

人工智能在超声心动图中的应用价值

张明月^{1*}, 李国良², 李 佳^{1#}

¹青海省人民医院心血管超声室, 青海 西宁

²青海大学附属医院肝胆胰外科, 青海 西宁

收稿日期: 2024年3月29日; 录用日期: 2024年4月13日; 发布日期: 2024年12月26日

摘 要

人工智能(Artificial Intelligence, AI)以其卓越的特性, 越来越广泛地运用于临床医疗行业, 特别是心脏疾病的诊断及心功能的评估。超声心动图因其无创伤性、经济性及快速评估性等, 成为临床不可或缺的检查方式。鉴于超声心动图领域复杂的图像生成技术和图像的动态性。本文旨在通过融合AI技术与超声心动图分析系统, 全面概述AI在超声心动图分析上的应用, 并探讨该领域所面临的难题及前景展望。

关键词

人工智能, 超声心动图, 心腔定量技术, 斑点追踪技术

The Application Value of Artificial Intelligence in Echocardiography

Mingyue Zhang^{1*}, Guoliang Li², Jia Li^{1#}

¹Department of Cardiovascular Ultrasound, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining Qinghai

²Department of Hepatopancreatobiliary Surgery, Qinghai University Affiliated Hospital, Xining Qinghai

Received: Mar. 29th, 2024; accepted: Apr. 13th, 2024; published: Dec. 26th, 2024

Abstract

Artificial Intelligence (AI), with its remarkable capabilities, is increasingly being utilized in the clinical medical field, particularly in the diagnosis of heart disease and the assessment of cardiac function. Echocardiography has emerged as an essential clinical examination method due to its non-invasive nature, cost-effectiveness, and rapid evaluation capabilities. Considering the complex image generation techniques and the dynamic nature of images in echocardiography, this article aims

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张明月, 李国良, 李佳. 人工智能在超声心动图中的应用价值[J]. 临床个性化医学, 2024, 3(4): 2120-2125.
DOI: 10.12677/jcpm.2024.34300

to provide a comprehensive overview of the application of AI in echocardiographic analysis by integrating AI technology with echocardiography analysis systems. Furthermore, it seeks to explore the challenges and future prospects within this domain.

Keywords

Artificial Intelligence, Echocardiography, Cardiac Chamber Quantification Technology, Speckle-Tracking Technology

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着 AI 在医疗领域广泛应用,其价值逐渐得到认可,各领域联合 AI 相关研究日益增多。如今, AI 已成为现代医学模式的重要特征之一。在这种大数据模式驱动下,追求效率的最大化的同时要把患者的安全和健康放在首位[1]。作为无创诊断利器,超声心动图能详尽展现心脏的构造与功能状态。传统检查及分析方式耗时费力,且易受检查者主观判断的干扰。引入 AI 技术,能显著提升超声心动图分析的效率与精确度,有效规避了人力分析的局限性。本文综述聚焦于 AI 融合超声心动图的应用对其进展与未来走向进行论述,特别强调了 AI 在自动化识别、心肌功能及瓣膜定量评估中的重要地位。同时,也剖析了该领域面临的难题与潜在的发展路径。可以预见,随着 AI 技术的精进与普及, AI 联合超声心动图在临床实践中的应用潜力将被进一步挖掘和放大。

2. AI 的基本概念与医学中的应用

AI 是计算机科学的一个分支,它企图了解智能的实质,并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器,该领域的研究包括机器学习(Machine Learning, ML)、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。ML 是利用人工建立的计算机算法,寻找影像图像这类输入数据和输出结果之间的特征规律,外推于相似数据集进行验证的一种方法[2]。AI 在医学领域的应用非常广泛, AI 可以通过学习大量的医学影像数据,来识别疾病的特征,从而协助医生进行更精准的诊断;结合临床数据及相关指标预测疾病的发生及预后,帮助患者及医生提前预防疾病及调整治疗方案。在医疗行业, AI 技术的应用范围日益拓展,它能辅助医师提升疾病识别的精准度,加速高效药物的开发,预估疾病发生的可能性,并量身定制治疗策略,全面促进医疗质量与疗效的飞跃。

