



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.240551

http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.240551

China Journal of General Surgery, 2025, 34(5):1018-1026.

· 文献综述 ·

人工智能技术在甲状腺癌诊断与治疗中的应用

刘领云¹, 谢天皓^{1,2}, 付燕³, 靳小石¹, 哈思宁¹, 刘洋¹, 刘小爽¹, 孟庆旭¹

(河北大学附属医院 1. 普通外科 2. 河北省普通外科数字医学基础研究重点实验室, 河北 保定 071000; 3. 河北省保定市第一中心医院 眼科, 河北 保定 071000)

摘要

甲状腺癌发病率逐年上升, 早期诊断与治疗对改善患者预后至关重要。随着人工智能(AI)技术的发展, AI在甲状腺癌诊疗领域取得了显著进展。AI技术显著提升了甲状腺癌的诊断精度, 通过优化超声、CT等影像学检查, 能够更精准地识别甲状腺结节的恶性特征。在细针穿刺活检中, AI结合基因检测技术, 提高了诊断的准确率和效率。治疗方面, AI辅助术中功能保护, 降低手术损伤风险, 如精准识别喉返神经和甲状旁腺位置。同时, AI还能预测¹³¹I治疗效果及并发症发生风险, 指导术后随访和管理。AI技术的核心优势在于其强大的数据处理和分析能力, 能够发现数据中的潜在规律, 为治疗决策提供科学依据。未来, 随着技术的不断进步, AI有望推动甲状腺癌诊疗向更加智能化、精准化方向发展, 但需关注数据隐私、算法透明性等挑战。本文就AI技术在甲状腺癌的诊断、治疗、预后预测等领域中的研究进展进行综述, 探讨目前AI技术的优势与不足, 并展望其未来的发展方向。

关键词

甲状腺肿瘤/诊断; 甲状腺肿瘤/治疗; 人工智能; 综述

中图分类号: R736.1

The application of artificial intelligence technology in the diagnosis and treatment of thyroid cancer

LIU Lingyun¹, XIE Tianhao^{1,2}, FU Yan³, JIN Xiaoshi¹, HA Sining¹, LIU Yang¹, LIU Xiaoshuang¹, MENG Qingxu¹

(1. Department of General Surgery 2. Basic Research Key Laboratory of General Surgery for Digital Medicine, Affiliated Hospital of Hebei University, Baoding, Hebei 071000, China; 3. Department of Ophthalmology, Baoding No. 1 Central Hospital, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract

The incidence of thyroid cancer has been increasing, and early diagnosis and treatment are crucial for improving patient prognosis. With the advancement of artificial intelligence (AI) technology, significant progress has been made in its application in the diagnosis and treatment of thyroid cancer. AI technology has notably enhanced the diagnostic accuracy of thyroid cancer. By optimizing imaging examinations such as ultrasound and CT scans, it can more precisely identify malignant features of thyroid nodules. In fine-needle aspiration biopsy, the integration of AI with genetic testing technologies has improved both the accuracy and efficiency of diagnosis. In terms of treatment, AI assists in intraoperative functional preservation, reducing the risk of surgical trauma. For instance, it can accurately identify the locations of

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(H2021104002); 河北省重点研发计划基金资助项目(21377773D)。

收稿日期: 2024-10-25; 修订日期: 2025-05-13。

作者简介: 刘领云, 河北大学附属医院主治医师, 主要从事普通外科方面的研究。

通信作者: 谢天皓, Email: squall_xth@163.com

the recurrent laryngeal nerve and parathyroid glands. Additionally, AI is capable of predicting the efficacy of ^{131}I treatment and the risk of complications, thereby guiding postoperative follow-up and management. The core strength of AI technology lies in its powerful data processing and analytical capabilities, enabling it to uncover latent patterns within data and provide a scientific basis for treatment decision-making. Looking ahead, with continuous technological advancements, AI is expected to propel the diagnosis and treatment of thyroid cancer towards greater intelligence and precision. However, challenges such as data privacy and algorithm transparency need to be addressed. This article provides a review of the research progress of AI technology in the fields of diagnosis, treatment, and prognosis prediction of thyroid cancer, explores the current strengths and weaknesses of AI technology, and looks forward to its future development directions while acknowledging challenges like data privacy and algorithm transparency.

Key words

Thyroid Neoplasms/diag; Thyroid Neoplasms/ther; Artificial Intelligence; Review

CLC number: R736.1

1956年,约翰·麦卡锡首次提出了“人工智能(artificial intelligence, AI)”这一术语,并将其定义为“制造智能机器的科学和工程领域”^[1]。随着计算能力的飞跃和医疗保健的数字化进程,AI在医疗保健中的应用呈现出飞速发展的态势,并有望促进生物医学研究,提升诊断、治疗、监测、疾病预防水平,优化医疗服务^[2]。

甲状腺癌作为近年来发病率持续上升的恶性肿瘤之一,其早期发现、精准诊断和个体化治疗显得尤为重要。早在1991年,研究人员试图创建诊断网络来解释甲状腺功能检测结果^[3]。自那时起,人们对AI潜在应用的兴趣已扩展到甲状腺病学的几乎所有领域。AI技术的融入,不仅提升了对甲状腺癌诊断的准确率和效率,还为患者提供了更加个性化的治疗方案,极大地推动了甲状腺癌诊治的进步^[4]。本文旨在总结AI在甲状腺癌诊疗领域的应用现状,并探讨其面临的发展机遇与挑战。

1 AI在甲状腺癌诊断中的应用

1.1 彩超检查

影像学检查可清晰呈现甲状腺的部位、形态、大小、结构、结节特征以及周围淋巴结情况,其中,彩超是首选的检查方法。AI已被广泛应用于甲状腺成像领域,且近10年来发展速度极为迅速^[5-6]。影像学检查采用高通量自动化提取算法,能够从图像数据集中获取大量的定量特征,并识

