

DOI: 10.14188/j.1671-8852.2024.0122

文章编号 1671-8852(2026)05-0684-05

人工智能在乳腺癌中的应用

卢佳嫒¹ 努尔阿米纳木·麦麦提¹ 徐硕驰² 江远程³ 陈怡昕³ 王莹⁴ 吴猛³

¹武汉大学第二临床学院/武汉大学中南医院 湖北 武汉 430071;

²武汉大学公共卫生学院 湖北 武汉 430071;

³武汉大学中南医院综合超声医学科 湖北 武汉 430071;

⁴武汉大学第二临床学院教学办公室 湖北 武汉 430071

摘要 近年来,人工智能发展迅速使其广泛应用在医学领域,特别是在乳腺癌诊断等方面。本文先简要回顾了没有人工智能参与时,乳腺癌的诊断和治疗方法以及它们的不足之处,然后对人工智能在乳腺癌的筛查、诊断和治疗上的应用作一综述。最后,本文简要说明了现存的问题,并对人工智能在乳腺癌诊断等方面的应用进行了展望。

关键词 人工智能;乳腺癌;医学影像学;超声;诊断

中图分类号 R655.8

文献标志码 A

Application of artificial intelligence in breast cancer

LU Jiaman¹, NUERAMINAMU Maimaiti¹, XU Shuochi², JIANG Yuancheng³, CHEN Yixin³,
WANG Ying⁴, WU Meng³

¹Second Clinical School of Wuhan University & Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071,
Hubei, China;

²School of Public Health, Wuhan University, Wuhan 430071, Hubei, China;

³Department of Comprehensive Ultrasound, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071,
Hubei, China;

⁴Teaching Office of Second Clinical School of Wuhan University, Wuhan 430071, Hubei, China

Abstract

In recent years, the rapid development of artificial intelligence (AI) has led to its widespread implementation in the medical field, particularly in areas such as breast cancer diagnosis. This article commences with a concise overview of breast cancer diagnosis and treatment methods, without AI involvement, and their limitations. The application of AI in breast cancer screening, diagnosis, and treatment is subsequently reviewed. Finally, this article provides a brief overview of the existing issues and offers insights into the application of artificial intelligence in areas such as breast cancer diagnosis.

Key Words Breast Cancer; Artificial Intelligence; Medical Imaging; Ultrasound; Diagnosis

课题来源:湖北省重点研发项目(编号:2023BCB024);中央高校基本科研业务费专项资金资助(编号:2042025YXA009);武汉大学医学部重点教学项目(编号:2024ZD21)。

作者简介:卢佳嫒,女,2003—,主要从事综合超声研究,E-mail: jiaman288@qq.com;努尔阿米纳木·麦麦提,女,2003—,主要从事综合超声研究,E-mail: 3526866218@qq.com;徐硕驰,女,2002—,主要从事预防医学研究,E-mail:3398275952@qq.com。卢佳嫒、努尔阿米纳木·麦麦提和徐硕驰为本文共同第一作者。

通信作者:吴猛,E-mail: wb000713@whu.edu.cn;王莹,E-mail: apple09wy@163.com。

乳腺癌是女性常见的恶性肿瘤,也是全球女性癌症相关死亡的主要原因,严重危害妇女的身心健康^[1]。与早期乳腺癌相比,晚期乳腺癌的五年生存率显著下降,预后也较差,这强调了早期诊断和治疗的重要性。

近年来,人工智能(artificial intelligence, AI)技术的迅速发展已使其在医学领域得到广泛应用,尤其是在乳腺癌的诊断方面。AI是机器人模仿或等于人类智能(human intelligence, HI)的能力,机器学习、深度学习、神经网络、自然语言处理、计算机视觉和认知计算都是AI的关键组成部分^[2]。AI引起了工业活动世界的范式变革,其显著影响预计将蔓延到医学病理学领域^[3]。AI技术能够提高诊断的准确性和早期检出率,减少假阳性和假阴性率,降低误诊和漏诊的风险,被视为医生在乳腺癌筛查、诊断和治疗中的有力工具。

