

肿瘤患者化疗后心肌改变的超声检测：现状与前景

林 肖, 赵 怀*

重庆大学附属肿瘤医院超声科, 重庆

收稿日期: 2025年2月17日; 录用日期: 2025年3月9日; 发布日期: 2025年3月17日

摘 要

近年来, 肿瘤患者在接受化疗后所出现的心肌改变引起了临床和研究者的广泛关注。化疗药物的心脏毒性不仅影响患者的生活质量, 还可能影响其肿瘤治疗的效果, 因此深入了解其机制和影响至关重要。超声作为一种无创、实时的影像学检查手段, 能够有效评估心肌功能和结构变化, 为监测化疗后心肌改变提供了重要的技术支持。目前的研究显示, 超声检测在早期识别心肌损伤、评估心功能以及指导临床管理方面具有重要价值。尽管超声技术在临床应用中取得了一定的进展, 仍存在标准化评估方法不足、不同化疗药物引起的心肌改变机制缺乏深入探讨等问题。本文旨在综述肿瘤化疗对心肌的影响、超声检测的应用现状及最新研究成果, 以探讨超声在监测化疗后心肌改变中的潜力及其未来发展方向, 为临床实践提供参考。

关键词

肿瘤, 化疗, 心肌改变, 超声检测

Ultrasonic Detection of Myocardial Changes in Tumor Patients after Chemotherapy: Current Situation and Prospect

Xiao Lin, Huai Zhao*

Department of Ultrasound, Affiliated Cancer Hospital of Chongqing University, Chongqing

Received: Feb. 17th, 2025; accepted: Mar. 9th, 2025; published: Mar. 17th, 2025

Abstract

In recent years, the myocardial changes observed in cancer patients after chemotherapy have attracted

*通讯作者。

widespread attention from clinicians and researchers. The cardiotoxicity of chemotherapy drugs not only affects the quality of life of patients, but may also impact the effectiveness of their cancer treatment, making it crucial to gain a deeper understanding of its mechanisms and effects. Ultrasound, as a non-invasive and real-time imaging examination method, can effectively assess myocardial function and structural changes, providing important technical support for monitoring myocardial changes after chemotherapy. Current research shows that ultrasound detection has significant value in the early identification of myocardial injury, assessment of cardiac function, and guidance of clinical management. However, despite some progress in the clinical application of ultrasound technology, there are still issues, such as insufficient standardized assessment methods and a lack of in-depth exploration of the mechanisms of myocardial changes caused by different chemotherapy drugs. This article aims to review the impact of cancer chemotherapy on the myocardium, the current application status of ultrasound detection, and the latest research findings, in order to explore the potential of ultrasound in monitoring myocardial changes after chemotherapy and its future development directions, providing a reference for clinical practice.

Keywords

Tumor, Chemotherapy, Myocardial Changes, Ultrasonic Detection

Copyright © 2025 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

肿瘤化疗是一种常见且必要的治疗手段,广泛应用于各种恶性肿瘤患者的治疗中。尽管化疗能够有效抑制肿瘤细胞的生长,延长患者的生存期,但其副作用也不容忽视,尤其是产生的心脏毒性。心脏毒性可能导致心衰、心律失常等严重后果,直接影响患者的生活质量和生存预后[1][2]。在化疗中,使用蒽环类药物如多柔比星时,心脏毒性发生的风险显著增加,故而化疗后对心肌功能监测成为临床治疗中不可或缺的一部分。

心脏毒性发生机制复杂,主要包括氧化应激、炎症反应和细胞凋亡等多种途径。研究表明,化疗药物通过产生活性氧(ROS)、引发炎症反应以及影响心肌细胞的存活信号通路等方式,导致心肌细胞损伤和功能障碍[3][4]。因此,了解化疗药物的心脏毒性机制,有助于制定有效的预防和治疗策略,降低心脏并发症的发生率。

超声心动图作为一种安全、无创且可重复的心脏评估工具,在肿瘤患者化疗后的心肌改变监测中具有重要的应用价值。超声不仅能够实时观察心脏结构和功能的变化,还可以通过评估心肌应变等新指标,早期发现心脏毒性的发生[5]。随着超声技术的发展,特别是三维超声和斑点追踪技术的应用,使得对心肌功能的评估更加精确,为临床提供了更为可靠的依据。未来,超声技术的进一步发展和应用,将为肿瘤患者的心脏监测提供更好的解决方案,从而改善患者的预后和生活质量。