别出单独临床评估无法检测到的可测量信息^[6]。

甲状腺结节具有多种典型超声特征,这意味着其恶性风险增加,这些特征包括实性成分、低回声、边缘不规则、微钙化以及纵横比>1的形状。然而,在评估这些特征时,多个中心之间的观察者一致性并不令人满意^[7]。Wildman-Tobriner等^[8]基于美国放射学会甲状腺成像报告和数据系统(Thyroid Imaging Reporting and Data System, TI-RADS)开发了一种称为AI TI-RADS的系统,该系统通过对TI-RADS中囊实性、实性、成分不确定、等回声、高回声、回声不确定、纵横比>1、粗大钙化等八个超声特征重新分配分值来优化评估效果,并突出了低回声或极低回声的状态,其准确率高于初级超声医生(55% vs. 48%)和专家(65% vs. 47%)。

另一项研究^[9]总结了AI用于分类的超声特征,结果提示最广泛的特征是结节的形状、边缘、回声、钙化、成分、纵横比和大小,且这些特征是AI模型学习的重点。囊实性结节通常被归类为TI-RADS II级、III级。邹颖等^[10]利用基于超声的迁移学习AI模型,发现超声图像特征中实性成分占比>50%、实性成分与囊性成分呈偏心锐角、病灶边界模糊不清、病灶边界呈毛刺样改变、蛋壳样钙化以及微钙化等特征,在预测囊实性结节为恶性的概率方面表现出色。该模型受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线下面积(area under the ROC curve, AUC)达到0.903 2,显著优于传统超声图像评价方法。同时,该超声AI实时辅助系统联合剪切波速度的方法对甲状腺结节

的良恶性鉴别准确度达到82.94%，尤其是当结节 ≤ 1 cm时，AI联合诊断较单独超声诊断有着明显优势^[11]。

Prochazka等^[12]设计的AI计算机辅助诊断系统（computer-aided diagnosis, CAD）在对结节进行分类时，该系统不依赖于采集图像时超声探头的方向和倾斜角度，通过直方图分析和分形纹理分析算法提取特征，准确率达到94.64%。Yu等^[13]对两个超声特征（不规则形状和纵横比）进行了数值转换，具体为周长/面积比和长轴与水平轴之间的角度，并结合65个纹理特征对结节进行鉴别，这种新特征表现出了极佳的敏感度和特异度（分别为100.00%和87.88%）。Tuo等^[14]通过AI联合超声剪切波弹性成像对甲状腺结节进行诊断，AUC为0.903，准确率为90.3%，明显高于单纯应用弹性成像（60.78%）。

TI-RADS作为风险分层系统，对甲状腺乳头状癌（papillary thyroid carcinoma, PTC）具有巨大的诊断价值，但对甲状腺滤泡性肿瘤（follicular thyroid neoplasm, FTN）、甲状腺髓样癌（medullary thyroid carcinoma, MTC）以及其他类型的恶性肿瘤，其价值则相对较低^[15]。滤泡性甲状腺癌（follicular thyroid carcinoma, FTC）和滤泡性甲状腺腺瘤（follicular thyroid adenoma, FTA）之间的主要鉴别点在于是否存在包膜或血管的浸润现象。在做出可靠诊断时，超声和细针穿刺活检（fine needle aspiration, FNA）均面临一定困难^[16]。超声检查中，若肿瘤边缘呈现不规则突出并伴有强烈的血流信号，则可能提示为FTC，但这种典型的超声表现并不常见^[17]。

Chen等^[18]利用基于多尺度特征融合的神经网络对FTN进行超声图像分类，在四种深度学习模型（MobileNet V3、ResNet-50、DenseNet-121、MRF-Net）中，MRF-Net表现出最高的准确率和AUC值，分别为85.3%和84.8%。Zhan等^[19]通过提取肿瘤内及肿瘤周边区域的影像组学特征，利用机器学习算法构建了预测模型。该模型在区分FTC与FTA时具有较高的诊断性能，为FTN的早期精准诊断提供了新的方法。另一篇文献^[20]结合既往文献总结出利用机器学习模型发现肿瘤大小和促甲状腺激素（thyroid stimulating hormone, TSH）是鉴别FTC与FTA的重要预测因子。

MTC因其恶性特征不典型，尽管AI辅助超声

诊断相较于人工诊断展现出较高的效能，但其在诊断MTC时的效能仍低于对PTC的诊断效能^[21]。对于MTC淋巴结隐匿转移的情况，一项基于机器学习的模型^[22]通过分析218例患者的临床数据（包括性别、降钙素水平等）以及超声TI-RADS特征，在交叉验证中展现出了高准确性（平均AUC=0.92）。对于术前未明确存在转移的病例，该模型的预测AUC达到0.91，在相关诊断性能方面显著优于传统指标。此模型能够辅助临床决策，有助于减少不必要的淋巴结清扫或避免漏诊。

CAD或深度学习模型能够显著提高初级医师在甲状腺结节诊断中的敏感度、诊断性能及准确率，甚至在某些情况下可使初级医师的诊断水平接近高级医师^[23]。在一项纳入我国208家医院10 023例患者数据的大型研究^[24]中，研究者基于彩超图像开发了检测、分割和分类模型，并比较了无AI辅助、自由式AI辅助及基于规则的AI辅助三种场景在甲状腺诊断中的效能。结果显示，分割模型和在混合供应商数据上训练的分类模型性能最佳，Dice系数达0.91（95% CI=0.90~0.91），AUC达0.98（95% CI=0.97~1.00），且基于规则的AI辅助提高了所有放射科医师的诊断准确率。徐可等^[25]研究结果显示，AI联合中国版甲状腺成像报告和数据系统（C-TIRADS）分类可提高诊断的准确率与特异度，尤其对于 ≤ 10 mm的结节，其整体诊断效能更优；而对于 > 10 mm的结节，超声科医师分类诊断在准确率、敏感度、特异度方面表现更佳。