本文旨在综述AI在乳腺癌筛查、诊断和治疗中的应用,并探讨AI在乳腺癌诊疗中的挑战和展望。

1 乳腺癌诊疗的发展历程

乳腺癌仍然是一个复杂而普遍的健康问题,影响着全球数百万人^[4]。在17世纪之前,根据古希腊医学理论,乳腺癌被认为是由体液不平衡或神的惩罚所致。随着解剖学在欧洲医学界的兴起,人们开始认识到乳腺癌是一种实体病变。当时,乳腺癌的诊断主要依赖于肉眼观察和简单的触诊。19世纪显微镜的发明使医生能够通过观察组织样本的微观结构来诊断乳腺癌。随后,乳腺肿瘤术前活检和冰冻切片技术的发展进一步提高了诊断的准确性。20世纪中叶,乳腺X线摄影的发展显著提高了乳腺癌的早期发现率,而超声和MRI等影像学技术的应用进一步增强了诊断的准确性。在治疗方面,19世纪末HALSTED进行了首次激进的乳房切除术。随着1895年X射线的发现和1898年镭的发现,辐射治疗被尝试用于治疗乳腺癌。20世纪70年代和80年代初,HORTOBAGYI和JACQUILLAT启动了对乳腺癌患者进行新辅助化疗的研究,辅助化疗被用来改善乳腺癌手术的预后。1998年,曲妥珠单抗被用于治疗HER2阳性转移乳腺癌,这标志着生物疗法在乳腺癌治疗中的重要进展。

从最初的直观观察到现代的分子水平,乳腺癌的诊断方法不断优化。乳腺癌的治疗也从单一的手术发展到包括手术、放疗、化疗、靶向治疗等的综

合治疗模式。然而,当前主流的影像诊断技术存在一定的局限性,包括医学图像质量欠佳,检测假阳性率偏高,以及影像组学特征难以提取等瓶颈。此外,医疗影像领域还存在医生供需缺口大、进入门槛高、医疗资源分布不均衡、数据量急速增长等挑战。

随着AI技术的不断突破和与医疗领域的融合,AI成为解决这些挑战的关键而有效的手段。AI技术能够为医生提供客观有效的诊断依据,并在提高诊断准确性、早期检出率、减少假阳性和假阴性率、减轻医生工作负担、降低误诊和漏诊风险、预后评估等方面发挥重要作用。

2 AI在乳腺癌中的应用

随着AI技术的不断突破以及与医疗领域的逐渐融合,AI成为解决传统乳腺癌治疗过程中存在的这些挑战的关键而有效的手段。AI有望在临床专家对癌症影像学的定性解读方面取得重大进展。影像组学和计算机的进步协同导致AI在乳腺影像学中的各种任务(如风险评估、检测、诊断、预后和治疗中的反应)中的潜在应用正在迅速增加。最近诊断成像技术和信息学方面的技术进步已经引入了功能性成像模式,如混合PET/MR成像以及AI软件,旨在提取定量放射组学数据,这些数据可能反映肿瘤生物学和行为^[5]。机器学习(ML)/AI能够为乳腺癌的检测和诊断提供可量化的、客观的测量手段,并有助于治疗前肿瘤反应的预测^[6-7]。通过结合预定义的算法和新型深度学习方法,在三维超声、乳腺MRI和乳腺断层合成图像上已经能够自动检测乳腺病变。AI/ML[即深度学习(DL)技术、迁移学习、集成学习等]的最新进展有可能有效改善乳腺癌检测、诊断、分类和治疗预测的医疗保健结果^[8-9]。如今,深度学习方法已允许乳腺MRI、超声和乳腺X线检查中对乳腺病变进行计算机辅助检测;在诊断方面,使用CADx,预先定义的算法和深度学习的算法都得到了评估;最近美国的研究者^[10]提出了一种将AI整合到乳腺癌筛查途径中的决策转诊方法,该算法在其不确定性量化的基础上进行预测。总之,深度学习、神经网络、计算机设计算法、计算机视觉、机器人等AI技术在乳腺癌影像学领域得到了广泛的应用。