2. 化疗药物对心肌的影响机制

2.1. 心脏毒性药物的分类

化疗药物的心脏毒性是一个重要的临床问题。根据药物的作用机制和临床表现,心脏毒性药物主要可以分为几类。首先,蒽环类药物,如多柔比星(doxorubicin),被广泛应用于多种癌症的治疗,但其心脏

毒性表现为剂量依赖性, 可能导致心肌病和心力衰竭[6]。其次, 靶向药物类, 如酪氨酸激酶抑制剂, 也被发现与心脏毒性相关, 增加心血管事件的风险[7]。此外, 氟嘧啶类药物, 如 5-氟尿嘧啶, 也显示出心脏毒性, 机制可能涉及冠状动脉痉挛和内皮损伤[8]。这些药物的心脏毒性不仅影响患者的生存质量, 还可能限制其癌症治疗的选择, 因此了解不同药物的心脏毒性特征对于临床管理至关重要。

2.2. 细胞凋亡与心肌损伤

细胞凋亡是化疗药物引起心肌损伤的一个重要机制。在化疗过程中, 心肌细胞的凋亡可能通过多种途径发生, 包括氧化应激、线粒体功能障碍和炎症反应等。例如, 蒽环类药物通过增加活性氧(ROS)水平, 激活细胞凋亡通路, 导致心肌细胞的死亡[9]。研究表明, 心肌细胞在接受化疗药物后, 常常表现出凋亡相关蛋白(如 caspase-3)的激活, 这进一步导致心肌功能的下降[10]。此外, 心肌细胞的凋亡与心脏的重塑和功能不全密切相关, 因此, 针对凋亡途径的干预可能为减少化疗引起的心脏损伤提供新的治疗策略。

2.3. 炎症反应与心肌功能障碍

炎症反应在化疗引起的心肌损伤中扮演着重要角色。化疗药物可以诱导心肌细胞释放多种促炎因子, 如 $\text{TNF-}\alpha$ 和 IL-6 , 这些因子不仅促进心肌细胞的凋亡, 还可能导致心脏功能的障碍[11]。研究显示, 炎症反应通过激活 NLRP3 炎症小体和促炎信号通路, 加剧心脏的损伤和功能障碍[12]。因此, 针对炎症反应的治疗, 如使用抗炎药物或调节免疫反应的策略, 可能有助于改善化疗患者的心脏健康, 降低心脏毒性风险。通过有效的炎症管理, 可以在一定程度上保护心肌功能, 改善患者的预后。

3. 超声检测心肌改变的技术基础

3.1. 超声心动图的基本原理

超声心动图(Echocardiography)是一种利用高频声波成像技术来评估心脏结构和功能的无创性检查方法。其基本原理是通过超声波发射器发出声波, 这些声波在遇到心脏组织时会被反射回来, 形成回声。超声仪器将这些回声转换为图像, 医生可以通过这些图像观察心脏的形态、运动和血流情况。超声心动图能够提供实时的心脏功能评估, 包括左心室的射血分数(LVEF)、心室壁运动以及心脏的解剖结构等信息。近年来, 随着技术的进步, 二维超声、三维超声和组织多普勒成像等新技术的应用, 使得超声心动图在肿瘤患者化疗后心肌改变的检测中变得更加精准和全面[13]。

3.2. 组织多普勒成像技术

组织多普勒成像(Tissue Doppler Imaging, TDI)是一种用于评估心肌运动和功能的超声技术, 能够提供心肌速度和应变的定量分析。该技术通过分析心肌组织的运动速度, 帮助医生评估心脏的收缩和舒张功能。TDI 在检测化疗引起的心肌损伤方面具有重要价值, 能够早期识别心脏功能的微小变化。例如, 研究表明, TDI 能够比传统的 LVEF 更早地检测到心肌损伤, 尤其是在接受化疗的乳腺癌患者中, TDI 的应用可以帮助医生及时调整治疗方案以降低心脏毒性风险[14]。此外, TDI 还可以与其他心脏功能指标结合使用, 以提高对心脏功能变化的敏感性和特异性。

3.3. 三维超声心动图的应用

三维超声心动图(3D Echocardiography)是一种新兴的超声成像技术, 能够提供更为直观和全面的心脏结构和功能评估。与传统的二维超声相比, 三维超声可以更好地展示心脏的复杂解剖结构, 特别是在评估瓣膜病和先天性心脏病方面具有显著优势。在肿瘤患者化疗后的心肌改变检测中, 三维超声能够更精确地测量心室体积、心室壁运动和心肌应变, 帮助医生更好地评估心脏的整体功能和局部功能变化[15]。