利用AI模型解读甲状腺超声图像或其衍生特征，可使风险分层更加精准，并降低不必要的FNA比率^[26-27]，甚至可以预测BRAF^{V600E}突变^[28]。同时，对于淋巴结转移的风险进行预测，以指导术中的精准化治疗^[29]。AI在甲状腺癌诊断中发挥着重要作用，通过优化超声特征评估、辅助结节分类以及提升诊断准确度等多种途径，显著提高了甲状腺癌的诊断效能。但应注意AI的一个局限性：甲状腺超声扫描包括全面的颈部软组织评估，包括淋巴结和甲状旁腺，目前AI解决方案仅解决了这一复杂检查的一个方面。

1.2 放射学检查

CT在甲状腺疾病的诊断中发挥着越来越重要的作用。尽管如此，由于甲状腺CT图像的人工伪影和高度复杂性，传统的机器学习方法并不适用

于CT图像处理^[30]。

Li等^[31]设计了一个基于卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)的甲状腺结节自动识别与分类系统,该系统利用改进的Eff-Una分割网络精准分割出结节的敏感区域,并以此优化图像处理。同时,融合低级和高级特征的分类网络实现了85.92%的分类准确率及0.855的分割交并比,并在甲状腺结节的诊断中展现出卓越性能。

王洪杰等^[32]构建AI深度学习模型,用于辅助CT医生实时诊断甲状腺结节。该模型展现出86.45%的高准确率,超越了低年资医师(71.4%)和高年资医师(77.34%),且每张图像的诊断时间迅速,仅需 (0.12 ± 0.02) s。此外,在CT诊断转移淋巴结方面,AI亦表现出色,预示着它将成为临床中极具潜力的辅助诊断工具^[33]。

Wang等^[34]通过在MR图像上手动分割甲状腺结节、提取放射组学特征,并运用结合LASSO回归特征选择和梯度提升分类器的AI机器学习模型,成功预测了PTC的侵袭性,AUC高达0.92,显著优于仅依赖临床特征所得的0.56,为治疗和预后评估提供了有力支持。

甲状腺显像通过观察甲状腺结节对显影剂的摄取能力,在鉴别良恶性结节、提示转移灶以及术后评估方面具有重要意义。Zhao等^[35]对比了AlexNet、ShuffleNet V2、MobileNet V3和ResNet-34这四种AI模型,结果显示这些模型对结节的诊断总体精度均高于85%,尤其是ResNet-34,其精度高达94.4%,比资深核医学科医师的诊断精度高出近10%。向镛兆等^[36]利用ResNet-34、Inception V3和DenseNet-161模型对甲状腺癌术后组织残留进行评估,准确率分别为91.3%、90.4%和91.2%,而诊断总时间则分别为4.5 s、2.9 s和17.3 s。

AI在甲状腺疾病的CT诊断、转移淋巴结识别、PTC侵袭性预测以及甲状腺显像评估等方面均展现出卓越性能,不仅诊断准确率高,还能显著提升诊断效率,为甲状腺疾病的临床诊疗提供了有力支持,应用前景广阔。

1.3 FNA

FNA是诊断甲状腺结节的主要检查手段,具有很高的敏感度和特异度。其报告系统,即甲状腺细胞病理学报告系统,为临床医生提供了一个量化评估甲状腺结节恶性风险的工具,从而有助于制定更精准的治疗方案。

PTC是最常见的甲状腺癌(占比超过80%),起源于甲状腺滤泡上皮细胞的异常生长。近年来,具有定量形态学特征的AI模型被开发出来,以提高滤泡上皮细胞病变的识别能力^[37]。Sanyal等^[38]在其研究中,利用CNN模型在 $\times 10$ 和 $\times 40$ 两种放大倍数下识别PTC的核形态和乳头状结构特征,进而能够准确地将PTC与胶质甲状腺肿、FTN和淋巴细胞性甲状腺炎区分开来。Guan等^[37]基于核大小和染色信息(包括轮廓、周长、面积以及像素强度的平均值)开发了一种新的AI细胞学分类方法。其结果显示,该方法在从良性结节中区分PTC方面具有高准确率(97.66%)。Savala等^[39]也验证了这一结果,并提取了核多形性和面积信息,报告了17个细胞学和形态学特征的权重,最终成功地将FTC与FTA区分开来。在FNA过程中,运用内置AI算法作为指导,观察病灶参数,可引导穿刺操作,从而提高诊断率^[40]。

甲状腺癌的基因检测是甲状腺癌诊断和治疗的重要手段,可以为患者提供精准的治疗依据。每个基因组所包含的信息量都极为巨大,相当于10万张照片的数据量^[41]。下一代测序(next generation sequencing, NGS)技术能够在单次操作中并行地对多个基因进行高速分析,从而生成数十亿个分子片段的数据^[41-42]。由于其产生的数据量庞大、测序速度极快以及结果输出的准确性高,NGS一直是大数据的重要组成部分。AI作为一种大数据算法,能够在不同的学习任务中整合多组数据,并自动实现高级特征的检测或分类^[43]。

一些基因分类器在诊断甲状腺结节中发挥了独特优势^[44]。Afirma基因表达分类器(gene expression classifier, GEC)涉及167个基因,其敏感度高达92%,阳性预测值为93%,但其特异度和阴性预测值相对较低,分别为52%和47%。基因序列分类器(gene sequence classifier, GSC)通过RNA增强型NGS将基因谱扩展到10 196个基因。与同一样本中的GEC相比,GSC在结节筛查方面取得了显著进展,其敏感度为91.1%,特异度为68.3%。这两种分类器是最广泛接受的判断良恶性结节的方法。借助多基因基因组分类器,可以提高FNA的准确率,尤其是对Bethesda III/IV类结节的诊断,同时能检测RAS、BRAF以及潜在的基因突变,为术前癌症风险分层提供了可靠依据^[45]。Alabrak等^[46]基于CNN构建的模型,对Bethesda V类

结节的诊断准确率达到78%，AUC为0.87。

AI在FNA诊断甲状腺结节中发挥着重要作用，通过提升对滤泡上皮细胞病变的识别能力、辅助基因检测数据分析以及优化多基因分类器应用，显著提高了FNA诊断的准确性和效率，为甲状腺癌的精准确诊与治疗提供了有力支持。