2.1 AI在乳腺癌筛查中的应用

2.1.1 深度学习模型的AI系统 AI系统在乳腺X

线摄影筛查中的潜在应用引起了广泛关注^[11]。尽管世界各地都有各自的筛查计划,但乳房X线检查的解读仍然受到高假阳性和假阴性率的影响,而且目前的证据不足以判断乳腺癌筛查计划的准确性^[12]。研究人员^[13]提出了一个AI系统,并且策划了两个分别来自英国和美国的大型数据集。该AI系统由三个深度学习模型组成,每个模型在不同的水平上进行,对乳腺X线摄影病例产生0~1之间的癌症风险评分,该系统的最终预测是三个独立模型预测结果的平均值。

2.1.2 通过强化学习优化基于风险的乳腺癌筛查策略 对于乳腺癌,早期发现可以显著改变患者结局。为了有效和经济上可行,乳腺癌的人群筛查项目必须在早期发现的益处和过度筛查的成本之间找到适合的平衡。AI驱动的新型风险模型^[14]的力量,使我们有从根本改变人群筛查。深度学习算法使这些模型能够对原始患者数据(如影像学数据)进行操作。这些模型可以检测高度复杂的依赖关系,与传统方法相比进一步增强了他们的预测能力。这些风险模型的一个显著特征是随着患者原始数据的演变,其预测结果可以随着时间的推移而波动。这一特征显示筛查方案需要根据风险的变化进行灵活调整,并在患者的一生中进行优化。

麻省理工学院的研究人员^[15]假设通过将基于AI的风险模型和基于敏捷AI的筛查方案配对,可以提高早期检出率,同时降低筛查的总体成本,并且提供了在乳腺癌筛查领域支持这一假说的实证研究结果。他们开发了一个用于个性化筛查的RL框架Tempo,以预测根据患者风险评估提出的随访建议,并证明了基于AI风险模型的Tempo策略(即Mirai),优于基于较不准确的风险模型(即Tyrer-Cuzick)的策略。

2.1.3 AI技术解读乳腺X线照片 如果用于解读乳腺X线照片的AI算法能够检测出癌症(包括间期癌),而不会大幅度导致过度诊断,则有可能提高人群乳腺癌筛查计划的有效性^[16]。英国癌症研究中心帝国中心宣布,由AI研究人员和医疗保健专业人员组成的联盟将负责使用Google的AI技术来改进乳房X线照片的阅读和评估^[17]。

目前DeepMind Health正在开发机器学习算法,通过审查30 000张图像,以及来自英国Optimam(从NHS提取的超过80 000次扫描的图像数据库)提供的磁共振成像(MRI)扫描和历史乳房X线照片中的3 500张图像,对其人工智能进行培训,以

调查其AI系统是否能够准确地发现癌组织的迹象。虽然其他技术公司也正在研究解决乳房X线照片问题,但DeepMind的机器学习技术可以认为是其中最先进的一个^[18]。

2.2 AI在乳腺癌诊断中的应用

2.2.1 超声医学影像诊断 超声作为一种应用广泛的诊断方法,具有操作简单、无辐射、实时操作等优点。基于这些优势,超声检查已成为乳腺癌筛查和临床诊断的重要影像学手段。为了避免由于医生缺乏经验或主观影响而漏诊或误诊,实现超声诊断的量化和标准化,研究人员开发了一种人工智能系统,用于超声图像中乳腺病变的检测和诊断。研究^[19]表明,超声检查在致密型乳腺组织的诊断中具有重要价值,这促使我们探索人工智能技术在乳腺超声图像分析中的应用前景。但值得注意的是,该技术在临床落地过程中面临诸多挑战:一方面,医院信息系统(hospital information system, HIS)的改造升级需要投入大量成本;另一方面,为实现AI服务而将HIS接入互联网可能带来数据安全隐患。为解决这些问题,研究人员创新性地开发了一套基于智能手机拍摄的乳腺超声图像的AI分析系统。