研究显示, 三维超声在监测化疗相关心脏功能变化方面具有良好的前景, 能够为临床决策提供更为可靠的依据。随着技术的不断进步, 三维超声心动图在心脏病学中的应用将会越来越广泛。

3.4. 多模态超声的应用

多模态超声技术是将多种超声成像技术结合应用, 以提高诊断的准确性和全面性。在肿瘤患者的评估中, 多模态超声技术可以结合常规超声、对比增强超声(CEUS)、剪切波弹性成像(SWE)等多种超声技术, 提供更为详尽的信息。能够更全面、准确地评估心肌的结构和功能变化。通过这些技术, 医生可以在化疗过程中实时监测心脏的动态变化, 从而为临床决策提供更有力的支持[16]。

3.5. 超声技术的局限性

化疗后心肌改变的超声检测是一个重要的临床问题, 尤其是在接受了蒽环类药物化疗的患者中[17]。弥漫性大 B 细胞淋巴瘤(DLBCL)患者常因化疗引起心脏损伤而导致预后不良, 其中左心室舒张功能障碍通常较早显现。传统超声技术在评估这些变化时存在一定的局限性, 例如对早期微小变化的敏感性不足, 准确性和敏感性受到限制。研究表明, 传统超声参数可能无法充分反映左心室舒张功能的细微变化。例如, 在一项针对 54 名接受过至少 4 个周期蒽环类药物化疗的 DLBCL 患者的研究中, 使用向量流映射(VFM)技术发现, 该技术能够更好地捕捉到舒张期各阶段能量损失及室内压差变化, 从而提供比传统超声更为敏感的信息[18]。进一步分析显示, VFM 参数与传统舒张功能参数之间存在显著相关性, 并且对早期舒张功能变化具有更高的敏感度。这种新兴技术不仅能够揭示化疗前后左心室舒张功能的差异, 还可能为临床提供新的评估工具, 以改善 DLBCL 患者的管理策略。因此, 将 VFM 与传统超声结合使用, 有望提高对心肌改变监测的准确性。这些新技术有潜力改善我们对心脏功能状态的理解, 从而为患者提供更好的治疗方案和预后评估。

4. 化疗后心肌改变的超声表现

4.1. 左心室功能评估

化疗后, 肿瘤患者的左心室功能可能受到显著影响, 超声心动图是评估这些变化的重要工具。研究表明, 化疗药物如蒽环类药物可能导致左心室收缩功能的下降, 表现为左心室射血分数(LVEF)的降低。通过二维超声心动图, 可以定量评估左心室的体积和功能, 进而判断心脏的整体健康状况。例如, 超声可以通过测量左心室的舒张末期体积和收缩末期体积, 计算出 LVEF, 从而评估心脏的泵血能力。此外, 组织多普勒成像(TDI)也可以用来评估左心室的舒张功能, 提供更全面的心功能评估信息。相关研究显示, 化疗后患者的 LVEF 与心脏功能障碍的风险呈负相关, 因此定期进行超声评估对于早期发现心功能变化至关重要[19]。

4.2. 心肌厚度与几何形态变化

化疗对心肌的影响不仅限于功能, 还包括心肌的几何形态和厚度变化。超声心动图能够有效评估心肌的厚度及其几何形态的变化, 例如心室间隔和左心室后壁的厚度。研究显示, 化疗后, 患者的左心室壁厚度可能会增加, 特别是在接受高剂量化疗的患者中, 心肌肥厚的发生率显著提高。这种变化可能与心肌细胞的损伤和重塑过程有关, 导致心室几何形态的改变, 如心室扩张或收缩功能不全。超声心动图的二维成像技术可以清晰地显示这些结构变化, 并为临床医生提供重要的诊断依据, 以便及时采取干预措施, 防止进一步的心脏损害[20]。