1.4 遗传标志物和外周血标志物

Guo等^[47]通过机器学习算法，结合人口统计、外周血实验室和遗传生物标志物，包括性别、年龄、红细胞分布宽度、血小板/淋巴细胞比值、淋巴细胞计数、 $\text{BRAF}^{\text{V600E}}$ 基因突变状态、中性粒细胞计数、血小板计数、中性粒细胞/淋巴细胞比值、碱性磷酸酶和甲状旁腺激素等12个预测因子，利用随机森林算法构建模型。研究结果显示，在所纳入的12个预测因子中，前6项是预测甲状腺肿瘤良恶性的关键因子。该研究强调了利用遗传标志物和外周血标志物进行预测的优势，为临床决策提供了新的辅助工具。

2 AI在甲状腺癌治疗中的应用

2.1 术中功能保护

喉返神经的保护始终是外科医师在手术中最关注的焦点之一。花苏榕等^[48-49]使用PSPNet和D-LinkNet语义分割模型进行训练，以预测经腋窝和经胸乳入路的腔镜甲状腺手术中喉返神经的识别情况。结果显示，基于深度学习的AI能提示喉返神经的位置和走行，具有降低手术损伤风险、提高手术安全性的潜在价值。Nishiya等^[50]同样应用语义分割深度学习方法，构建的CNN模型在识别关键解剖结构，如喉返神经和气管方面具有潜力，可辅助外科医生进行手术决策。

甲状旁腺功能减退是全甲状腺切除术后最常见的并发症之一，提高甲状旁腺识别率对于减少术后并发症至关重要。Wang等^[51]运用AI深度学习技术，通过优化超参数选择最优算法（Faster R-CNN）构建甲状旁腺AI识别（PTAIR）模型。该模型在腔镜甲状腺手术中可实时识别和跟踪甲状旁腺。其甲状旁腺识别率为96.9%，显著高于初级外科医生（71.9%），与资深外科医生（87.5%）相当。同时，PTAIR比资深外科医生提前3.83 s识别甲状旁腺，并且跟踪时间比资深外科医生长62.82 s。这表明PTAIR能够更早地识别和持续跟踪甲状旁

腺，有望提高手术效果和加速初级外科医生的培训。

2.2 指导 ^{131}I 治疗

^{131}I 治疗分化型甲状腺癌是一种安全有效的辅助治疗手段，能够显著降低患者的复发及死亡风险，并进而提高生活质量。Kavitha等^[52]开发了一种基于多层全连接深度网络的模型，能够自动识别分化型甲状腺癌患者在接受 ^{131}I 治疗后全身平面显像中的残余甲状腺和转移性淋巴结。该模型实现了93.7%的总体精确度，显著高于人工方法的74.5%，为临床决策提供重要参考依据。

Sa等^[53]通过6种AI模型来预测患者对 ^{131}I 治疗的有效反应（effective response，ER）以及对TSH抑制治疗的生化缓解（biochemical remission，BR）。结果显示，在当前疗程的 ^{131}I 治疗前，刺激性和抑制性甲状腺球蛋白（thyroglobulin，Tg）水平以及放射性碘摄取量，是预测患者对 ^{131}I 治疗ER的主要因素；而上一疗程 ^{131}I 治疗后全身扫描中可见的甲状腺残留物以及TSH水平，则对预测TSH抑制治疗期间Tg水平的下降具有重要影响。在这些模型中，随机森林模型表现最佳，其区分 ^{131}I 治疗期间的ER与非ER的准确率达到81.3%，AUC为0.896；预测TSH抑制治疗的BR的准确率为78.7%，AUC为0.857。

Lubin等^[54]利用AI机器学习技术预测了 ^{131}I 治疗失败的临床因素。研究发现，肿瘤病灶特征和淋巴结侵犯与 ^{131}I 初次治疗失败显著相关；此外，术后直至 ^{131}I 治疗前的Tg和Tg抗体水平升高也与治疗抵抗相关。这种分层分析最终将有助于优化治疗策略，提高治疗成功率，从而改善患者的生活质量。另一方面，AI机器人在 ^{131}I 隔离病房的应用，能帮助患者获取更多健康教育知识，并减少医护人员受到的辐射影响^[55]。

2.3 对治疗效果的预测

AI能够预测治疗效果及并发症出现，从而提供更准确的风险预测，以指导治疗决策^[56]。Seib等^[57]对17 987例接受甲状腺手术的病例进行了分析，发现喉返神经损伤、出院前或术后30 d内低钙血症以及颈部血肿的发生率分别为6.1%、6.4%、9.0%，并进一步使用AI超级学习器算法建立了预测模型，提高了对甲状腺手术上述并发症的预测能力。

Liu等^[58]通过建立AI随机森林模型，进行了一项

前瞻性横断面研究,旨在预测甲状腺切除术后甲状腺癌患者生活质量下降的情况。结果显示,在术后3个月时,有21.33%的患者出现了生活质量下降。生活质量下降主要表现为疲劳和社会功能障碍。影响生活质量的前七个最重要指标包括临床分期、婚姻状况、组织学类型、年龄、神经损伤症状、经济收入以及手术类型。另有研究^[59-61]通过整合人口统计数据 and 临床病理变量(包括组织学分型和临床分期)建立了预测模型,来预测甲状腺癌患者骨、肺等器官的远处转移(AUC: 0.85~0.91),为临床医生制定个体化治疗方案提供了决策支持。

同时,基于AI的术后随访系统能有效提高患者随访服务的连续性,实现患者数据的全程管理^[62]。在甲状腺功能管理方面,AI工具可以明确地协助检验科医师优化测试处方、解释测试结果、辅助决策、优化流程以及设计分析方案^[63]。

3 总结与展望

AI技术在甲状腺癌的诊断与治疗中的应用已展现出显著的成效与潜力。通过优化图像处理和深度学习算法,AI显著提高了彩超、CT等影像学检查的诊断精度,使得医师能够更精准地识别甲状腺结节的恶性特征。在治疗过程中,AI不仅辅助术中功能保护,降低手术损伤风险,还通过大数据分析指导¹³¹I治疗,有效预测治疗效果和并发症风险。