实验人员从岐阜大学医院乳腺外科获取了115张良性病变图像和201张恶性病变图像,用于制备训练数据。YOLOv3(一种目标检测模型)被用于检测超声图像中的病变区域。此外,开发了一个图形用户界面(GUI),用于与AI服务器进行交互并获取预测结果。同时,还开发了一个智能手机应用程序,能够通过摄像头捕捉显示在HIS(医院信息系统)监视器上的超声图像,并实时显示从AI服务器接收的预测结果。AI服务器的预测性能以及通过智能手机应用程序进行的预测的灵敏度和特异性,是通过使用训练过程中保留的60张图像进行计算得出的。研究结果显示,已建立的AI模型在检测恶性病变方面表现出100%的敏感性,特异性为75%。此外,每次预测仅需0.2 s,通过AI服务器即可快速完成。使用智能手机进行预测,每次预测需要2 s,对恶性病变的敏感性为100%,特异性为97.5%。所以使用AI服务器获得了高质量的预测。此外,通过智能手机进行的预测质量略好于人工智能服务器,人工智能服务器可以安全且廉价地引入HIS^[20-21]。

2.2.2 病理诊断 肿瘤原发灶的鉴别诊断长期以来都是临床与科研领域面临的重大挑战,这一难题已持续困扰学界逾百年。随着精准肿瘤学时代的

到来,现代肿瘤治疗方案的确立日益依赖于对驱动肿瘤发生发展关键基因突变的精准检测与解析。所以,准确识别癌症起源的能力仍然是决定肿瘤生物学特征和治疗敏感性的关键因素^[22]。

传统的癌症诊断流程主要围绕着全面的免疫组织化学检测以及精细的横断面影像技术(例如冷冻切片等)展开。然而,这一流程存在诸多瓶颈:复杂的病理分析步骤和漫长的操作时间,对样本质量近乎苛刻的要求,以及病理学专家沉重的工作负担,这些因素相互交织,往往导致传统诊断方法难以高效实施,甚至在某些情况下无法满足临床需求。正是这些挑战,促使科研人员不断探索新的方向,以期找到一种更加经济、高效且易于操作的诊断新路径。

AI衍射分析是一项低成本、高效率的算法系统,在癌症领域的细针穿刺病理诊断应用广泛。这种方法支持单细胞级别的分子定量研究,揭示了肿瘤内的分子异质性,并且提高了临床乳腺癌诊断的水平。WANG等人^[23]基于全信息数字切片扫描(whole slide imaging, WSI)和深度学习,开发了一种新的组织学分级模型DeepGrade。这一分析方法基于标准组织病理学图像检测,能显著提升诺丁汉病理分级(NHG)2类乳腺癌病例的风险评估准确性,为临床诊疗决策和预后判断提供更可靠的依据。进一步地,AI技术还可整合超声影像特征与病理数据,通过多模态融合算法优化诊断效能。例如,在超声引导的细针穿刺中,AI可实时分析穿刺样本的细胞形态学特征,辅助判断肿瘤恶性程度,减少漏诊风险。未来,AI模型还可整合空间转录组数据(如Slide-seqV2)^[24]与病理影像,通过跨模态对齐算法挖掘分子特征与形态学的关联,进一步优化诊断标准。

