

斑点追踪及压力应变环技术对类风湿关节炎病人早期左室收缩状况的评估现状及展望

刘娟¹, 孙红光^{2*}

¹扬州大学附属医院医学影像中心超声科, 江苏 扬州

²扬州大学医学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2022年10月27日; 录用日期: 2022年11月23日; 发布日期: 2022年11月30日

摘要

类风湿关节炎即损伤自身关节的炎症性免疫系统疾病, 常累及心血管系统, 导致心肌、心瓣膜、冠状动脉等结构损伤, 心血管疾病提高了这类患者的死亡率, 占有所有死亡的40%~50%, 成为主要死因。早期阶段发现类风湿关节炎患者的心脏损伤和及时的治疗干预可以有效地减少这些患者的死亡率。近十几年, 在评估早期心功能损伤方面, 斑点追踪成为超声检查领域的热点技术, 可为临床提供可靠的亚临床期左室收缩功能损伤的参考依据, 压力应变环技术是在斑点追踪技术基础上继续升级的新检测手段, 在类风湿关节炎疾病的未来进展需进一步探索。

关键词

斑点追踪技术, 压力-应变环, 超声心动图, 类风湿关节炎

Current Status and Prospect of Speckle Tracking and Pressure-Strain Loop in the Assessment of Early Left Ventricular Contraction in Patients with Rheumatoid Arthritis

Juan Liu¹, Hongguang Sun^{2*}

¹Department of Ultrasound, Medical Imaging Center, Affiliated Hospital of Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

²Medical College, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

*通讯作者。

文章引用: 刘娟, 孙红光. 斑点追踪及压力应变环技术对类风湿关节炎病人早期左室收缩状况的评估现状及展望[J]. 医学诊断, 2022, 12(4): 271-278. DOI: 10.12677/md.2022.124044

Abstract

Rheumatoid arthritis is an inflammatory disease of the immune system that damages its own joints. It often involves the cardiovascular system, leading to damage to the myocardium, heart valves, coronary arteries and other structures. Cardiovascular disease is the main cause of increased mortality in this type of patients, accounting for 40%~50% of all deaths. Early detection of heart damage in patients with rheumatoid arthritis and timely treatment intervention can effectively reduce the mortality of these patients. In recent years, tracking and evaluation of myocardial injury of spots become hot spot in the field of ultrasound technology, can provide reliable for clinical stage of subclinical left ventricular systolic function lesion of reference; stress and strain loop technology is based on the spot tracking technology development of new technologies, in rheumatoid arthritis to further explore the future progress of the disease.

Keywords

Speckle Tracking Technology, Pressure-Strain Loop, Echocardiography, Rheumatoid Arthritis

Copyright © 2022 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. 前言

类风湿关节炎(rheumatoid arthritis, RA)约占人口的 0.5%~1.0%, 以对称性多关节炎的发生为特征的免疫损害疾病, 但关节外损伤常累及心血管, 与普通人群相比, 心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)的发生, 预示预后不良[1] [2]。2009 年欧洲抗风湿联盟(EULAR)代表 13 个欧洲国家的 26 名成员组成多学科指导委员会, 通过检索文献, 依据指南对证据进行分类和总结确定了 RA 患者发生 CVD 的风险更高[3]。由于 CVD 的发生频率和与患者发病率及生存率息息相关, 因此, 能为临床提供可靠的 RA 心血管损伤的客观依据的研究成为焦点。超声心动图因实时、可视化、操作简便、经济实惠、无创等优点在评估心血管损伤方面大放异彩。近几年超声心动图的发展迅速。在这篇综述中, 主要归纳出斑点追踪成像(speckle tracking imaging, STI)及基于 STI 发展的新技术压力应变环(pressure strain loop, PSL)对 RA 患者左室收缩功能的评价。