AI技术优化诊疗过程的原理主要在于其强大的数据处理和分析能力。在图像处理方面,AI能够自动提取图像中的定量特征,识别出临床评估难以察觉的可测量信息,从而提高诊断的敏感度和特异度。在深度学习方面,AI通过构建复杂的神经网络模型,对大量临床数据进行学习,从而发现数据中的潜在规律和模式,为治疗决策提供科学依据。

展望未来,AI技术在甲状腺癌诊疗中的应用前景将更加广阔。一方面,随着计算能力的不断提升和AI算法的持续优化,AI有望实现甲状腺癌的早期发现和精准分期,为制定更加个体化的治疗方案提供可靠依据。另一方面,AI与医学影像、基因组学等多学科的深度融合,将推动甲状腺癌诊疗向更加智能化、精准化的方向发展。此外,

随着AI在远程医疗和智能随访系统中的应用,患者将能够享受到更加便捷、高效的医疗服务,进一步改善甲状腺癌患者的生活质量。

然而,AI技术的广泛应用也面临着数据隐私、算法透明性和医疗伦理等方面的挑战。因此,在未来的发展中,需要加强相关法律法规的建设,确保AI技术的合法、合规应用,并建立健全的监管机制,以保障患者的权益和安全。同时,还需要加强跨学科合作,推动AI技术与临床医学的深度融合,共同探索AI技术在甲状腺癌诊疗中的最佳应用模式。

作者贡献声明:刘领云负责搜集文献,撰写稿件;谢天皓负责撰写稿件,稿件审核,修改意见;付燕、靳小石、哈思宁、刘洋、刘小爽、孟庆旭负责协助搜集文献。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Minsky M. Steps toward artificial intelligence[J]. Proc IRE, 1961, 49(1):8-30. doi:10.1109/JRPROC.1961.287775.
- [2] Palomba G, Fernicola A, Corte MD, et al. Artificial intelligence in screening and diagnosis of surgical diseases: a narrative review[J]. AIMS Public Health, 2024, 11(2): 557-576. doi: 10.3934/publichealth.2024028.
- [3] Bolinger RE, Hopfensperger KJ, Preston DF. Application of a virtual neurode in a model thyroid diagnostic network[J]. Proc Annu Symp Comput Appl Med Care, 1991, :310-314.
- [4] Yang L, Wang X, Zhang S, et al. Research progress on artificial intelligence technology-assisted diagnosis of thyroid diseases[J]. Front Oncol, 2025, 15:1536039. doi:10.3389/fonc.2025.1536039.
- [5] 郑樟婧,谢雪,熊晓贤,等. 基于CiteSpace的甲状腺超声人工智能知识图谱可视化分析[J]. 临床超声医学杂志, 2024, 26(5):375-382. doi:10.16245/j.cnki.issn1008-6978.2024.05.014.
Zheng YJ, Xie X, Xiong XX, et al. Knowledge atlas of artificial intelligence of thyroid ultrasound research: a CiteSpace visualization analysis[J]. Journal of Clinical Ultrasound in Medicine, 2024, 26(5): 375-382. doi: 10.16245/j.cnki.issn1008-6978.2024.05.014.
- [6] Bini F, Pica A, Azzimonti L, et al. Artificial intelligence in thyroid field-a comprehensive review[J]. Cancers (Basel), 2021, 13(19): 4740. doi:10.3390/cancers13194740.
- [7] Persichetti A, Di Stasio E, Coccaro C, et al. Inter- and intraobserver agreement in the assessment of thyroid nodule ultrasound features

