

人工智能在超声辅助诊断中的应用

Application of artificial intelligence in ultrasound diagnosis

唐蕾^{1,2}, 王滢^{2△}, 杨旭^{2,3}, 曹鸿梅^{2,4}

TANG Lei, WANG Yan, YANG Xu, CAO Hong-mei

1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054; 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)妇产科, 四川 成都 610072; 3. 成都中医药大学, 四川 成都 610075; 4. 西南医科大学, 四川 泸州 646000

【摘要】 人工智能(AI)技术的迅猛发展正在重塑医学的研究和实践,尤其在超声领域,其应用已成为一个备受关注的研究热点。然而,人工智能应用于超声诊断的相关研究数量巨大、种类繁多,临床医师学习难度较大。作为一名临床医师,如何将 AI 这项新兴的前沿技术更高效科学地应用于超声辅助诊断的临床实践中,是临床学者们关注的重点。本文从不同疾病类型、不同数据类型、不同数据来源出发,探讨了 AI 辅助超声诊断的临床应用价值,旨在为临床医师提供一个全面的视角,帮助临床医师掌握 AI 应用于超声辅助诊断的角度和类型,以期促进 AI 技术在超声诊断领域的深入研究和广泛应用。

【关键词】 人工智能; 超声; 诊断; 临床医师; 跨学科合作

【中图分类号】 R71

【文献标志码】 B

【文章编号】 1672-6170(2025)02-0180-05

人工智能(artificial intelligence, AI)是计算机科学的一个分支,本质是一项技术,其概念早在 1956 年就已经提出^[1]。机器学习(machine learning, ML)是其主要分支,通过学习数据中的规律性,对未知对象进行预测和分类。深度学习(deep learning, DL)是 ML 的分支,该方法使用数学模型来模拟人脑中的神经元,其中卷积神经网络(convolutional neural networks, CNN)是 DL 的主要组成部分,在图像识别、计算机视觉等领域表现出色,是近年 AI 技术在医学领域的研究热点^[2,3]。

AI 高速发展,其在医学领域的应用也越来越广泛。医学图像本身具有可以被量化的像素值,可作为 AI 算法训练的数据源。超声检查简单、方便、可重复,其图像在临床工作中便于收集,为科学研究提供了极其丰富的数据集资源,因此 AI 在超声领域的应用成为近年跨学科合作的研究热点之一^[4]。与超声医生主观、经验依赖的图像判读及推理相比,AI 能够识别肉眼无法识别的超声图像复杂模式,并自动完成评估,使报告的结果更准确,不仅可以减少超声医师的工作量,也有助于超声诊断水平的提高^[5]。

然而,AI 应用于超声诊断的相关研究数量巨大、种类繁多,临床医师学习难度较大,如何将 AI 这项新兴的前沿技术更高效科学地应用于超声诊断的临床实践中,是临床学者们关注的重点。本文将从不同疾病类型、不同数据类型、不同数据来源等角度分析 AI 在超声检查中的辅助诊断价值,帮助临

床医师掌握 AI 应用于超声辅助诊断的角度和类型,以期为 AI 技术在超声诊断中的未来发展提供指导和启示。

1 AI 在不同疾病类型超声诊断的应用

1.1 结节良恶性的区分 超声作为一种广泛应用于临床的诊断工具,对于甲状腺、乳腺和卵巢等器官疾病的辅助诊断具有重要价值。在这些器官中,异常肿块常通过超声检查首次被检测出来。超声能够根据结节的多种超声征象(如内部回声的强度、结节的囊实性、病灶形态是否规则、病灶边缘是否清晰、血流信号是否丰富等),进行良恶性的初步评估,为临床医生制定后续诊疗计划提供重要依据。AI 应用于临床疾病的超声辅助诊断中,可以客观、准确地做出疾病诊断,弥补传统超声对检查者主观、经验高度依赖性的缺陷。同时,AI 在一定程度上可以提升低年资医师的诊断水平,辅助低年资超声医师进行超声诊断。