4.3. 心肌灌注与缺血表现

化疗后, 心肌灌注的变化也是评估心脏健康的重要指标。超声心动图能够通过多种模式评估心肌灌

注情况, 包括使用超声造影剂进行的灌注成像。研究表明, 化疗患者可能出现心肌灌注不足或缺血的表现, 尤其是在存在冠状动脉疾病风险因素的患者中。心肌灌注的不足通常表现为心肌的运动异常或心室功能的下降, 这些变化可以通过超声心动图的运动成像技术进行监测。此外, 心肌灌注的评估还可以帮助识别那些可能需要进一步干预的患者, 以改善其心脏功能和生活质量。超声心动图在监测化疗后心肌灌注变化方面的应用, 能够为临床提供早期预警, 帮助制定个性化的治疗方案[21]。

5. 肿瘤患者化疗后心肌改变的最新超声研究成果与临床应用

5.1. 近年来相关临床研究综述

近年来, 针对肿瘤患者化疗后心肌改变的研究逐渐增多, 尤其是心脏超声在评估心肌功能方面的应用。通过超声心动图(Echocardiography)进行的多项研究显示, 全球纵向应变(GLS)作为一种敏感的指标, 可以早期检测到心脏功能的变化。一项研究发现, 在接受化疗的患者中, GLS 的变化与左心室射血分数(LVEF)之间存在显著相关性, 表明 GLS 可以作为评估心脏毒性的潜在生物标志物[19]。此外, 另一项研究通过对比化疗前后的心脏超声结果, 发现心肌应变参数的变化能够有效预测心脏毒性的发生[22]。这些研究为临床提供了重要的参考依据, 强调了超声在监测化疗患者心肌改变中的重要性。

5.2. 超声在早期检测心肌改变中的应用

超声心动图在早期检测心肌改变方面显示出良好的应用前景。通过评估心肌的形态和功能, 超声可以在心功能尚未明显下降时, 识别出潜在的心肌损伤。例如, 研究表明, 使用 Speckle Tracking Echocardiography (STE)技术能够检测到心肌局部和整体的应变变化, 这在传统的超声评估中可能被忽视[23]。此外, STE 能够独立于超声角度和距离的变化, 提供更准确的心肌应变参数, 这对于早期识别心脏毒性至关重要。临床上, 通过定期进行超声检查, 能够及时发现心肌功能的微小变化, 从而为患者提供早期干预的机会, 改善预后。

5.3. 结合生物标志物的超声评估方法

结合生物标志物的超声评估方法为心肌改变的检测提供了新的视角。近年来的研究表明, 心脏超声与生物标志物联合使用, 可以提高心脏毒性检测的准确性。例如, 研究发现, 结合超声心动图与心肌损伤标志物的检测, 能够更有效地识别化疗引起的心肌损伤[24]。这种方法不仅能够提高早期诊断的灵敏度, 还可以为临床提供更全面的心脏健康评估。此外, 随着生物标志物技术的进步, 未来可能会开发出更多针对特定心脏病理状态的标志物, 进一步增强超声评估的临床应用价值。这些研究结果为肿瘤患者在化疗期间的心脏监测提供了新的思路和方法, 有助于实现个体化的治疗方案。

5.4. 结合其他影像学技术的超声评估方法

5.4.1. 磁共振成像(MRI)与超声的互补性

磁共振成像(MRI)与超声在心肌评估中具有显著的互补性。MRI 能够提供高分辨率的软组织成像, 尤其在评估心脏结构和功能方面具有独特优势。研究表明, MRI 的原生 T1 和 T2 值在检测和监测胸部放疗后早期心肌损伤方面表现出良好的能力[24]。相比之下, 超声则是一种无创、实时的成像技术, 适用于动态监测心脏功能。超声能够快速评估心室的收缩和舒张功能, 并且在临床实践中更为普遍。通过结合 MRI 的高分辨率成像与超声的动态监测, 临床医生可以更全面地评估肿瘤患者在化疗后的心肌改变。这种多模态影像学方法不仅提高了心肌损伤的检测率, 还为制定个体化的治疗方案提供了重要依据。

5.4.2. CT 成像在心肌评估中的应用

计算机断层扫描(CT)在心肌评估中也具有重要的应用价值。CT 成像能够提供心脏解剖结构的详细信

息,尤其在评估冠状动脉疾病和心脏肿瘤方面表现突出。CT 冠状动脉成像(CTA)可以无创地评估冠状动脉的狭窄和堵塞情况,为心肌缺血的诊断提供了重要支持。此外,CT 还能够帮助识别化疗引起的心肌纤维化和其他结构性改变,这些信息对于评估患者的心脏健康状况至关重要。结合 CT 与超声的多模态评估,可以更全面地了解心肌在化疗后的变化,进而优化患者的治疗方案。

