004

2.宁夏医科大学中医学院, 中国·宁夏 银川 750004

3.宁夏医科大学第三临床医学院, 中国·宁夏 银川 750004

4.宁夏医科大学口腔医学院, 中国·宁夏 银川 750004

摘要: 甲状腺结节检出率持续升高, 如何在避免漏诊恶性结节的同时减少低风险结节过度检查和过度干预, 已成为超声医学、内分泌、甲状腺外科和基层医疗共同面对的现实问题。甲状腺影像报告和数据系统通过标准化超声征象描述和恶性风险分层, 为甲状腺结节诊疗提供了重要依据, 但其临床应用仍受操作者经验、图像质量、报告规范、穿刺阈值理解和随访执行等因素影响。近年来, 深度学习、机器学习、医学影像数据集和临床决策支持系统的发展, 为TI-RADS自动化分级、风险再评估、随访提醒和真实世界数据利用提供了新路径。本文围绕甲状腺结节规范化管理需求, 综述TI-RADS体系的临床价值与局限、人工智能辅助超声分析的技术进展、从智能分级到决策支持的转化路径、随访闭环与数据治理要求, 并讨论外部验证、可解释性、责任边界、隐私保护和前瞻性评价等关键问题。未来, 人工智能辅助TI-RADS不应被定位为替代医生的诊断工具, 而应作为指南落地、质量控制和分层管理的辅助工具, 在医生主导下服务于甲状腺结节的规范诊疗和长期管理。

关键词: 甲状腺结节; TI-RADS; 人工智能; 超声; 临床决策支持; 随访管理

Application Value of Guideline-Oriented AI-Assisted TI-RADS Grading in Risk Stratification and Standardized Management of Thyroid Nodules

Ma Nuo¹, Huang Fei¹, Zhang Yuyue², Zhang Qingqing³, Dong Wenyue^{4*}

1. The First Clinical Medical College, Ningxia Medical University, China Ningxia Yinchuan 750004

2. School of Traditional Chinese Medicine, Ningxia Medical University, China Ningxia Yinchuan 750004

3. The Third Clinical Medical College, Ningxia Medical University, China Ningxia Yinchuan 750004

4. School of Stomatology, Ningxia Medical University, China Ningxia Yinchuan 750004

Abstract: The detection rate of thyroid nodules continues to rise. A major challenge currently faced by ultrasound medicine, endocrinology, thyroid surgery, and primary care is how to avoid missing malignant nodules while reducing unnecessary examinations and interventions for low-risk nodules. The Thyroid Imaging Reporting and Data System (TI-RADS) provides a crucial basis for the diagnosis and treatment of thyroid nodules through standardized descriptions of ultrasound features and malignant risk stratification. However, its clinical application remains influenced by factors such as operator experience, image quality, reporting standardization, understanding of biopsy thresholds, and adherence to follow-up protocols. In recent years, advances in deep learning, machine learning, medical imaging datasets, and clinical decision support systems have opened new pathways for automated TI-RADS grading, risk re-assessment, follow-up reminders, and the utilization of real-world data. Focusing on the need for standardized management of thyroid nodules, this article reviews the clinical value and limitations of the TI-RADS system, technological advances in AI-assisted ultrasound analysis, the translational pathway from intelligent grading to decision support, and requirements for follow-up loops and data governance. Furthermore, it discusses key issues including external validation, interpretability, boundaries of responsibility, privacy protection, and prospective evaluation. In the future, AI-assisted TI-RADS should not be positioned as a diagnostic tool to replace physicians, but rather as an auxiliary tool for guideline implementation, quality control, and stratified management, serving the standardized diagnosis, treatment, and long-term management of thyroid nodules under physician supervision.