Xu 等^[6]利用 AI 对超声检查甲状腺结节进行良恶性鉴别,结果表明,AI 在不同诊断标准下均表现出卓越的诊断效能,与资深超声医师诊断水平相当,显著提高了初级超声医师的诊断能力,且可能减少不必要的侵入性诊断程序。Giourga 等^[7]将三个预先训练的 CNN 用于妇科超声中卵巢肿瘤的良恶性评估,结果发现三种 CNN 模型的聚合使用在诊断效能上优于单一模型,且 AI 辅助图像分析能够提升超声医师诊断的准确性,减少误差,并为经验不足的超声医师提供有力支持。Shiyan 等^[8]的研究则融合了超声、AI 和传统统计学方法,构建了一个基于超声的临床放射组学列线图模型,以评估乳腺癌变的恶性风险,研究结果显示,该模型的诊断性能明显优于临床诊断模型(BI-RADS 模型)。

【基金项目】 中国医药卫生事业发展基金会资助项目(编号:BJ2023YCPYJH003)

△通讯作者

AI 可通过对超声图像进行识别,用于结节病灶的定性分析,在疾病的超声辅助诊断中表现出优异的诊断效能,还能够提高低年资医师的诊断准确性,为临床提供了一种新的有效的诊断工具。然而,现有的大多数研究中,超声图像中的病灶区域作为 AI 训练及测试的数据来源,仍需要医师进行手动标注,消耗大量的时间和精力。研究者们也在开发和探索新的算法用于病灶的自动勾画,为 AI 的全自动化应用奠定了扎实的基础。自动勾画病灶区域、智能分析病灶性质的全自动超声 AI 辅助诊断模型是未来探索和研究的必然趋势。

1.2 淋巴结转移的预测 恶性肿瘤易发生淋巴转移,而淋巴结转移的预测对于恶性肿瘤患者的个体化治疗和预后评估至关重要。现有的传统辅助检查方法,如超声和放射学检查,对淋巴结转移的预测能力欠佳,因此,寻找一种新型的方法辅助恶性肿瘤患者的术前淋巴结转移评估成为学者们关注的重点。

Wang 等^[9]构建了一种 DL 模型,用于术前预测甲状腺乳头状微癌患者中央淋巴结转移的发生,该研究发现,利用超声图像构建的 DL 模型平均曲线下面积 (AUC) 为 0.65,略高于利用传统临床因素的模型 (AUC = 0.64)。其构建的深度学习模型对中央淋巴结转移预测及后续治疗提供了参考。Zhang 等^[10]回顾性收集了疑似甲状腺乳头状癌患者的甲状腺超声资料,对多尺度、多帧、双向深度学习模型进行预训练,利用多中心前瞻性收集的影像数据进行模型微调和独立验证。该研究所构建的模型在测试组和验证组中均展现出较好的淋巴结转移预测能力,AUC 分别为 0.85 (95% CI:0.73 ~ 0.97) 和 0.81 (95% CI:0.73 ~ 0.89)。并且,在人工智能模型的辅助诊断下,超声医师的平均诊断准确率 (57% vs 60%, $P=0.001$) 和灵敏度 (62% vs 65%, $P<0.001$) 均有显著提高,其构建的模型可作为一种有效的辅助工具提高超声医师的诊断水平。在恶性肿瘤的管理中,AI 更是展现出其独特的价值,术前预测肿瘤的淋巴结转移趋势,评估患者的预后,从而为临床决策提供更为精准的数据支持。

1.3 其他疾病辅助诊断 在临床疾病的超声辅助诊断中,AI 不仅可用于结节病灶的分类、淋巴结转移的预测,在其他系统疾病的辅助诊断中也展现出优异的应用价值,如心血管疾病的预测及心脏功能的评估、妇产科疾病的诊断及指标的预测、甲状腺等炎性病灶的预测等。