3. 超声心动图在临床中的价值

超声心动图作为一种无创性的检查方法,是当前各种心血管疾病诊断、预后和随访中最不可或缺的心脏成像方式。超声心动图可以实时观察心脏的结构和功能,对心肌和结构性心脏病进行快速和全面的无创性评估[3]。它可以用于评估心脏手术和介入治疗的效果,如心脏瓣膜置换术、冠状动脉搭桥术、心脏起搏器植入术等,通过帮助医生了解手术前后心脏的结构和功能变化,从而评估手术的效果和预后。超声心动图可以对心脏疾病做出准确诊断,提供左右心室功能评价、肺动脉压的估测、评估瓣膜功能及心内分流[4]。超声心动图作为一种非侵入性的心脏成像技术,因其操作简便、成本低廉、无辐射、易于被患者接受以及高度的安全性,已成为临床上趋于首选的心脏检查方法。

4. AI 在超声心动图中的应用现状与价值

超声心动图检查是心脏成像中唯一的实时成像方式，是心血管疾病诊断和治疗不可或缺的重要检查方法，AI 通过深度学习算法对大量的超声心动图图像进行分析和处理，从而提高疾病的诊断准确性。传统的超声心动图检查需要经验丰富的医生进行操作和解读图像，而 AI 可以自动识别和分析图像，减少操作者的依赖性，降低操作者的技术门槛，可以辅助更多非专业医师，如麻醉科、心内科、急诊重症科医师对超声心动图的基本应用。此外，AI 可以快速处理大量的超声心动图图像，提高工作效率，缩短检查时间，减少患者等待时间[5]。近年来，AI 在医疗领域的应用，无论是为经验不足的初学者提供辅助诊断帮助，还是对具有挑战性的心脏疑难病进行协助评估与诊断都得到了不错的多方面验证与肯定。通过应用 ML 算法实现了人类思维无法得出的效应关系和预测，这不仅仅是通过更准确的测量来减少分析时间，而是建立一个未知的信息簇，这会给影像诊断乃至疾病诊断带来重大意义与价值。

4.1. 全自动心腔定量技术

定量测量心腔的大小是心脏超声诊断的主要依据之一，包括心房及心室大小、主动脉窦部内径及升主动脉宽度、室壁厚度等，临床多采用二维超声心动图测量。诸多文献表明，超声心动图测量可以是自动化的，通过 AI 深度学习算法可以用来代替专家的人类评估。AI 深度学习可以从二维(2D)、组织多普勒(Tissue Doppler, TDI)、脉冲多普勒(Pulse Wave Doppler, PW)和连续波多普勒(Continuous Wave Doppler, CW)图像中识别 18 个标准视图，从而提高了超声心动图诊断的效率。超声心动图深度学习辅助可以降低因为地区差异、检查医师操作不一致等带来的检查数值变异[6]。目前多个超声机器供应商，如飞利浦、西门子、GE 等心脏高端机已纳入自动化定量软件，可进行自动心房、心室定量和射血分数计算。飞利浦 EPIQ Cvx 心血管专用 AI 超声系统包括全面的自动心脏定量技术，可实现超声心动图的自动快速定量，减少人工依赖性。动态心脏模型(Dynamic Heart Model, DHM)三维全自动多心腔定量技术，也可智能识别心腔，自动识别舒张末期和收缩末期，自动描记心内膜边界，并自动分析计算结果。且 DHM 分析结果具有快捷、准确性高且重复性好的优势，具有极大的临床应用前景。在绝大部分临床情况下，这种自动分析过程不需要手动输入，这使得应变分析对初学者更加容易学习[7]。

4.2. 超声心动图联合 AI 对心肌及心功能评估

超声心动图联合 AI 对心肌及心功能的评估技术目前主要包括斑点追踪技术及基于 AI 的心功能评估模型。斑点追踪技术通过计算机追踪心肌超声灰阶斑点来评估心脏机械运动和功能，可获取心脏收缩、舒张功能以及心肌应变和应变率等参数，但超声心动图在确定病因方面存在局限性，传统经胸超声心动图难以评估微妙的心肌结构。在这基础上，Yu 等人[8]基于 AI 的灰度共现矩阵(AI-Based Grayscale Co-occurrence Matrix)研究不同心肌病心肌结构，运用 AI 提供的 5 个参数显示了诊断效果。作者认为，利用超声图像进行基于 AI 的心肌纹理分析是鉴别左心室肥厚病因的有用工具。Narula 等人[9]基于散斑跟踪超声心动图数据的 ML 算法可以对肥厚性心肌病和运动员的心脏进行有效鉴别。