2. 类风湿关节炎心脏损伤基础

有文章报道 RA 患者疾病进展的早期阶段就可发生非缺血性心衰, 而且 RA 是心血管损伤独立高危因素[3]。尽管 RA 所有因素在 CVD 中的作用机制还属于探索研究阶段, 但全身炎症负担仍被认为是引起 CVD 的关键因素[4]。炎性病变可引发氧化应激反应, 进一步损伤内皮组织, 侵犯冠状微动脉, 甚至波及冠状动脉主干, 病理下可见浆细胞等多种炎性细胞的浸润, 破坏血管内皮细胞, 造成内膜损伤[5], 免疫球蛋白聚集在血管壁, 冠状动脉走行迂曲、管壁增厚导致内径狭小、甚至闭塞, 动脉粥样硬化因此发生。慢性炎症反应在动脉粥样硬化病变的活动和进展中, 其潜在的促纤维化状态, 是 RA 患者的心脏结构和功能受累及的原因[6], 导致左心室肥厚、左房增大和舒张功能不全等, 这些心脏改变提高了心力衰竭的

危险发生率[7][8]。此外疾病活动性持续时间和不能及时发现并治疗亚临床期心血管的损伤是心血管死亡率增高的主要原因[9]。最新研究[10]通过 RA 患者血清测量脂肪因子,发现高脂联素水平与心衰住院和 CVD 相关死亡独立相关,表明脂肪因子可能通过与机体组成和代谢健康的关联参与 RA 和疾病过程。总之,这些病理生理基础为 RA 与心血管风险之间的关联提供了有利的证据。

3. STI 技术原理及优势

人的左心室(LV)由两个肌肉螺旋组成,这两个螺旋环绕着室中周围层的肌肉纤维层。这些心内膜和心外膜螺旋的收缩导致扭转运动,能够最大程度缩小左室肌的跨壁应力。射血分数(EF)用于评估左心功能的价值有固有的局限性,对于左室肥厚和容量减少患者的可靠性差。STE 被认为是最新的非侵入性方式中一种有用和成本效益高的工具,二维或三维(2-dimensional/3-dimensional) STI 技术。

1) 2D-STI 该技术以高帧频精确定位心肌内稳定的斑点,通过分析二维超声图像中斑点的运动量化出心肌组织的位移,并以此评估心脏收缩、舒张活动,实现了与多普勒角度无关的心肌变形客观分析,计算出心肌缩短率、增厚率及旋转动力学改变[11]。通过对各节段心肌的整体圆周应变(Global circumferential strain, GCS)、整体纵向应变(Global longitudinal strain, GLS)、峰值扭转速度、整体径向应变(Global radial strain, GRS) [12]等参数量化,这些数值变化代表心肌在各方向的位移及扭转运动,从而识别出心脏运动的轻微改变。GLS 代表从基底到心尖的心肌变形,GRS 代表径向指向左心室腔中心的变形,GCS 代表沿圆形区域的缩短。GLS 已被证明比周向和径向应变更具重复性,更有临床实用价值[13]。应变值通常用负值来描述,负值越多表示左心室性能越好。作为参考,建议将-20%左右的 GLS 值(标准偏差为 $\pm 2\%$)作为健康受试者的正常范围,应变绝对值越低,异常的可能性越大[14]。

2) 由于左心室心肌由三层不同的心肌层组成,同时向不同方向收缩,2D-STI 只能单平面观看心肌运动,3D-STI 应用心室三维 GLS、三维 GRS、三维 GCS 等参数在立体空间内随时间斑点跟踪心肌运动轨迹,因此,对整体和节段心肌组织运动进行更全面的分析成为可能,同时避免平面外运动造成的散点损失,能从整体上真实反映心肌组织运动。该技术在评估各种心脏疾病的心肌运动功能方面具有重要价值,有助于疾病的风险管理、鉴别诊断、甚至可预测不良事件的发生[15],重复性和可靠性较高。总之,STI 可定量分析受损心肌并观察心脏运动的精细变化。