在心血管超声领域,Kagiyama 等^[11]验证了一种新型手持超声设备结合 AI 程序自动评估左心室射

出分率的能力,结果发现 AI 程序与标准方法具有较好的一致性。Holste 等^[12]开发的 AI 模型,通过自我监督学习方法,显著提高了心脏疾病诊断的分类性能,尤其在左心室肥大和主动脉瓣狭窄的识别上。

在妇产科超声诊断中,AI 不仅可用于卵巢肿瘤良恶性的鉴别,在其他领域也有重大突破。Raimondo 等^[13]通过分析子宫体视频片段提取的超声图像,评估了 DL 模型在诊断子宫腺肌病方面的性能。尽管该模型诊断的准确性仍有待提高,但模型诊断的特异度已超越了中等水平超声医师的诊断特异性。Stringer 等^[14]在产科领域实现了 AI 诊断胎龄的重要突破,开发了一种基于盲超声波扫描的 DL 模型软件,其准确性与高规格机器上的标准生物测量相当,为低资源环境下的产科监测提供了有效工具。Liu 等^[15]则利用三种机器学习模型预测引产妇女的宫颈成熟度,结果显示这些模型在预测宫颈成熟度方面具有较高的准确性。此外,Baek 等^[16]发现深度学习在区分 Graves 病和甲状腺炎方面表现出高准确性和灵敏度,为临床医师提供了快速、准确的辅助诊断工具。

总体而言,AI 技术在医学超声诊断中的应用价值已在多个临床领域得到证实,在不同的疾病类型中均展现出其高效、准确的学习性能,为医学疾病辅助诊断提供了重要的技术支持。无论是在结节病灶的分类、淋巴结转移的预测,还是心血管及妇产科疾病的诊断、临床参数预测中,随着技术的不断进步,AI 将在未来的临床实践中发挥更加关键的作用。

2 AI 在不同数据类型超声诊断的应用

在临床实践中,超声检查类型多样,不仅包括传统的二维超声,还涵盖了多普勒血流检测、三维超声检查等高级技术。这些衍生技术为疾病的诊断提供了更为丰富的信息。然而,实际的超声图像采集是一个复杂的过程,需要从动态的超声检查视频中提取关键信息,这对 AI 技术的应用提出了更高的要求。AI 技术在常规二维超声图像的分析中已经显示出其应用价值,但在多普勒、三维超声、超声视频等更复杂的形式中,其性能是否能够保持甚至超越在二维超声中的表现,仍是一个值得深入探讨的问题。

2.1 三维 三维超声检查,作为一种创新的医学成像技术,通过在传统二维超声图像采集的基础上构建三维图像,能够揭示那些在二维视图中可能被忽视的微小病变,提供更为直观、立体和全面的图像信息,从而在临床诊断中发挥着越来越重要的作用。

Taskén 等^[17]的研究利用三维超声技术,结合

AI 对二尖瓣环平面收缩期运动进行了自动评估。该研究开发的 AI 方法在自动测量二尖瓣环平面收缩期偏移方面表现出了低偏差和低变异性,与临床二维超声心动图的测量相媲美。这一新方法的提出,为围手术期和重症监护病房中的心脏监测提供了强有力的工具,有望成为临床严密监测的新标准。Zhao 等^[18]的研究则在三维超声图像中宫腔粘连的诊断上取得了突破。通过应用四种著名的卷积神经网络(CNN)模型,研究者成功构建了一个二分类模型,并开发了一个基于三维超声图像的宫腔粘连诊断网页。其中,InceptionV3 模型以 94.2% 的灵敏度、99.4% 的精确度、96.8% 的 F1 评分和 97.3% 的准确度表现最为突出。这一成果不仅标志着 AI 技术在三维超声妇科疾病诊断中的重要进展,而且为未来相关研究的深入奠定了坚实的基础。