Keywords: Thyroid nodules; TI-RADS; Artificial intelligence; Ultrasound; Clinical decision support; Follow-up management

0 引言

甲状腺结节是临床常见疾病。随着高分辨率超声和健康体检普及,无症状结节检出率显著升高,临床管理重点已由单纯发现结节,转向精准识别需干预的高风险结节,并减少低风险病灶的过度穿刺、手术和随访。全球癌症负担研究显示,2022 年全球甲状腺癌新发病例约 82.12 万例、死亡约 4.75 万例,呈现高发病、低死亡的流行病学特征^[1]。美国癌症学会 2026 年统计预测,美国甲状腺癌新发 45 240 例、死亡 2 320 例;SEER 资料显示,甲状腺癌 2016—2022 年 5 年相对生存率为 98.3%,且美国甲状腺癌发病率在 2013—2022 年间年均下降 1.4%,死亡率自 2009 年以来基本稳定^[2]。上述趋势提示,甲状腺结节管理不应追求单纯提高检出率,而应更加重视风险分层、穿刺决策、治疗选择、长期随访与患者沟通之间的平衡。

《甲状腺结节和分化型甲状腺癌诊治指南(第二版)》强调,甲状腺结节评估应综合超声、细针穿刺、病理诊断、临床危险因素及分层治疗策略,并提出超声鉴别良恶性的中国标准及穿刺适应证^[3]。然而,在真实临床场景中,TI-RADS 应用仍面临报告表述不统一、不同层级医疗机构判读差异、随访执行依赖人工提醒及患者依从性不足等问题。人工智能可通过图像识别、结构化报告、风险分层、质量控制和随访管理的流程整合,推动指南推荐由静态文本转化为可嵌入临床路径的智能辅助工具,为甲状腺结节规范化、精细化管理提供新的技术支撑。

1 TI-RADS 体系的临床价值与现实局限

TI-RADS 通过标准化描述甲状腺结节的成分、回声、形态、边缘及强回声灶等超声征象,实现恶性风险分层和管理建议衔接。C-TIRADS 强调简明性、可操作性和本土适用性,有助于提高报告一致性、减少不必要穿刺^[3]。欧洲甲状腺协会 2023 年指南亦强调风险适配管理,主张将超声分层与结节大小、临床危险因素、患者意愿及随访策略共同纳入决策^[4]。因此,TI-RADS 并非单纯评分工具,而是连接影像征象、风险判断与临床处置的标准化语言。

但 TI-RADS 在实践中仍存在局限。其一,微钙化、边缘不规则、纵横比异常等征象判断仍受操作者经验影响。其二,不同体系在分类阈值、恶性风险估计和穿刺建议上并不完全一致,ACR TI-RADS、EU-TIRADS、K-TIRADS 和 C-TIRADS 之间仍存在差异^[5]。其三,TI-RADS 主要评估影像学恶性风险,对年龄、甲状腺功能、合并症、手术风险、随访依从性等临床因素整合不足。其四,基层医疗机构虽能完成筛查,却常缺乏稳定复核和连

续管理能力。由此,人工智能辅助 TI-RADS 的重点不应停留在自动分级,而应服务于诊断一致性、处置规范性和随访连续性。

临床应用中还需区分风险分级与实际处置。TI-RADS 升高不等于立即手术,低级别结节也不代表无需随访。结节大小、增长速度、可疑淋巴结、压迫症状、甲状腺功能、妊娠计划及患者焦虑等,均会影响管理选择。理想的辅助系统应在报告端呈现分级依据,在决策端对应指南路径,在随访端记录动态变化,使风险分层真正嵌入甲状腺结节的连续管理。

2 人工智能辅助甲状腺超声分析的研究进展

现有人工智能研究主要集中于甲状腺结节检测、分割、良恶性分类和 TI-RADS 自动分级。卷积神经网络可从超声图像中自动学习边缘、纹理、回声不均、强回声灶等高维特征;传统机器学习模型则常结合人工提取的影像组学特征、临床变量和实验室指标进行分类。2025 年一项系统综述和 Meta 分析显示,基于超声特征的人工智能模型在甲状腺结节良恶性鉴别中具有一定诊断潜力,但不同算法、样本来源、结节大小、恶性比例和验证方式造成明显异质性^[6]。另一项关于深度学习在甲状腺结节检测与分割中的系统评价也提示,深度学习有助于提升图像处理效率,但模型性能高度依赖数据标注质量、训练集规模和外部验证设计^[7]。