4. STI 在 RA 左室收缩功能损伤中的应用

4.1. 2D-STI 对 RA 患者左室收缩功能的评估

有研究招募 16209 名 RA 患者进行前瞻性随访,以评估 STE 检测到的亚临床左室收缩功能障碍的患病率和预后作用。这些患者中近 1/2 合并高血压,2/3 合并血脂异常;51 例 RA 患者和 3 例正常对照组 GLS 降低,42 例 RA 患者和 3 例正常对照的 GCS 降低。19 例 RA 患者的 GLS 和 GCS 均较低,而对照组正常。评估时发现合并 GLS 和 GCS 低的 RA 患者年龄更大,血脂异常、舒张功能障碍,左室质量和左心室肥厚的患病率更高。随访中发现应变异常的患者住院的心血管事件更多;多因素 COX 回归分析显示,应变异常与心脑血管疾病相关的住院和左心室肥厚独立相关[16]。另有研究招募服用抗风湿药物的早期 RA 患者并进行 2 年随访的研究中。将全部人群分为两组:抗 CCP 抗体持续高值(≥ 340 kU/L)的 15 例患者和抗 ccp 抗体(≥ 340 kU/L)未持续升高的 51 例患者。对比后者,持续升高的患者 GLS 显著恶化。在对年龄、性别、脉搏、治疗和血压进行调整多变量回归分析后,这一点仍然显著。此外,两年来 GLS 的变化与随访时的抗 CCP 显著相关。这些结果表明,慢性高水平的抗 CCP 对左心功能和变形有负面影响[17]。在另一项研究[18]中,41 名无任何药物医治的 RA 患者为研究对象,发现 RA 患者的 GLS 和 GCS 的显著降低,与疾病活动性严重程度同步,RA 患者根据疾病活动度进行分层,疾病活动度的增加减小了

GCS 值。调整了潜在的混杂因素后发现疾病活动评分是 RA 中 GLS、GCS 的唯一预测因子。这些结果表明 RA 应变损伤的早期就可发生。还有研究[19]对 119 名 RA 患者及 46 名对照组进行研究。其中, 78 名 RA 患者表现出低、中、高疾病活动性, 41 名患者处于缓解期。活动性 RA 组血压、血糖、抗 CCP 和类风湿因子均高于缓解期组。根据之前的研究, 活动性 RA 患者的 GLS 低于缓解患者。用单变量分析后, 发现 28 关节疾病活动度评分(即 DAS28 评分, 临床常用的疾病活动度的评分系统, $DAS28 \leq 3.2$ 为低度活动, $3.2 < DAS28 \leq 5.1$ 为中度活动, $DAS28 > 5.1$ 为高度活动)和临床疾病活动指数均与较低的 GLS 相关, 调整后多变量分析发现, 患有活动性 RA 或疾病活动水平增加均与较低的 GLS 相关。总之 GLS 在检测亚临床左室收缩功能障碍方面是稳健的[20] [21] [22] [23]。有文献[24]指出 STI 技术的参数峰值应变离散度(PSD)在评价 RA 左室收缩同步化中的临床价值中, 发现 PSD 依次按照随着病程增加逐渐升高, 病程逐渐延长而 GLS 逐步降低, PSD 与 GLS 呈负相关。证明 PSD 也可作为评估左室运动同步性的全新有效指标。上述这些数据用 STI 技术的相关应变参数及多种统计方法分析出突出 RA 患者心脏收缩性能的明显损害、同步运动不协调, 并分析出导致 RA 患者左室收缩功能障碍是多重因素引起。更重要的是, 这些数据是在 RA 患者 EF 正常的情况下监测到的心肌功能的亚临床损伤。STI 对 RA 患者心功能进行早期分层, 可以辅助临床诊断和及时治疗 RA 患者的亚临床期 CVD。

4.2. 3D-STI 对 RA 患者左室收缩功能的评估

3D-STI 基于 2D-STI 开展而来, 而且两者相应的应变参数高度相关, 说明 3D-STI 应变参数能够很好的评估左室收缩功能状况。3D-STI 经过全容积探头一次采集左心室图像, 追踪完整的左心室运动轨迹, 后者需要连续几个心动周期转动探测器, 获取不同所需切面图像, 沿心内膜边界圈出感兴趣范围进行图像分析, 软件追踪分析, 自动给出数值。所以 3D-STI 在不同轴上的纵向应变、径向应变、周向应变等参数获取比 2D-STI 快速、高效、省时。此外, 3D-STI 不需要多普勒成像, 分析是相对独立的角度, 并轻微受心脏平面运动伪影的影响, 数据的可行性, 重现性和诊断准确性似乎是最佳的。但是两种技术获取数据方法和软件分析算法不同, 2D-STI 与 3D-STI 应变参数无法进行比较分析和代替[25]。