2.3 AI在乳腺癌治疗中的应用 在当今社会中,癌症的发病率越来越高,成为了全世界各国政府面临的重大问题。为了尽早发现肿瘤,医学界已经发明了很多高科技检测仪器和治疗手段。而近年来,人工智能的迅速发展,也为癌症治疗研究带来了进一步的革新。

为了更好地研发抗癌新药,降低新药开发成本,有关部门纷纷投入大量资源与资金开展研究。例如,美国Berg Health公司开创的一个借助人工智能研发新药的平台,对来自乳腺癌患者的病原学组织标本进行了模拟分析,然后利用人工智能技术识别未知的乳腺癌亚型,从而研发出更具针对性的乳

腺癌新药。这个平台的算法能够发现生物标志物或者药物靶点,从而将他们应用于血液检测,以筛查乳腺癌,为人类健康保驾护航^[25]。

此外,IBM公司的Watson人工智能平台在医学界也备受瞩目。自然语言处理和机器学习等领域的创新性技术在该平台中得到了完美的应用,为广大患者提供更加个性化的肿瘤治疗方案,达到了辅助医师为乳腺癌治疗提供创新性思路的目的。该平台可以从医疗设备记录中提取相关数据,并根据医生的输入信息提炼出更加完善的个性化诊疗方案^[26]。

3 展望

综上所述,人工智能在乳腺癌的早期准确诊断、预后评估、个体化治疗方案的确定等方面发挥着重要作用,且在未来的乳腺癌诊疗中具有巨大的应用前景。然而,AI在临床应用中仍面临一些挑战,例如医疗数据的安全性问题。在应用中需要的大量临床数据涉及患者的个人信息,若这些数据未得到妥善的安全保存和加密,可能会遭到滥用和泄露,侵犯到患者的个人隐私权。此外,目前我国仍处于弱人工智能阶段。以乳腺癌的诊断为例,现有的影像组学研究方法虽然已应用于临床,但大多仅基于X线、超声或磁共振中的一种成像技术,这对于乳腺癌复杂的病理分型难以做出准确预测。但这些挑战是可以逐步克服的。例如,我们可以通过在数据安全领域的不断研究和创新来提高数据的安全性。我们可以开发一种整合多模态影像数据、利用深度学习挖掘影像特征的系统,以准确预测乳腺癌及其病理类型,从而对乳腺癌复杂的病理分型作出更好预测。

随着进一步的研究和技术升级,相关研究人员将能够克服现存的挑战,使基于人工智能的整体筛查方法得到更广泛的应用普及,从而提高癌症患者的整体生活质量。



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

参考文献

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.