尽管三维超声检查在医学影像领域具有重要价值,但目前基于 AI 的三维超声研究仍处于起步阶段,相关文献相对匮乏。未来的研究需要进一步探索 AI 在三维超声中的应用,以期在疾病诊断和治疗中发挥更大的作用。随着技术的不断进步和研究的深入,AI 在三维超声领域的应用前景充满期待,有望为临床提供更为精准的诊断支持。

2.2 视频 超声检查作为一种动态的医学成像过程,其图像的获取和解读对于临床诊断至关重要。在静态超声图像的采集中,传统的二维超声往往难以捕捉到动态变化的全貌,而超声图像切面的选取则高度依赖于检查者的主观判断。为了克服这些限制,研究者们正在探索基于超声视频的 AI 辅助诊断模型,以期减少切面选择的主观性并全面获取检查信息。

Luo 等^[19]提出了一种新颖的基于视频的半监督超声甲状腺结节检测框架,该研究显示,该方法在超声视频的甲状腺结节检测中具有出色的表现,为后续研究提供了新的视角。Shunmin 等^[20]通过回顾性数据收集,建立了一种基于超声动态视频和 ACR BI-RADS 特征的乳腺病变 AI 分类模型,并在前瞻性收集的内外外部医院动态超声录像上进行了模型测试。研究结果表明,AI 模型组与经验丰富的医师组在 BI-RADS 类别一致性上($Kappa: 0.82$)高于初级组($Kappa: 0.60$),证实了 AI 模型能够达到经验丰富的超声科医师的诊断水平,满足临床需求。这些研究表明,AI 技术在处理动态超声视频方面,能够提供更为全面和客观的诊断信息,有助于提高诊断的准确性和效率。

2.3 多模态 在临床医学中,疾病的诊断是一个复杂的过程,它依赖于对患者基本信息、病史、临床表

现、影像学检查和血清学检查等多项参数的综合分析。这些多指标的联合应用对于临床医生在广泛的疾病谱中识别特定疾病类型至关重要。因此,仅结合超声图像的 AI 模型(单模态模型),无法满足疾病诊断的实际临床场景需求。相比之下,结合多项指标的 AI 模型(多模态模型)更符合临床疾病的诊断现状,具有更高的临床应用价值,也是该技术未来发展潜力的重要方向。

Peng 等^[21]利用多家医院的超声图像及视频数据,开发了 ThyNet 模型,用于区分甲状腺结节的良恶性。研究表明,该模型判断甲状腺结节良恶性的准确率超过了超声医师,并且在模型辅助下,医师的诊断效率显著提高。Yu 等^[22]的研究中构建了仅基于超声图像的 AI-Nomgram,以及结合超声图像和临床指标的 ClinAI-Nomgram,结果发现包含临床指标的 ClinAI-Nomgram 在鉴别乳腺良恶性肿瘤方面优于 AI-Nomgram (0.847 vs 0.770 , $P < 0.001$),显著提高了乳腺良恶性肿瘤的鉴别能力,与实际良恶性程度具有较好的一致性。Wang 等^[23]开发了三种不同模态的深度学习(DL)模型,进行卵巢病变良恶性的分类,包括仅利用超声图像的单模态模型、使用超声图像和绝经状态作为输入的双模态模型,以及综合了超声图像、绝经状态和血清指标的多模态模型。经过交叉验证及测试后发现,多模态模型的准确率为 93.80%,AUC 为 0.983,优于单模态和双模态模型,表明多模态深度学习模型在卵巢癌诊断中具有较高的预测精度。这些研究表明,AI 技术在结合超声检查和其他指标的多模态模型进行疾病辅助诊断方面具有巨大的潜力和应用价值,能够显著提高诊断的准确性和效率。

3 AI 在不同数据来源超声诊断中的应用

在当前的医学影像分析领域,AI 模型的开发和应用正逐渐成为提高疾病诊断准确性和效率的关键工具。然而,现有模型多依赖于单中心超声图像数据,限制了其在不同临床环境和医院中的适用性。为了克服这一局限,研究者们开始利用多中心的图像数据进行模型的构建和测试,以评估 AI 在多样化环境下的应用价值,并提升模型的普适性。