6. 超声检测的未来发展方向

6.1. 新技术的引入与应用前景

超声检测技术在肿瘤患者化疗后的心肌改变监测中,随着新技术的不断引入,展现出广阔的应用前景。例如,超声波技术的进步使得心脏超声成像的分辨率和准确性显著提高,这对于早期发现心肌损伤至关重要。新型超声成像模式如矢量流成像(Vector Flow Imaging)能够提供血流速度和方向的定量数据,从而更好地评估心脏的血流动力学变化,这对化疗后心肌改变的检测尤为重要[25]。此外,超分辨率超声成像技术的出现,使得微血管的非侵入性检测成为可能,这对于监测肿瘤相关心肌改变提供了新的视角[26]。随着这些新技术的不断发展,未来超声检测将在肿瘤患者的心脏监测中发挥越来越重要的作用。

6.2. 结合人工智能的超声分析

人工智能(AI)在超声检测中的应用正在迅速发展,尤其是在心脏监测领域。通过深度学习和机器学习算法,AI 能够对超声图像进行自动化分析,识别心肌损伤的早期迹象,提升诊断的准确性和效率[27]。AI 也可以通过分析大量的超声图像数据,自动识别出心脏结构的异常变化,从而帮助医生作出更快的决策。此外,AI 还可以在超声图像质量控制方面发挥作用,自动识别出低质量的图像并提出改进建议,以确保最终结果的可靠性[28]。结合 AI 的超声分析不仅提高了检测效率,还为个性化治疗方案的制定提供了数据支持,展现出巨大的临床应用潜力。

6.3. 多学科合作在心脏监测中的重要性

在肿瘤患者化疗后的心肌监测中,多学科合作显得尤为重要。心脏病学、肿瘤学、影像学及人工智能等领域的专家共同合作,可以实现对患者心脏状况的全面评估。通过整合不同学科的知识和技术,能够更好地理解化疗对心肌的影响,并制定更为有效的监测和干预策略。例如,心脏病学专家可以提供心脏功能的临床评估,而影像学专家则可以利用超声技术进行实时监测,AI 技术则可以帮助分析和解读复杂的数据[29]。这种跨学科的合作不仅提高了监测的准确性,还为患者提供了更为全面的治疗方案,最终改善患者的预后。因此,推动多学科合作将是未来心脏监测领域的重要发展方向。

然而,以上新技术可能面临一些挑战,比如 AI 在超声检测中数据集的质量和数量直接影响模型的训练效果,因此需要大量高质量标注数据来支持 AI 算法的发展。此外,不同设备之间的数据标准化也是一个亟待解决的问题,以确保 AI 模型在不同临床环境中的适用性和可靠性。此外,对医务人员进行相应培训,使其能够理解和信任 AI 辅助诊断结果,也是推广这一技术的重要步骤。为了充分发挥这一技术的潜力,需要克服数据、标准化及培训等方面的挑战,以推动其在临床实践中的广泛应用。

7. 小结

众所周知,化疗药物在治疗肿瘤方面发挥了重要作用,但它们对心脏的潜在毒性不容忽视。因此,了解化疗对心肌的影响,不仅对肿瘤治疗的效果评估至关重要,也为临床心脏健康管理提供了重要依据。

超声影像学技术在监测化疗后心肌改变中展现出显著的优势。通过定期的超声检查,医生能够及时发现心肌功能的变化,从而采取相应的预防和干预措施。这种早期监测手段不仅能够提高对心肌损伤的

警觉性, 还能为个性化的治疗方案提供数据支持, 确保患者在接受化疗的同时, 尽可能维持心脏的健康。结合新兴的生物标志物和影像学技术, 有必要建立更为全面的心脏健康监测体系。通过跨学科的合作, 整合肿瘤学和心脏病学专业知识, 可以更好地促进肿瘤患者的心脏健康管理与维护。