- [2] SOLIMAN A, LI Z, PARWANI A V. Artificial intelligence's impact on breast cancer pathology: A literature review [J]. *Diagn Pathol*, 2024, 19(1): 38.
- [3] CUI M, ZHANG D Y. Artificial intelligence and computational pathology [J]. *Lab Invest*, 2021, 101(4): 412-422.
- [4] OBEAGU E I, OBEAGU G U. Breast cancer: A review of risk factors and diagnosis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2024, 103(3):e36905.
- [5] ROMEO V, MOY L, PINKER K. AI-enhanced PET and MR imaging for patients with breast cancer[J]. *PET Clin*, 2023, 18(4):567-575.
- [6] SUTTON E J, ONISHI N, FEHR D A, et al. A machine learning model that classifies breast cancer pathologic complete response on MRI post-neoadjuvant chemotherapy[J]. *Breast Cancer Res*, 2020, 22(1):57.
- [7] VICENT C H, TUDELA X, RUIZ P M, et al. Machine learning models and multiparametric magnetic resonance imaging for the prediction of pathologic response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer[J]. *Cancers*, 2022, 14(14):3508.
- [8] HU Q, WHITNEY H M, GIGER M L, et al. A deep learning methodology for improved breast cancer diagnosis using multiparametric MRI[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):10536.
- [9] WANG Y, CHOI E J, CHOI Y, et al. Breast cancer classification in automated breast ultrasound using multi-view convolutional neural network with transfer learning [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(5):1119-1132.
- [10] LEIBIG C, BREHMER M, BUNK S, et al. Combining the strengths of radiologists and AI for breast cancer screening: A retrospective analysis[J]. *Lancet Digit Health*, 2022, 4(7):e507-e519.
- [11] YOON J H, STRAND F, BALTZER P A T, et al. Standalone AI for breast cancer detection at screening digital mammography and digital breast tomosynthesis: A systematic review and meta-analysis[J]. *Radiology*, 2023, 307(5):e222639.
- [12] FREEMAN K, GEPPERT J, STINTON C, et al. Use of artificial intelligence for image analysis in breast cancer screening programmes: Systematic review of test accuracy[J]. *BMJ*, 2021, 374: n1872.
- [13] SCOTT M M, MARCIN S, VARUN G, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening[J]. *Nature*, 2020, 577(7788):89-94.
- [14] YALA A, LEHMAN C, SCHUSTER T, et al. A deep learning mammography - based model for improved breast cancer risk prediction[J]. *Radiology*, 2019, 292(1): 60-66.
- [15] ADAM Y, PETER G, CONSTANCE L, et al. Optimizing risk-based breast cancer screening policies with reinforcement learning[J]. *Nat Med*, 2022, 28(1): 136-143.
- [16] MARINOVICH M L, WYLIE E, LOTTER W, et al. Artificial intelligence (AI) to enhance breast cancer screening: Protocol for population - based cohort study of cancer detection[J]. *BMJ Open*, 2022, 12(1):e054005
- [17] LOTTER W, DIAB AR, HASLAM B, et al. Robust breast cancer detection in mammography and digital breast tomosynthesis using an annotation-efficient deep learning approach[J]. *Nat Med*, 2021, 27(2):244-249.
- [18] DAMIANI C, KALLIATAKIS G, SREENIVAS M, et al. Evaluation of an AI model to assess future breast cancer risk[J]. *Radiology*, 2023, 307(5):e222679.
- [19] WEIGERT J, STEENBERGEN S. The connecticut experiments second year: Ultrasound in the screening of women with dense breasts[J]. *Breast J*, 2015, 21(2): 175-180.
- [20] BAJWA J, MUNIR U, NORI A, et al. Artificial intelligence in healthcare: Transforming the practice of medicine[J]. *Future Healthc J*, 2021, 8(2):e188-e194.
- [21] LEINER T, BENNINK E, MOL C P, et al. Bringing AI to the clinic: Blueprint for a vendor-neutral AI deployment infrastructure[J]. *Insights Imaging*, 2021, 12(1):11.
- [22] 肖文铨,江一舟,邵志敏. 人工智能在乳腺癌精准诊疗中的应用[J]. *实用肿瘤杂志*, 2022, 37(2): 112-115.
- XIAO W X, JIANG Y Z, SHAO Z M. Application of artificial intelligence in precision medicine for breast cancer[J]. *Journal of Practical Oncology*, 2022, 37(2): 112-115.
- [23] WANG Y, ACS B, ROBERTSON S, et al. Improved breast cancer histological grading using deep learning[J]. *Ann Oncol*, 2022, 33(1): 89-98.
- [24] STICKELS R R, MURRAY E, KUMAR P, et al. Highly sensitive spatial transcriptomics at near-cellular resolution with Slide-seqV2[J]. *Nature Biotechnology*, 2021, 39(3): 313-319.
- [25] BHINDER B, GILVARY C, MADHUKAR NS, et al. Artificial intelligence in cancer research and precision medicine[J]. *Cancer Discov*, 2021, 11(4):900-915.
- [26] XU F, SEPÚLVEDA MJ, JIANG Z, et al. Artificial intelligence treatment decision support for complex breast cancer among oncologists with varying expertise [J]. *JCO Clin Cancer Inform*, 2019, 3:1-15.

(2024-02-22 收稿)

编辑 孙孝云