Namsena 等^[24]回顾性收集了多中心的甲状腺超声图像,比较了 AI 模型与不同经验的超声医师在甲状腺结节良恶性诊断性能上的差异。研究表明,AI 模型在灵敏度方面显著优于放射科医生($P = 0.043$),同时保持了与医生相当的特异度。此外,该研究还发现,经过不同数据集广泛训练的 AI 系统在不同环境下展现出较好的诊断一致性。Liao 等^[25]的多中心研究发现,DL 模型(AUC: 0.945)和

模型辅助的超声医师(AUC: 0.899)的诊断能力显著高于无模型辅助的超声医师(AUC: 0.716, $P < 0.0001$)。DL模型能够识别乳腺病变超声图像中的微妙但信息丰富的元素,显著提高了放射科医师对早期乳腺癌患者的诊断能力,对临床实践具有重要意义。

多中心数据训练的AI模型,能够适用于不同环境下的超声诊断,更加符合临床实际的需求。增加超声图像数据量、丰富数据来源是AI模型适用性提升的关键因素,也是未来研究者需要重视的问题。

4 小结与展望

AI在医学的应用正变得日益广泛,此类研究主要包括两大类:一类由计算机专业的研究者主导进行,研究重点关注算法的创新,另一类主要由临床工作者主导,旨在评估AI这项新兴技术对临床诊疗的应用价值。作为一名临床工作者,熟悉和了解“人工智能是什么,怎样研究人工智能在医学中的应用价值”,是高效进行跨学科合作沟通、严谨科学进行临床研究设计的关键。

AI结合超声在疾病诊断中展现出巨大的潜力,不仅能够提高病变检测的准确性,还能辅助医生进行肿瘤病变的定性分析。在恶性肿瘤的管理中,AI更是展现出其独特的价值,预测肿瘤的转移趋势,评估患者的预后,从而为临床决策提供更为精准的数据支持。研究除了基于静态的二维超声图像进行研究,保留空间信息的三维超声、保留动态信息的超声视频、包含多种可用信息的多模态诊断也逐渐成为研究的关注点。除此之外,多中心研究能够探索模型在不同环境下的应用价值,提升人工智能模型的适用性。

然而,现有研究仍存在局限性,大多数为回顾性研究、样本量不足、忽视了检查过程中可用的动态和空间信息等。此外,超声设备差异导致的模型适用性问题、AI模型不可解释的黑匣子效应、数据安全和隐私保护的挑战,都是现有AI相关研究需要克服的问题。

本综述对同一疾病、同种类型的研究仅选取较新颖、较典型且高质量的文章作为代表性研究,因此未以身体器官或系统进行研究的分类,期待未来不同科室的临床医师能从各自的领域出发进行更深层次的探讨。本文主要以临床医师视角从应用价值层面出发进行总结分析,帮助临床医师快速系统地了解AI这项新兴技术在超声中的应用,因此未对各研究涉及的具体AI技术进行分类总结,期待计算机专业人员能够对研究的专业技术进行进一步的分析。

综上,近年来AI技术在临床领域的应用,尤其是在超声诊断中,已经取得了显著的进展。然而在实际应用中仍面临一些挑战,需要医学与AI研究人员间更高效的跨学科合作,同时也需要不断探索和改进,进行更有实际应用价值的技术创新。基于不同疾病的特性,结合更丰富的数据类型,继续探索AI在全面模拟临床诊疗场景的潜力,以期在提高疾病诊断效率、优化治疗方案、降低医疗成本等方面发挥重要作用。