参考文献

- [1] Guan, J., Bao, W., Xu, Y., Yang, W., Li, M., Xu, M., *et al.* (2021) Assessment of Myocardial Work in Cancer Therapy-Related Cardiac Dysfunction and Analysis of CTRCD Prediction by Echocardiography. *Frontiers in Pharmacology*, **12**, Article 770580. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.770580>
- [2] Kersting, D., Mavroei, I., Settellemeier, S., Seifert, R., Schuler, M., Herrmann, K., *et al.* (2023) Molecular Imaging Biomarkers in Cardiooncology: A View on Established Technologies and Future Perspectives. *Journal of Nuclear Medicine*, **64**, 29S-38S. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122.264868>
- [3] Abdul-Rahman, T., Dunham, A., Huang, H., Bukhari, S.M.A., Mehta, A., Awuah, W.A., *et al.* (2023) Chemotherapy Induced Cardiotoxicity: A State of the Art Review on General Mechanisms, Prevention, Treatment and Recent Advances in Novel Therapeutics. *Current Problems in Cardiology*, **48**, Article ID: 101591. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2023.101591>
- [4] Zhao, X., Tian, Z., Sun, M. and Dong, D. (2023) Nrf2: A Dark Horse in Doxorubicin-Induced Cardiotoxicity. *Cell Death Discovery*, **9**, Article No. 261. <https://doi.org/10.1038/s41420-023-01565-0>
- [5] Xu, Y., Qu, X., Zhou, J., Lv, G., Han, D., Liu, J., *et al.* (2021) Pilose Antler Peptide-3.2KD Ameliorates Adriamycin-Induced Myocardial Injury through TGF- β /SMAD Signaling Pathway. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article 659643. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.659643>
- [6] Podyacheva, E., Shmakova, T., Kushnareva, E., Onopchenko, A., Martynov, M., Andreeva, D., *et al.* (2022) Modeling Doxorubicin-Induced Cardiomyopathy with Fibrotic Myocardial Damage in Wistar Rats. *Cardiology Research*, **13**, 339-356. <https://doi.org/10.14740/cr1416>
- [7] Oikonomou, E., Anastasiou, M., Siasos, G., Androulakis, E., Psyrri, A., Toutouzas, K., *et al.* (2019) Cancer Therapeutics-Related Cardiovascular Complications. Mechanisms, Diagnosis and Treatment. *Current Pharmaceutical Design*, **24**, 4424-4435. <https://doi.org/10.2174/1381612825666190111101459>
- [8] Li, S., Liu, H., Lin, Z., Li, Z., Chen, Y., Chen, B., *et al.* (2022) Isoorientin Attenuates Doxorubicin-Induced Cardiac Injury via the Activation of MAPK, Akt, and Caspase-Dependent Signaling Pathways. *Phytomedicine*, **101**, Article ID: 154105. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.154105>
- [9] Khairnar, S.I., Kulkarni, Y.A. and Singh, K. (2022) Cardiotoxicity Linked to Anticancer Agents and Cardioprotective Strategy. *Archives of Pharmacal Research*, **45**, 704-730. <https://doi.org/10.1007/s12272-022-01411-4>
- [10] Shi, H., Duan, L., Tong, L., Pu, P., Wei, L., Wang, L., *et al.* (2024) Research Progress on Flavonoids in Traditional Chinese Medicine to Counteract Cardiotoxicity Associated with Anti-Tumor Drugs. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, **25**, Article No. 74. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2503074>
- [11] Wang, Y., Lu, Y., Chen, W. and Xie, X. (2023) Inhibition of Ferroptosis Alleviates High-Power Microwave-Induced Myocardial Injury. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **10**, Article 1157752. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1157752>
- [12] Yan, R., Sun, Y., Yang, Y., Zhang, R., Jiang, Y. and Meng, Y. (2023) Mitochondria and NLRP3 Inflammasome in Cardiac Hypertrophy. *Molecular and Cellular Biochemistry*, **479**, 1571-1582. <https://doi.org/10.1007/s11010-023-04812-1>
- [13] Kim, M., Kim, S., Kim, H., Cho, D., Jung, S.P., Park, K.H., *et al.* (2022) Serial Changes of Layer-Specific Myocardial Function According to Chemotherapy Regimen in Patients with Breast Cancer. *European Heart Journal Open*, **2**, oeac008. <https://doi.org/10.1093/ehjopen/oeac008>
- [14] Tang, S., Li, H., Song, L. and Zhou, Y. (2023) Echocardiographic Study of Left Ventricular Pressure-Strain Loop in Evaluating Changes in Left Ventricular Myocardial Work in Breast Cancer Patients after Chemotherapy. *International Heart Journal*, **64**, 203-212. <https://doi.org/10.1536/ihj.22-287>
- [15] Aly, D.M. and Shah, S. (2023) Three-Dimensional Echocardiography Derived Printing: A Review of Workflow, Current, and Future Applications. *Current Cardiology Reports*, **25**, 597-605. <https://doi.org/10.1007/s11886-023-01882-x>
- [16] (2021) Guideline for Ultrasonic Diagnosis of Liver Diseases. *Chinese Journal of Hepatology*, **29**, 385-402.
- [17] Tassan-Mangina, S., Brasselet, C., Nazeyrollas, P., *et al.* (2002) Value of Pulsed Doppler Tissue Imaging for Early Detection of Myocardial Dysfunction with Anthracyclines. *Archives des Maladies du Cœur et des Vaisseaux*, **95**, 263-268.
- [18] Yang, K., Hu, J., Yuan, X., Xiahou, Y. and Ren, P. (2024) Assessment of Left Ventricular Diastolic Function in Patients with Diffuse Large-B Cell Lymphoma after Anthracycline Chemotherapy by Using Vector Flowmapping. *Current Medical Imaging Reviews*, **20**, e15734056298648. <https://doi.org/10.2174/0115734056298648240604072237>