冯秀婕等发现左心室三维应变参数 GRS、GLS、GCS、全部面积应变(global area strain, GAS)显著低于对照组, 并指出这些参数的降低提示心内膜下心肌受累, 可能与造成心肌缺血缺氧的血管硬化受损有关。GAS 由 GCS、GLS、GRS 是三者的综合改变决定的, 并提出 GAS 减低可能更准确地反映 RA 患者左心室心功能改变[26] [27]。因此 GAS 早于 EF 评估 RA 患者亚临床期心功能损伤, 为临床提供治疗证据。使用 2D-STI 与 RT-3DE 评估病程、活动性不同时 RA 患者的左室运动的同步协调性, 并比较它们之间的差别, 发现两种技术一致性高, 其中左室 16 节段达最小收缩容积时间的标准差占心动周期的百分比[28]; 医师内 ICC 达到 0.985、医师间 ICC 是 0.977, 重复性最好, 证明两种技术都能很好的检测出 RA 患者左室同步性的改变, 而 RT-3DE 检出的敏感性更高。但是 3D-STI 有其不足, 虽然把三维全容积成像与 STI 融合于一体, 但时间和空间分辨率仍需进一步发展, 图像质量也要进一步提高, 而且缺乏与其他较精准技术(比如 MRI)测量的对比。

5. 基于 STI 发展的新技术——PSL

为了更好的为病情严重程度评估和治疗提供更丰富的量化评估证据, 新技术的发展在早期诊断 RA 患者左室收缩功能方面精益求精。STI 虽然优于 EF 评估左室收缩功能, 但是, 有研究证实后负荷上升会降低应变值, 会导致收缩功能受损的假阳性结果, 这样评价的准确性必定受到影响[29]。有学者用无创测量的肱动脉血压值替代了有创的左心室压力值, 避免了临床实践中不切实际用心导管插入术获得侵入性测量左心室压力的方法, 得到 PSL, 左室整体做功指数(left ventricle global work index, LVGWI)、左室整

体无效功(left ventricle global wasted work, LVGWW)、左室整体有效功(left ventricle global constructive work, LVGCW)、及左室全部做功效率(left ventricle global work efficiency, LVGWE)是通过分析 PSL 得出参数,用这些参数来评估左室收缩功能的改变[30]。这是基于 STI 评估心肌变形的基础上与结后血压值的动态无创方法,构建出 PSL,获得相应的参数有效评估左室收缩功能,去除了后负荷影响,也可以说 PSL 技术是 STI 技术的升级。LVGWI 指的是从二尖瓣关闭到开放期间的 1 个心动周期内左心室心肌的所有做功,其数值变化反映了负荷条件改变时左心室 17 节段和整体的做功状况,能反应二维应变观察不到的心肌收缩与氧耗量的关系[31]。LVGCW 表示心肌在收缩期缩短、对射血有帮助的做功,反映可收缩心肌和存活心肌,被认为比 GLS 更实用[32]。LVGWW 作为心肌的废功,是指不利于心肌射血的做功, LVGWW 的增加原因可能是由于增加后负荷的抵抗或者非同步收缩和收缩后收缩导致的心室射血效率降低[33]。LVGWE 是有效射血做功所占的比值,反映了心肌收缩的效率、与心肌损伤的严重程度相关[34]。这种技术已经用于高血压、心肌淀粉样病变、糖尿病等疾病的左室收缩的评估,血压逐级增高, LVGWW、PSD 同步逐渐增大,而 LVGWE、GLS 绝对值同步逐渐下降,尤其是 LVGWW、LVGWE 这两项参数对高血压心肌功能损害的鉴别更敏感,能鉴别出不同级别高血压心肌损伤的细微差异。糖尿病组的 GWI、GCW、GLS 低于对照组。心肌淀粉样病变左室整体及各水平(基底、中间、心尖) PSL 参数均减低, GWI、GCW 及 GWE 呈“心尖保留”特点。总之 PSL 定量评价心肌做功可为左室收缩功能早期患者提供更多有价值的信息[35] [36] [37]。在评估乳腺癌蒽环类药物化疗的心肌做功状况中显示随着乳腺癌化疗患者疗程的增加, GCW、GLS、GWI 值逐步减小,提示心肌损伤也是持续加重的,由此可以判断 PSL 参数可作为早期心肌毒性的有效指标[38] [39]。在炎性风湿病疾病中对左室收缩功能的评估仍有很好的稳定性和重复性[40] [41] [42] [43]。肖武平等[44]收集 RA 患者 75 例 RA 患者,并按照 DAS28 评分分组,对 PSL 参数比较,发现中、高活动组心肌做功数值均较其他组明显减小。以此得出 PSL 对中、高活动度 RA 患者早期心功能受损状况敏感,为评估 RA 患者的左室收缩功能受损找到新循证依据。针对 RA 病人相关 PSL 研究尚再初级阶段,后期需要大量科研数据支撑。