AI 除了对心肌定性的诊断与鉴别有着重要的辅助价值，对于心肌的收缩舒张等活动情况，也有着良好的判别，在心脏功能评估领域，赫兰等[10]利用超声心动图静态视图构建基于深度学习的 AI 模型以自动量化左心室射血分数(Left Ventricular Ejection Fraction, LVEF)，在 1902 例成人超声心动图数据建立模型，通过识别左心室内膜边界和关键点实现功能。左心室分割模型表现良好，内部和外部测试集 Dice 系数均 ≥ 0.90 。该研究虽初步效能一般但左心室分割模型性能良好且有优化空间。Slivnick J A 等人[11]开发用于区域壁运动异常评估的深度学习模型，利用大量经胸超声心动图研究，分为多组数据集，通过心尖视频训练验证卷积神经网络预测局部室壁运动异常。测试中，AI 模型准确性高，与专家和新手医师

对比优势显著。这些技术从不同角度为心肌及心功能评估提供了新方法、新依据,有助于提高心肌病诊断的准确性,辅助经验有限的医师并为非专业医师提供诊断参考,有望在未来进一步提升医疗水平,为患者带来更好的诊疗效果。

4.3. 瓣膜定量技术及 AI 在瓣膜病诊断中的价值

瓣膜介入治疗技术近年来展现出快速的发展态势,特别是在心脏瓣膜疾病的微创治疗领域,该技术进步为那些传统开胸手术风险较高的患者提供了新的治疗选择。现有的利用 AI 模型的 eSie Valve、AIUS、MVN 等软件,可自动或半自动测量分析瓣膜,减少主观影响,提供诊疗信息,为疾病诊断、人工瓣膜假体选择、术前评估具体手术方案等提供全面的解剖和功能信息[4]。技术的不断革新,三维自动化瓣膜量测系统通过智能化算法极大地减少了医生需手动输入的数据量,从而显著缩短了数据分析时间。且研究证实,基于 AI 的自动三维超声方法与 CT 有很高的一致性,并已在手术中得到验证[7] [12]。

基于 AI 的三维全自动瓣膜快速定量,有助于对于瓣膜狭窄,瓣膜脱垂等结构性心脏病的辅助诊断及治疗。Prihadi 等[13]的研究也证实了 AI 软件与三维经食管超声心动图(3D Transesophageal Echocardiography, 3D-TEE)结合对主动脉瓣环和主动脉根部的评估与心脏 CT 测量结果一致性好。3D-TEE 可以从长轴及短轴各个切面进行评估,能够准确找到瓣口狭窄平面,并对主动脉瓣关闭不全(aortic regurgitation, AR)及主动脉狭窄(Aortic Stenosis, AS)进行实时评估。Calleja 等[14]同样应用 3D-TEE 结合 AI 软件自动量化评估 AS 和 AR,与专家评估的结果进行对比表现出色(ICC = 0.99)。此外 Strange G 等[15]对 631,824 名检查者的 108 万份超声心动图图像使用 AI 决策支持算法(AI-Decision Support Algorithm, AI-DSA),可以准确识别与不良生存相关的 AS 的超声心动图测量特征。在常规临床实践中使用该模型可以改善严重 AS 病例的快速识别,并更及时地转诊治疗。

此外 AI 软件通过对二尖瓣环的解剖和血流动力学信息进行自动分析,可以在一定程度上判断病因,区分器质性二尖瓣反流和功能性二尖瓣反流。AI 软件还可以辅助初学者进行二尖瓣脱垂的诊断。二尖瓣三维 AI 自动化分析软件可自动识别二尖瓣结构,动态追踪,并自动分析生成三维二尖瓣参数图[16]。AI 软件的出现并与三维成像相结合又为各种二尖瓣疾病的诊断提供了新的思路。Brown K 等[17]的研究用 511 张儿童超声心动图,采用卷积神经网络的方法,识别左心房、分析二尖瓣反流及二尖瓣血流流速,有效检测潜伏性风湿性心脏病(Rheumatic Heart Disease, RHD),其结果测量值与专家相似。随着数据增加 AI 对瓣膜的诊断会不断准确,相关创新方法可扩大 RHD 超声心动图筛查规模,为早期发现和防治 RHD 提供新途径和有力工具。3D-TEE 具有良好应用前景,AI 与 3D-TEE 的融合将助力超声心动图更好用于临床,促进心脏疾病诊疗水平提升[18]。