-
- [19] Peregud-Pogorzelska, M., Zielska, M., Kawa, M.P., Babiak, K., Safranow, K., Machaliński, B., *et al.* (2020) Association between Light-Induced Dynamic Dilation of Retinal Vessels and Echocardiographic Parameters of the Left Ventricular Function in Hypertensive Patients. *Medicina*, **56**, Article No. 704. <https://doi.org/10.3390/medicina56120704>
- [20] Keleş, N., *et al.* (2023) Does Premature Ventricular Complex Impair Left Ventricular Diastolic Functions? *The Anatolian Journal of Cardiology*, **27**, 217-222. <https://doi.org/10.14744/anatoljcardiol.2022.2421>
- [21] Marai, I., Shimron, M., Williams, L., Hazanov, E., Kinany, W., Grosman-Rimon, L., *et al.* (2021) Left Atrial Function Analysis in Patients in Sinus Rhythm, Normal Left Ventricular Function and Indeterminate Diastolic Function. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **38**, 543-549. <https://doi.org/10.1007/s10554-021-02425-7>
- [22] Rasheed, R.S., El Sokkary, H., El Amrosy, M.Z., El Setiha, M. and Salama, M.M.A.E.M. (2022) Role of Myocardial Strain Imaging by Echocardiography for the Early Detection of Anthracyclines-Induced Cardiotoxicity. *Journal of the Saudi Heart Association*, **34**, 32-40. <https://doi.org/10.37616/2212-5043.1296>
- [23] Tian, Y., Wang, T., Tian, L., Yang, Y., Xue, C., Sheng, W., *et al.* (2023) Early Detection and Serial Monitoring during Chemotherapy-Radiation Therapy: Using T1 and T2 Mapping Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **10**, Article 1085737. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1085737>
- [24] Huang, R., Jin, J., Zhang, P., Yan, K., Zhang, H., Chen, X., *et al.* (2023) Use of Speckle Tracking Echocardiography in Evaluating Cardiac Dysfunction in Patients with Acromegaly: An Update. *Frontiers in Endocrinology*, **14**, Article 1260842. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1260842>
- [25] Du, Y., Dong, Y., Liu, D., *et al.* (2022) Research Progress on Vector Flow Imaging of Cardiac Ultrasound. *Chinese Journal of Medical Instrumentation*, **46**, 176-180.
- [26] Chen, Q., Song, H., Yu, J. and Kim, K. (2021) Current Development and Applications of Super-Resolution Ultrasound Imaging. *Sensors*, **21**, Article No. 2417. <https://doi.org/10.3390/s21072417>
- [27] Liu, J., Ren, J., Xu, X., Xiong, L., Peng, Y., Pan, X., *et al.* (2022) Ultrasound-Based Artificial Intelligence in Gastroenterology and Hepatology. *World Journal of Gastroenterology*, **28**, 5530-5546. <https://doi.org/10.3748/wjg.v28.i38.5530>
- [28] Kim, S.W., Kim, S., Shin, D., Choi, J.H., Sim, J.S., Baek, S., *et al.* (2023) Feasibility of Artificial Intelligence Assisted Quantitative Muscle Ultrasound in Carpal Tunnel Syndrome. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 524. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06623-3>
- [29] Bansal, K., Jha, C.K., Bhatia, D. and Shekhar, H. (2021) Ultrasound-Enabled Therapeutic Delivery and Regenerative Medicine: Physical and Biological Perspectives. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, **7**, 4371-4387. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00276>