从技术路径看,较成熟的流程通常包括图像质量控制、结节区域分割、特征提取、风险分类、置信度输出和可解释性展示。对于临床使用而言,单纯输出良性或恶性并不足够,系统更需要呈现结节关键征象、分级依据、模型置信度、与指南建议的一致性以及需要医生复核的异常点。近年来,甲状腺超声数据资源建设逐渐受到关注,包含病理标注的甲状腺结节超声数据集为模型开发和外部验证提供了基础^[8]。不过,当前多数研究仍来自回顾性单中心或少数中心,图像设备、探头频率、切面选择、动态视频信息和病理参照标准不完全一致,限制了模型跨机构泛化能力。

此外,甲状腺超声并非静态图像判读。医生在实际检查中会通过多切面扫查、探头加压、彩色多普勒、弹性成像以及与患者病史的即时结合形成判断,而许多人工智能模型仅基于单帧代表图像训练。单帧图像便于建模,却可能丢失动态扫查中的边界连续性、血流分布和周围结构关系。未来模型需要从单图分类向多切面、多模态和病例级推理发展,既整合横切面与纵切面,也纳入病灶大小变化、

淋巴结状态和实验室指标,从而更接近真实诊疗过程。

3 从智能分级到临床决策支持

甲状腺结节具有长期随访属性。多数低风险结节无需立即干预,但需持续观察体积、形态、回声及可疑征象变化。传统随访依赖人工登记、电话提醒和患者主动复查,易出现失访、重复检查和信息断裂。基于数据整合的智能随访可将超声分级、实验室检查、病理结果、治疗记录及复查信息纳入结构化档案,并依据风险等级生成随访计划;当出现结节快速增大、TI-RADS 等级升高、可疑淋巴结或症状变化时,及时提醒医生调整管理策略。

规范化随访数据也可作为真实世界研究提供支撑。连续积累的超声图像、结构化报告、穿刺病理、手术病理和结局资料,有助于评价不同 TI-RADS 体系在中国人群中的适用性,分析结节自然史,优化穿刺阈值,并支持模型持续更新。但数据利用应以伦理审批、去标识化处理、权限管理和审计追踪为前提;多中心研究还需统一数据字典、超声征象标注和结局定义,以减少机构差异对研究结论和模型训练的干扰。

4 结构化报告、质量控制与分级诊疗

结构化报告是 AI 辅助 TI-RADS 进入临床流程的基础。自由文本报告易出现征象遗漏、术语不一、结节编号混乱及复查难以对应等问题。智能报告系统可在书写环节嵌入核心字段提示,规范记录结节部位、大小、成分、回声、形态、边缘、强回声灶、颈部淋巴结状态及推荐分级;对多发结节,应支持目标结节编号、历史图像与既往报告匹配,提高纵向随访一致性。结构化数据还可用于报告质控,动态评估报告完整率、征象与分级一致性、穿刺建议符合率及随访完成率。

分级诊疗是 AI 辅助甲状腺结节管理的重要延伸。基层医疗机构可借助 AI 完成标准化初筛、低风险结节随访和异常变化识别,上级医院则集中处理高风险、复杂、多发或需介入治疗的病例,有助于缓解区域医疗资源不均衡。但基层应用不应被理解为 AI 替代专家,而应建立远程复核、疑难病例转诊、持续培训和模型性能监测机制,使 AI、基层医生与专科专家形成协同管理网络。

5 随访管理与真实世界数据价值

结构化报告是 AI 辅助 TI-RADS 进入临床流程的基础。自由文本报告易出现征象遗漏、术语不一、结节编号混乱及复查难以对应等问题。智能报告系统可在书写环节嵌入核心字段提示,规范记录结节部位、大小、成分、回声、形态、边缘、强回声灶、颈部淋巴结状态及推荐分

级;对多发结节,应支持目标结节编号、历史图像与既往报告匹配,提高纵向随访一致性。结构化数据还可用于报告质控,动态评估报告完整率、征象与分级一致性、穿刺建议符合率及随访完成率。