- and classification systems: a blinded multicenter study[J]. *Thyroid*, 2020, 30(2):237–242. doi:10.1089/thy.2019.0360.
- [8] Wildman-Tobriner B, Buda M, Hoang JK, et al. Using artificial intelligence to revise ACR TI-RADS risk stratification of thyroid nodules: diagnostic accuracy and utility[J]. *Radiology*, 2019, 292(1):112–119. doi:10.1148/radiol.2019182128.
- [9] Li LR, Du B, Liu HQ, et al. Artificial intelligence for personalized medicine in thyroid cancer: current status and future perspectives[J]. *Front Oncol*, 2021, 10: 604051. doi: 10.3389/fonc.2020.604051.
- [10] 邹颖, 刘继华, 李静宜, 等. 基于超声的迁移学习人工智能模型对甲状腺囊实性结节恶性概率的评估效能[J]. *实用医学杂志*, 2025, 41(6):889–895. doi:10.3969/j.issn.1006-5725.2025.06.018.
- Zou Y, Liu JH, Li JY, et al. Efficacy of transfer learning artificial intelligence model based on ultrasound in evaluating the probability of malignancy of partially cystic thyroid nodule[J]. *The Journal of Practical Medicine*, 2025, 41(6):889–895. doi:10.3969/j.issn.1006-5725.2025.06.018.
- [11] 蒋海波, 王韦, 王凌霄, 等. 基于超声AI实时辅助系统联合SWV对甲状腺结节的鉴别诊断价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2024, 40(12):1333–1336. doi:10.3969/j.issn.1002-0101.2024.12.004.
- Jiang HB, Wang W, Wang LX, et al. The value of ultrasound AI real-time assistance system combined with SWV in the identification of thyroid nodules[J]. *Chinese Journal of Ultrasound in Medicine*, 2024, 40(12): 1333–1336. doi: 10.3969/j.issn.1002-0101.2024.12.004.
- [12] Prochazka A, Gulati S, Holinka S, et al. Classification of thyroid nodules in ultrasound images using direction-independent features extracted by two-threshold binary decomposition[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2019, 18: 1533033819830748. doi: 10.1177/1533033819830748.
- [13] Yu Q, Jiang T, Zhou A, et al. Computer-aided diagnosis of malignant or benign thyroid nodes based on ultrasound images[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2017, 274(7):2891–2897. doi:10.1007/s00405-017-4562-3.
- [14] Tuo J, Si X, Song H. Artificial intelligence technology enhances the performance of shear wave elastography in thyroid nodule diagnosis[J]. *Am J Transl Res*, 2023, 15(10):6226–6233.
- [15] Trimboli P, Castellana M, Piccardo A, et al. The ultrasound risk stratification systems for thyroid nodule have been evaluated against papillary carcinoma. A meta-analysis[J]. *Rev Endocr Metab Disord*, 2021, 22(2):453–460. doi:10.1007/s11154-020-09592-3.
- [16] Lebbink CA, Links TP, Czarniecka A, et al. 2022 European Thyroid Association Guidelines for the management of pediatric thyroid nodules and differentiated thyroid carcinoma[J]. *Eur Thyroid J*, 2022, 11(6):e220146. doi:10.1530/ETJ-22-0146.
- [17] Kobayashi K, Hirokawa M, Yabuta T, et al. Tumor protrusion with intensive blood signals on ultrasonography is a strongly suggestive finding of follicular thyroid carcinoma[J]. *Med Ultrason*, 2016, 18(1):25–29. doi:10.11152/mu.2013.2066.181.kok.
- [18] Chen W, Ni X, Qian C, et al. The value of a neural network based on multi-scale feature fusion to ultrasound images for the differentiation in thyroid follicular neoplasms[J]. *BMC Med Imaging*, 2024, 24(1):74. doi:10.1186/s12880-024-01244-1.
- [19] Zhan W, Cai X, Qi H, et al. Intratumoral and peritumoral radiomics based on ultrasound for the differentiation of follicular thyroid neoplasm[J]. *Gland Surg*, 2024, 13(11):1942–1953. doi:10.21037/gs-24-247.
- [20] Shan R, Li X, Chen J, et al. Interpretable machine learning to predict the malignancy risk of follicular thyroid neoplasms in extremely unbalanced data: retrospective cohort study and literature review[J]. *JMIR Cancer*, 2025, 11:e66269. doi:10.2196/66269.
- [21] 江柳, 陈蕾, 张晓婷, 等. 超声人工智能辅助诊断系统用于甲状腺髓样癌[J]. *中国医学影像技术*, 2024, 40(2):208–211. doi:10.13929/j.issn.1003-3289.2024.02.011.
- Jiang L, Chen L, Zhang XT, et al. Ultrasonic artificial intelligence-assisted diagnostic system for diagnosing medullary thyroid carcinoma[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2024, 40(2):208–211. doi:10.13929/j.issn.1003-3289.2024.02.011.
- [22] Zhang X, Zhao X, Jin L, et al. The machine learning-based model for lateral lymph node metastasis of thyroid medullary carcinoma improved the prediction ability of occult metastasis[J]. *Cancer Med*, 2024, 13(11):e7155. doi:10.1002/cam4.7155.
- [23] 刘才广, 莫屈, 肖羿, 等. 医学影像人工智能在甲状腺癌诊疗中的应用:现状与展望[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(11):1874–1882. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.11.014.
- Liu CG, Mo Q, Xiao Y, et al. Applications of medical imaging artificial intelligence in the diagnosis and treatment of thyroid cancer: current status and future prospects[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(11): 1874–1882. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.11.014.
- [24] Xu W, Jia X, Mei Z, et al. Generalizability and diagnostic performance of AI models for thyroid US[J]. *Radiology*, 2023, 307(5):e221157. doi:10.1148/radiol.221157.
- [25] 徐可, 石波, 周春美, 等. AI辅助诊断联合医师C-TIRADS分类对甲状腺结节的诊断效能分析[J]. *中国医疗设备*, 2022, 37(10):134–138. doi:10.3969/j.issn.1674-1633.2022.10.027.
- Xu K, Shi B, Zhou CM, et al. Analysis of Diagnostic Efficacy of AI-Assisted Diagnosis Combined with C-TIRADS Classification for Thyroid Nodules[J]. *China Medical Devices*, 2022, 37(10):134–138. doi:10.3969/j.issn.1674-1633.2022.10.027.
- [26] Habchi Y, Himeur Y, Kheddar H, et al. AI in thyroid cancer diagnosis: techniques, trends, and future directions[J]. *Systems*, 2023, 11(10):519. doi:10.3390/systems11100519.