【参考文献】

- [1] Kaul V, Enslin S, Gross S A. History of artificial intelligence in medicine [J]. *Gastrointest Endosc*, 2020, 92(4): 807-812.
- [2] Castiglioni I, Rundo L, Codari M, et al. AI applications to medical images: From machine learning to deep learning [J]. *Phys Med*, 2021, 83: 9-24.
- [3] Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine [J]. *Metabolism*, 2017, 69s: 36-40.
- [4] Shen YT, Chen L, Yue WW, et al. Artificial intelligence in ultrasound [J]. *Eur J Radiol*, 2021, 139: 109717.
- [5] Bi WL, Hosny A, Schabath MB, et al. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications [J]. *CA Cancer J Clin*, 2019, 69(2): 127-157.
- [6] Xu D, Sui L, Zhang C, et al. The clinical value of artificial intelligence in assisting junior radiologists in thyroid ultrasound: a multicenter prospective study from real clinical practice [J]. *BMC Med*, 2024, 22(1): 293.
- [7] Giourga M, Petropoulos I, Stavros S, et al. Enhancing Ovarian Tumor Diagnosis: Performance of Convolutional Neural Networks in Classifying Ovarian Masses Using Ultrasound Images [J]. *J Clin Med*, 2024, 13(14): 4123.
- [8] Shiyan G, Liqing J, Yueqiong Y, et al. A clinical-radiomics nomogram based on multimodal ultrasound for predicting the malignancy risk in solid hypoechoic breast lesions [J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1256146.
- [9] Wang Y, Tan HL, Duan SL, et al. Predicting central cervical lymph node metastasis in papillary thyroid microcarcinoma using deep learning [J]. *Peer J*, 2024, 12: e16952.
- [10] Zhang MB, Meng ZL, Mao Y, et al. Cervical lymph node metastasis prediction from papillary thyroid carcinoma US videos: a prospective multicenter study [J]. *BMC Med*, 2024, 22(1): 153.
- [11] Kagiya N, Abe Y, Kusunose K, et al. Multicenter validation study for automated left ventricular ejection fraction assessment using a handheld ultrasound with artificial intelligence [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 15359.
- [12] Holste G, Oikonomou EK, Mortazavi BJ, et al. Efficient deep learning-based automated diagnosis from echocardiography with contrastive self-supervised learning [J]. *Commun Med (Lond)*, 2024, 4(1): 133.
- [13] Raimondo D, Raffone A, Aru AC, et al. Application of Deep Learning Model in the Sonographic Diagnosis of Uterine Adenomyosis [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2023, 20(3): 1724.
- [14] Stringer JSA, Pokaprakam T, Prieto JC, et al. Diagnostic Accuracy

肿瘤相关成纤维细胞在肺癌中的作用及免疫相关性的研究进展

The role of tumor-associated fibroblasts in lung cancer and the research progress on their immunological relevance

邓禹¹,任旭东²,冯刚²△

DAENG Yu, RENG Xu-dong, FENG Gang

1. 电子科技大学临床医学院, 四川 成都 610054; 2. 四川科学医学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)胸外科, 四川 成都 610072

【摘要】 肺癌因其发病率和死亡率居高不下,是影响人类生命健康的主要癌症之一。肿瘤相关成纤维细胞(cancer-associated fibroblasts, CAFs)主要来源于肿瘤微环境中被激活的正常成纤维细胞和间充质干细胞,是肿瘤微环境的主要组成部分之一,与肿瘤的发生、发展及治疗有着密切联系,但人们对它们在肺癌代谢中的作用知之甚少。本综述介绍了 CAFs 的来源和标志物及其对肺癌增殖与转移的影响,回顾了其在肺癌发生与 CAFs 的免疫相关性,为肺癌发生发展机制研究及免疫治疗提供新思路。