4.4. AI 运用于先天性心脏病诊断

在先天性心脏病的传统诊断模式下,专业医生的洞察力与临床经验是诊断流程的基石。当面对症状模糊、病情复杂的特殊情况时,纯粹依赖个人判断的模式会增加误诊与漏诊的风险,对更精准、系统化诊断工具的需求。AI 不仅可以通过分析超声心动图等图像数据,自动识别先天性心脏病的特征和病变,提高诊断的准确性和效率。还可以通过对大量的病例数据进行学习和分析,预测先天性心脏病的发生风险,并提供个性化的治疗建议。首都医科大学附属北京安贞医院小儿心脏中心对 AI 辅助诊断房间隔缺损(Atrial Septal Defect, ASD)进行了回顾性研究,得出 AI 可以提高超声心动图 ASD 的诊断率[19]。Diller 等[20]利用 AI 深度学习法对法洛四联症患者心脏 MRI 图像进行自动分割和测量,得到相应的参数用来预测中远期的死亡,发现自动测得的右心房平均面积和右心室纵向应变是预后的重要预测因子,如果右心房间面积增大和右心室纵向应变下降,风险就会显著增加。AI 可以帮助非专业医生对先天性心脏病做出协

助性诊断及提供一些有价值的诊断帮助。

5. 总结与展望

AI 可以提高超声心动图检查的速度、准确性、再现性及可重复性,使医师检查操作过程自动化,协助非专业医师如急诊、麻醉及心内科医师进行一些超声心动图诊断,通过部分替代人工诊断,简化工作流程,缓解临床医师的工作压力。AI 加持无疑为医疗场景带来了前所未有的便捷,但基于超声心动图复杂的多视图格式,以及对图像采集和分析的人工技能的需求,目前缺乏机器对图像的识别、阅读和报告的可信程度,是未来需要解决的尚未解决的重要问题。机器在图像辨识、解读及生成报告方面的可靠性尚显不足,这一现实障碍尤为突显于日常诊疗实践之中。类似三维超声心动图和散斑追踪这样的前沿成像方案,虽然旨在促进日常工作自动化,却因高昂的学习成本和不够直观友好的操作系统而未能充分发挥效用。AI 应用于常规临床超声心动图还远未广泛实施,这可能需要时间、投资、更广阔的视野和对 AI 的信任[21]。如何在现有的临床工作流程中合理应用 AI,将 AI 融入现有的临床工作流程值得深思与探讨。尽管全然替代超声诊断医师的可能性微乎其微,但 AI 协同医生共建的联合诊疗模式注定将成为不可逆转的行业前景。

参考文献

- [1] Oikonomou, E.K., Siddique, M. and Antoniadou, C. (2020) Artificial Intelligence in Medical Imaging: A Radiomic Guide to Precision Phenotyping of Cardiovascular Disease. *Cardiovascular Research*, **116**, 2040-2054. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa021>
- [2] Seetharam, K., Kagiya, N. and Sengupta, P.P. (2019) Application of Mobile Health, Telemedicine and Artificial Intelligence to Echocardiography. *Echo Research & Practice*, **6**, R41-R52. <https://doi.org/10.1530/erp-18-0081>
- [3] Iskander, J., Kelada, P., Rashad, L., Massoud, D., Afdal, P. and Abdelmassih, A.F. (2022) Advanced Echocardiography Techniques: The Future Stethoscope of Systemic Diseases. *Current Problems in Cardiology*, **47**, Article 100847. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2021.100847>
- [4] Wharton, G., Steeds, R., Allen, J., Phillips, H., Jones, R., Kanagala, P., et al. (2015) A Minimum Dataset for a Standard Adult Transthoracic Echocardiogram: A Guideline Protocol from the British Society of Echocardiography. *Echo Research & Practice*, **2**, G9-G24. <https://doi.org/10.1530/erp-14-0079>
- [5] 刘梦怡, 吴伟春. 人工智能在超声心动图中的应用现状及进展[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2021, 18(2): 216-219.
- [6] 徐淳, 刘巧红. 基于改进的 EfficientNet 的超声心动图标准切面识别算法研究[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(5): 93-100.
- [7] 马春燕. 超声心动图自动定量新技术进展[J]. 中国临床医学影像杂志, 2023, 34(12): 533-534.
- [8] Yu, F., Huang, H., Yu, Q., Ma, Y., Zhang, Q. and Zhang, B. (2021) Artificial Intelligence-Based Myocardial Texture Analysis in Etiological Differentiation of Left Ventricular Hypertrophy. *Annals of Translational Medicine*, **9**, 108. <https://doi.org/10.21037/atm-20-4891>
- [9] Narula, S., Shameer, K., Salem Omar, A.M., Dudley, J.T. and Sengupta, P.P. (2016) Machine-Learning Algorithms to Automate Morphological and Functional Assessments in 2D Echocardiography. *Journal of the American College of Cardiology*, **68**, 2287-2295. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.08.062>
- [10] 赫兰, 路洋, 夏志刚, 等. 基于深度学习的人工智能模型自动量化超声心动图左心室射血分数初步探索[J]. 实用临床医药杂志, 2024, 28(9): 9-14.
- [11] Slivnick, J.A., Gessert, N.T., Cotella, J.I., Oliveira, L., Pezzotti, N., Eslami, P., et al. (2024) Echocardiographic Detection of Regional Wall Motion Abnormalities Using Artificial Intelligence Compared to Human Readers. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **37**, 655-663. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2024.03.017>
- [12] 赵洪泽. 实时三维经食管超声与多排螺旋 CT 在经导管主动脉瓣置换术前主动脉根部形态学评估中的对比分析[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 中国医科大学, 2021.
- [13] Prihadi, E.A., van Rosendaal, P.J., Vollema, E.M., Bax, J.J., Delgado, V. and Ajmone Marsan, N. (2018) Feasibility, Accuracy, and Reproducibility of Aortic Annular and Root Sizing for Transcatheter Aortic Valve Replacement Using Novel Automated Three-Dimensional Echocardiographic Software: Comparison with Multi-Detector Row Computed