- [27] Li X, Peng C, Liu Y, et al. Modified American college of radiology thyroid imaging reporting and data system and modified artificial intelligence thyroid imaging reporting and data system for thyroid nodules: a multicenter retrospective study[J]. *Thyroid*, 2024, 34(1): 88–100. doi:10.1089/thy.2023.0429.
- [28] Wu F, Lin X, Chen Y, et al. Breaking barriers: noninvasive AI model for BRAFV600E mutation identification[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2025, 20(5): 935–947. doi: 10.1007/s11548-024-03290-0.
- [29] Zhou C, Xu C, Yang B, et al. Preoperative US integrated random forest model for predicting Delphian lymph node metastasis in patients with papillary thyroid cancer[J]. *Curr Med Imaging*, 2023, 19(9):1031–1040. doi:10.2174/1573405619666230105150219.
- [30] Zhou Y, Onder OF, Dou Q, et al. CIA-Net: Robust Nuclei Instance Segmentation with Contour-Aware Information Aggregation[A]// 26th Conference on Information Processing in Medical Imaging[C]. Heidelberg: Springer Cham, 2019. doi: 10.48550/arXiv.1903.05358.
- [31] Li W, Cheng S, Qian K, et al. Automatic recognition and classification system of thyroid nodules in CT images based on CNN[J]. *Comput Intell Neurosci*, 2021, 2021: 5540186. doi: 10.1155/2021/5540186.
- [32] 王洪杰, 田进军, 吴建华, 等. 人工智能在CT诊断甲状腺结节中的临床研究[J]. *中国医学装备*, 2020, 17(4):17–20. doi:10.3969/J. ISSN.1672-8270.2020.04.005.
- Wang HJ, Tian JJ, Wu JH, et al. Clinical application and research of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of thyroid nodule by using CT[J]. *China Medical Equipment*, 2020, 17(4):17–20. doi:10.3969/J. ISSN.1672-8270.2020.04.005.
- [33] Li S, Wei X, Wang L, et al. Dual-source dual-energy CT and deep learning for equivocal lymph nodes on CT images for thyroid cancer[J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(12): 7567–7579. doi: 10.1007/s00330-024-10854-w.
- [34] Wang H, Song B, Ye N, et al. Machine learning-based multiparametric MRI radiomics for predicting the aggressiveness of papillary thyroid carcinoma[J]. *Eur J Radiol*, 2020, 122: 108755. doi:10.1016/j.ejrad.2019.108755.
- [35] Zhao H, Zheng C, Zhang H, et al. Diagnosis of thyroid disease using deep convolutional neural network models applied to thyroid scintigraphy images: a multicenter study[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, 14:1224191. doi:10.3389/fendo.2023.1224191.
- [36] 向辅兆, 黄秋菊, 魏建安, 等. 深度神经网络辅助评估 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}^{-}_4$ 显像甲状腺癌术后残留组织[J]. *中国医学影像学杂志*, 2023, 31(2): 108–113. doi:10.3969/j.issn.1005-5185.2023.02.003.
- Xiang YZ, Huang QJ, Wei JA, et al. Deep Neural Network Assisted $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}^{-}_4$ Imaging for Evaluation of Postoperative Residual Tissue in Thyroid Cancer[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging*, 2023, 31(2):108–113. doi:10.3969/j.issn.1005-5185.2023.02.003.
- [37] Guan Q, Wang Y, Ping B, et al. Deep convolutional neural network VGG-16 model for differential diagnosing of papillary thyroid carcinomas in cytological images: a pilot study[J]. *J Cancer*, 2019, 10(20):4876–4882. doi:10.7150/jca.28769.
- [38] Sanyal P, Mukherjee T, Barui S, et al. Artificial intelligence in cytopathology: a neural network to identify papillary carcinoma on thyroid fine-needle aspiration cytology smears[J]. *J Pathol Inform*, 2018, 9:43. doi:10.4103/jpi.jpi_43_18.
- [39] Savala R, Dey P, Gupta N. Artificial neural network model to distinguish follicular adenoma from follicular carcinoma on fine needle aspiration of thyroid[J]. *Diagn Cytopathol*, 2018, 46(3):244–249. doi:10.1002/dc.23880.
- [40] 葛肖艳, 马婷, 刘文. 人工智能技术与FNAC联合在甲状腺良恶性结节诊断中的应用价值分析[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2024, 30(5): 589–593. doi: 10.19627/j. cnki. cn31-1700/th.2024.05.007.
- Ge XY, Ma T, Liu W. Application value of artificial intelligence technology combined with FNAC in the diagnosis of benign and malignant thyroid nodules[J]. *Chinese Computed Medical Imaging*, 2024, 30(5): 589–593. doi: 10.19627/j. cnki. cn31-1700/th.2024.05.007.
- [41] Phillips KA, Trosman JR, Kelley RK, et al. Genomic sequencing: assessing the health care system, policy, and big-data implications[J]. *Health Aff (Millwood)*, 2014, 33(7): 1246–1253. doi:10.1377/hlthaff.2014.0020.
- [42] Udegbe FC, Ebulue OR, Ebulue CC, et al. Precision medicine and genomics: a comprehensive review of it-enabled approaches[J]. *Imsrj*, 2024, 4(4):509–520. doi:10.51594/imsrj.v4i4.1053.
- [43] Alagarswamy K, Shi W, Boini A, et al. Should AI-powered whole-genome sequencing be used routinely for personalized decision support in surgical oncology: a scoping review[J]. *BioMedInformatics*, 2024, 4(3): 1757–1772. doi: 10.3390/biomedinformatics4030096.
- [44] Cece A, Agresti M, De Falco N, et al. Role of artificial intelligence in thyroid cancer diagnosis[J]. *J Clin Med*, 2025, 14(7):2422. doi: 10.3390/jcm14072422.
- [45] Skaugen JM, Taneja C, Liu JB, et al. Performance of a multigene genomic classifier in thyroid nodules with suspicious for malignancy cytology[J]. *Thyroid*, 2022, 32(12): 1500–1508. doi: 10.1089/thy.2022.0282.
- [46] Alabrak MMA, Megahed M, Alkhouly AA, et al. Artificial intelligence role in subclassifying cytology of thyroid follicular neoplasm[J]. *Asian Pac J Cancer Prev*, 2023, 24(4):1379–1387. doi: 10.31557/APJCP.2023.24.4.1379.
- [47] Guo YY, Li ZJ, Du C, et al. Machine learning for identifying benign and malignant of thyroid tumors: a retrospective study of