分级诊疗是 AI 辅助甲状腺结节管理的重要延伸。基层医疗机构可借助 AI 完成标准化初筛、低风险结节随访和异常变化识别,上级医院则集中处理高风险、复杂、多发或需介入治疗的病例,有助于缓解区域医疗资源不均衡。但基层应用不应被理解为 AI 替代专家,而应建立远程复核、疑难病例转诊、持续培训和模型性能监测机制,使 AI、基层医生与专科专家形成协同管理网络。

6 结语

人工智能辅助 TI-RADS 分级为甲状腺结节规范化管理提供了新的技术路径。其核心价值不只是提高图像识别准确率,而是推动超声报告标准化、风险分层一致化、穿刺和转诊决策规范化、低风险结节随访连续化以及真实世界数据科研化。基于现有证据,人工智能在甲状腺结节管理中的定位应是医生主导下的辅助决策工具,而非独立诊断主体。后续研究需要从模型能否分级进一步走向系统能否在真实临床中安全、有效、可解释、可持续地改善管理质量。只有完成多中心外部验证、前瞻性临床评价和合规数据治理,人工智能辅助 TI-RADS 才能真正从技术展示转化为可推广的临床管理方案。

参考文献:

- [1] Lyu Z, Li G, Liu Y, et al. Global burden of thyroid cancer in 2022: Incidence and mortality estimates from GLOBOCAN[J]. Chinese Medical Journal, 2024, 137(21): 2567-2576. DOI:10.1097/CM9.0000000000003284.
- [2] 中华医学会内分泌学会, 中华医学会外科学分会甲状腺及代谢外科学组, 中国抗癌协会头颈肿瘤专业委员会, 等. 甲状腺结节和分化型甲状腺癌诊治指南(第二版)[J]. 国际内分泌代谢杂志, 2023, 43(2):149-194. DOI:10.3760/cma.j.cn311282-20221023-00589-1.
- [3] Zhou J Q, Yin L X, Wei X, et al. 2020 Chinese guidelines for ultrasound malignancy risk stratification of thyroid nodules: the C-TIRADS[J]. Endocrine, 2020, 70(2): 256-279. DOI:10.1007/s12020-020-02441-y.
- [4] Durante C, Hegedüs L, Czarniecka A, et al. 2023 European Thyroid Association clinical practice guidelines for thyroid nodule management[J]. European Thyroid Journal, 2023, 12(5): e230067. DOI:10.1530/ETJ-23-0067.

[5] Piticchio T, Russ G, Radzina M, Frasca F, Durante C, Trimboli P. Head-to-head comparison of American, European, and Asian TIRADSs in thyroid nodule assessment: systematic review and meta-analysis[J]. *European Thyroid Journal*, 2024, 13(2): e230242. DOI:10.1530/ETJ-23-0242.

[6] Zhan J, Zhang J, Zhu S, Ni L, Zhang C, Hu J. Diagnostic performance of ultrasound characteristics-based artificial intelligence models for thyroid nodules: a systematic review and meta-analysis[J]. *Frontiers in Oncology*, 2025, 15: 1614603. DOI:10.3389/fonc.2025.1614603.

[7] Ni J, You Y, Wu X, Chen X, Wang J, Li Y. Performance evaluation of deep learning for the detection and segmentation of thyroid nodules: systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of Medical Internet Research*, 2025, 27: e73516. DOI:10.2196/73516.

[8] Hou X, Hua M, Zhang W, et al. An ultrasonography

of thyroid nodules dataset with pathological diagnosis annotation for deep learning[J]. *Scientific Data*, 2024, 11: 1272. DOI:10.1038/s41597-024-04156-5.

[9] Vasey B, Nagendran M, Campbell B, et al. Reporting guideline for the early stage clinical evaluation of decision support systems driven by artificial intelligence: DECIDE-AI[J]. *BMJ*, 2022, 377: e070904. DOI:10.1136/bmj-2022-070904.

[10] Collins G S, Dhiman P, Andaur Navarro C L, et al. TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods[J]. *BMJ*, 2024, 385: e078378. DOI:10.1136/bmj-2023-078378.

基金项目：宁夏医科大学大学生创新创业训练计划项目（项目编号：S202510752008）。

* 通讯作者：董文阅。