- Tomography. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **31**, 505-514.e3. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.10.003>
- [14] Calleja, A., Thavendiranathan, P., Ionasec, R.I., Houle, H., Liu, S., Voigt, I., *et al.* (2013) Automated Quantitative 3-Dimensional Modeling of the Aortic Valve and Root by 3-Dimensional Transesophageal Echocardiography in Normals, Aortic Regurgitation, and Aortic Stenosis: Comparison to Computed Tomography in Normals and Clinical Implications. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, **6**, 99-108. <https://doi.org/10.1161/circimaging.112.976993>
- [15] Strange, G., Stewart, S., Watts, A. and Playford, D. (2023) Enhanced Detection of Severe Aortic Stenosis via Artificial Intelligence: A Clinical Cohort Study. *Open Heart*, **10**, e002265. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2023-002265>
- [16] Gahungu, N., Trueick, R., Bhat, S., Sengupta, P.P. and Dwivedi, G. (2020) Current Challenges and Recent Updates in Artificial Intelligence and Echocardiography. *Current Cardiovascular Imaging Reports*, **13**, Article No. 5. <https://doi.org/10.1007/s12410-020-9529-x>
- [17] Brown, K., Roshanibrizi, P., Rwebembera, J., Okello, E., Beaton, A., Linguraru, M.G., *et al.* (2024) Using Artificial Intelligence for Rheumatic Heart Disease Detection by Echocardiography: Focus on Mitral Regurgitation. *Journal of the American Heart Association*, **13**, e031257. <https://doi.org/10.1161/jaha.123.031257>
- [18] 邢园园, 薛红元, 叶玉泉. 基于人工智能三维超声心动图评价心脏功能和疾病的研究进展[J]. 疑难病杂志, 2022, 21(6): 646-650.
- [19] 李文秀, 罗涛, 张文静, 武兴坤, 刘爱军, 司锐, 苏俊武. 人工智能辅助诊断技术在超声心动图诊断房间隔缺损中的应用研究[J]. 中国医药, 2022, 17(2): 274-277.
- [20] Diller, G.P., Orwat, S., Vahle, J., Bauer, U.M.M., Urban, A., Sarikouch, S., *et al.* (2020) Prediction of Prognosis in Patients with Tetralogy of Fallot Based on Deep Learning Imaging Analysis. *Heart*, **106**, 1007-1014. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2019-315962>
- [21] Dell'Angela, L. and Nicolosi, G.L. (2022) Artificial Intelligence Applied to Cardiovascular Imaging, a Critical Focus on Echocardiography: The Point-of-View from "The Other Side of the Coin". *Journal of Clinical Ultrasound*, **50**, 772-780. <https://doi.org/10.1002/jcu.23215>