- 2 423 patients[J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 960740. doi: [10.3389/fpubh.2022.960740](https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.960740).
- [48] 花苏榕, 王智弘, 高俊义, 等. 深度学习技术识别喉返神经在经腋窝腔镜甲状腺手术中的探索[J]. *中华内分泌外科杂志*, 2022, 16(1):5-11. doi:[10.3760/cma.j.cn.115807-20211213-00384](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn.115807-20211213-00384).
- Hua SR, Wang ZH, Gao JY, et al. Exploration of deep learning to identify recurrent laryngeal nerve in endoscopic thyroidectomy via unilateral axillary approach[J]. *Chinese Journal of Endocrine Surgery*, 2022, 16(1): 5-11. doi: [10.3760/cma.j.cn.115807-20211213-00384](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn.115807-20211213-00384).
- [49] 花苏榕, 王智弘, 李佳颐, 等. 深度学习技术识别喉返神经在经胸乳入路腔镜甲状腺手术中的探索[J]. *中华内分泌外科杂志*, 2022, 16(3): 287-292. doi: [10.3760/cma.j.cn.115807-20220328-00078](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn.115807-20220328-00078).
- Hua SR, Wang ZH, Li JY, et al. Application of deep learning to identify recurrent laryngeal nerve in endoscopic thyroidectomy via breast approach[J]. *Chinese Journal of Endocrine Surgery*, 2022, 16(3):287-292. doi:[10.3760/cma.j.cn.115807-20220328-00078](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn.115807-20220328-00078).
- [50] Nishiya Y, Matsuura K, Ogane T, et al. Anatomical recognition artificial intelligence for identifying the recurrent laryngeal nerve during endoscopic thyroid surgery: a single-center feasibility study[J]. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*, 2024, 9(6): e70049. doi:[10.1002/lto.2.70049](https://doi.org/10.1002/lto.2.70049).
- [51] Wang B, Yu JF, Lin SY, et al. Intraoperative AI-assisted early prediction of parathyroid and ischemia alert in endoscopic thyroid surgery[J]. *Head Neck*, 2024, 46(8): 1975-1987. doi: [10.1002/hed.27629](https://doi.org/10.1002/hed.27629).
- [52] Kavitha M, Lee CH, Shibudas K, et al. Deep learning enables automated localization of the metastatic lymph node for thyroid cancer on ¹³¹I post-ablation whole-body planar scans[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):7738. doi:[10.1038/s41598-020-64455-w](https://doi.org/10.1038/s41598-020-64455-w).
- [53] Sa R, Yang T, Zhang Z, et al. Random forest for predicting treatment response to radioiodine and thyrotropin suppression therapy in patients with differentiated thyroid cancer but without structural disease[J]. *Oncologist*, 2024, 29(1):e68-e80. doi:[10.1093/oncolo/oyad252](https://doi.org/10.1093/oncolo/oyad252).
- [54] Lubin DJ, Tsetse C, Khorasani MS, et al. Clinical predictors of I-131 therapy failure in differentiated thyroid cancer by machine learning: a single-center experience[J]. *World J Nucl Med*, 2021, 20(3):253-259. doi:[10.4103/wjnm.WJNM_104_20](https://doi.org/10.4103/wjnm.WJNM_104_20).
- [55] 周慧敏, 李素云, 赵莉. 机器人在分化型甲状腺癌术后碘¹³¹隔离患者健康教育中的应用[J]. *护理研究*, 2018, 32(13):2156-2158. doi:[10.12102/j.issn.1009-6493.2018.13.046](https://doi.org/10.12102/j.issn.1009-6493.2018.13.046).
- Zhou HM, Li SY, Zhao L. Application of the robot in the health education of iodine-131 isolated patients after differentiated thyroid cancer surgery[J]. *Chinese Nursing Research*, 2018, 32(13):2156-2158. doi:[10.12102/j.issn.1009-6493.2018.13.046](https://doi.org/10.12102/j.issn.1009-6493.2018.13.046).
- [56] Borzooei S, Briganti G, Golparian M, et al. Machine learning for risk stratification of thyroid cancer patients: a 15-year cohort study[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2024, 281(4):2095-2104. doi: [10.1007/s00405-023-08299-w](https://doi.org/10.1007/s00405-023-08299-w).
- [57] Seib CD, Roose JP, Hubbard AE, et al. Ensemble machine learning for the prediction of patient-level outcomes following thyroidectomy[J]. *Am J Surg*, 2021, 222(2):347-353. doi:[10.1016/j.amjsurg.2020.11.055](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2020.11.055).
- [58] Liu YH, Jin J, Liu YJ. Machine learning-based random forest for predicting decreased quality of life in thyroid cancer patients after thyroidectomy[J]. *Support Care Cancer*, 2022, 30(3): 2507-2513. doi:[10.1007/s00520-021-06657-0](https://doi.org/10.1007/s00520-021-06657-0).
- [59] Liu WC, Li ZQ, Luo ZW, et al. Machine learning for the prediction of bone metastasis in patients with newly diagnosed thyroid cancer[J]. *Cancer Med*, 2021, 10(8): 2802-2811. doi: [10.1002/cam4.3776](https://doi.org/10.1002/cam4.3776).
- [60] Liu W, Wang S, Ye Z, et al. Prediction of lung metastases in thyroid cancer using machine learning based on SEER database[J]. *Cancer Med*, 2022, 11(12):2503-2515. doi:[10.1002/cam4.4617](https://doi.org/10.1002/cam4.4617).
- [61] Mao Y, Lan H, Lin W, et al. Machine learning algorithms are comparable to conventional regression models in predicting distant metastasis of follicular thyroid carcinoma[J]. *Clin Endocrinol (Oxf)*, 2023, 98(1):98-109. doi:[10.1111/cen.14693](https://doi.org/10.1111/cen.14693).
- [62] 李艾, 杜元太, 缪刚, 等. 基于智能引擎的甲状腺癌术后随访系统构建与实践[J]. *中国卫生信息管理杂志*, 2022, 19(2):272-275. doi:[10.3969/j.issn.1672-5166.2022.02.22](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5166.2022.02.22).
- Li A, Du YT, Miao G, et al. Construction and Practice of Postoperative Follow-up System for Thyroid Cancer Patients Based on Intelligent Engine[J]. *Chinese Journal of Health Informatics and Management*, 2022, 19(2): 272-275. doi: [10.3969/j.issn.1672-5166.2022.02.22](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5166.2022.02.22).
- [63] Gruson D, Dabla P, Stankovic S, et al. Artificial intelligence and thyroid disease management: considerations for thyroid function tests[J]. *Biochem Med (Zagreb)*, 2022, 32(2):020601. doi:[10.11613/BM.2022.020601](https://doi.org/10.11613/BM.2022.020601).

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式: 刘领云, 谢天皓, 付燕, 等. 人工智能技术在甲状腺癌诊断与治疗中的应用[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(5):1018-1026. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.240551](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.240551)

Cite this article as: Liu LY, Xie TH, Fu Y, et al. The application of artificial intelligence technology in the diagnosis and treatment of thyroid cancer[J]. *Chin J Gen Surg*, 2025, 34(5): 1018-1026. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.240551](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.240551)