【关键词】 肿瘤相关成纤维细胞;增殖;转移;免疫;治疗

【中图分类号】 R734.2

【文献标志码】 B

【文章编号】 1672-6170(2025)02-0184-05

近年来,肺癌作为全球范围内最常见的癌症之一,已经成为医学领域的研究热点^[1,2]。在肿瘤微环境中,肿瘤相关成纤维细胞(cancer-associated fibroblasts, CAFs)作为一种重要的细胞类型,被认为在肺癌的发生、发展和转移过程中发挥着重要作用。已有研究表明,肿瘤相关成纤维细胞可以通过分泌细胞因子、调节基质成分、影响肿瘤细胞的增殖和转移等多种途径参与肺癌的发生和发展^[3]。然而,目前关于肿瘤相关成纤维细胞在肺癌中的具体作用机制和免疫相关性方面还存在许多问题和

争议。特别是成纤维细胞在肺癌免疫治疗中的作用机制和影响尚未完全阐明,相关研究仍然较少。因此,深入探究肿瘤相关成纤维细胞在肺癌中的作用及其与免疫相关性的研究,对于揭示肺癌发生和发展的机制,以及指导肺癌的治疗具有重要意义。

1 CAFs 概述

1.1 CAFs 来源及异质性 正常成纤维细胞(normal fibroblasts, NFs)是 CAFs 的主要来源之一,也可由肌成纤维细胞、局部周细胞、纤维细胞甚至脂肪细胞等转化而来^[4]。NFs 可通过肿瘤细胞分泌的

of an Integrated AI Tool to Estimate Gestational Age From Blind Ultrasound Sweeps [J]. *Jama*, 2024, 332(8):649-657.

[15] Liu YS, Lu S, Wang HB, et al. An evaluation of cervical maturity for Chinese women with labor induction by machine learning and ultrasound images[J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2023, 23(1): 737.

[16] Baek HS, Kim J, Jeong C, et al. Deep Learning Analysis with Gray Scale and Doppler Ultrasonography Images to Differentiate Graves' Disease [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2024, 109(11): 2872-2881.

[17] Taskén AA, Berg EA, Grenne B, et al. Automated estimation of mitral annular plane systolic excursion by artificial intelligence from 3D ultrasound recordings [J]. *Artif Intell Med*, 2023, 144: 102646.

[18] Zhao X, Liu M, Wu S, et al. Artificial intelligence diagnosis of intrauterine adhesion by 3D ultrasound imaging: a prospective study [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(4): 2314-2327.

[19] Luo X, Li Z, Xu C, et al. Semi-Supervised Thyroid Nodule Detection in Ultrasound Videos [J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2024, 43(5): 1792-1803.

[20] Qiu S, Zhuang S, Li B, et al. Prospective assessment of breast lesions AI classification model based on ultrasound dynamic videos and ACR BI-RADS characteristics [J]. *Front Oncol*, 2023,

13: 1274557.

[21] Peng S, Liu Y, Lv W, et al. Deep learning-based artificial intelligence model to assist thyroid nodule diagnosis and management: a multicentre diagnostic study [J]. *Lancet Digit Health*, 2021, 3(4): e250-e259.

[22] Yu ZH, Hong YT, Chou CP. Enhancing Breast Cancer Diagnosis: A Nomogram Model Integrating AI Ultrasound and Clinical Factors [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2024, 50(9): 1372-1380.

[23] Wang Z, Luo S, Chen J, et al. Multi-modality deep learning model reaches high prediction accuracy in the diagnosis of ovarian cancer [J]. *Science*, 2024, 27(4): 109403.

[24] Namsena P, Songsaeng D, Keatmanee C, et al. Diagnostic performance of artificial intelligence in interpreting thyroid nodules on ultrasound images: a multicenter retrospective study [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(5): 3676-3694.

[25] Liao J, Gui Y, Li Z, et al. Artificial intelligence-assisted ultrasound image analysis to discriminate early breast cancer in Chinese population: a retrospective, multicentre, cohort study [J]. *EJ Clinica Medicine*, 2023, 60: 102001.

(收稿日期:2024-10-12;修回日期:2024-11-06)

(本文编辑:彭羽)