6. 不足与展望

2D-STI 技术是一种简单易操作、非侵入性的检查方法,时间和空间分辨率仍需要完善,对操作者采集图像的质量要求高,需要去除因图像质量差的而无法分析的数据。3D-STI 在评估左室收缩活动方面更加完善、快速、实时,但在反映心室容积、形态的变化方面仍不足,应用仍有一定的局限性,需要更高的分辨率和取样容积,3D-STI 临床运用尚在开展初期,研究尚不充分。且 STI 均有负荷依赖性,而且厂家不同,导致测量结果不统一。PSL 能够去除后负荷影响,测量软件是由 GE 独家公司提供,结果更容易统一。但是用肱动脉代替左室内压力,这样 PSL 参数结果也是估测的不精确;数据的采集及步骤复杂,耗时较多;患者必须符合窦性心率,对心率不正常的人无法使用。目前仍没有 PSL 技术用于舒张功能的研究,这方面不如 STI 全面。

综上所述,随着 STI 研究的展开,其衍生的 PSL 技术观察心肌形变同时能够反应心肌做功、耗氧情况、能量损耗,更准确评价 RA 患者心功能隐匿性的损伤,以一种新的方式应用于 RA 患者左室收缩功能的评价,并将成为更加可靠、敏感的技术手段,具有广阔的发展前景。未来的发展应该从收缩走向舒张,并在心脏的世界里达到左右兼顾,让超声的价值愈加凸显,为临床工作提供更多的循证证据、科研方向。

基金项目

扬州市“十三五”科教强卫领军人才项目(LJRC201819)。

参考文献

- [1] Peters, M.J.L., Symmons, D.P.M., McCarey, D., *et al.* (2010) EULAR Evidence-Based Recommendations for Cardiovascular Risk Management in Patients with Rheumatoid Arthritis and Other Forms of Inflammatory Arthritis. *Annals of Rheumatic Diseases*, **69**, 325-331. <https://doi.org/10.1136/ard.2009.113696>
- [2] Agca, R., Heslinga, S.C., Rollefstad, S., *et al.* (2017) EULAR Recommendations for Cardiovascular Disease Risk Management in Patients with Rheumatoid Arthritis and Other Forms of Inflammatory Joint Disorders: 2015/2016 Update. *Annals of Rheumatic Diseases*, **76**, 17-28. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2016-209775>
- [3] England, B.R., Thiele, G.M., Anderson, D.R., *et al.* (2018) Increased Cardiovascular Risk in Rheumatoid Arthritis: Mechanisms and Implications. *BMJ*, **361**, Article No. 1036. <https://doi.org/10.1136/bmj.k1036>
- [4] Ahlers, M.J., Lowery, B.D., Farber-Eger, E., Wang, T.J., *et al.* (2020) Heart Failure Risk Associated with Rheumatoid Arthritis-Related Chronic Inflammation. *Journal of the American Heart Association*, **9**, Article ID: 014661. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.014661>
- [5] Rezuş, E., Macovei, L.A., Burlui, A.M., *et al.* (2021) Ischemic Heart Disease and Rheumatoid Arthritis—Two Conditions, the Same Background. *Life (Basel)*, **11**, Article No. 1042. <https://doi.org/10.3390/life11101042>
- [6] Mason, J.C. and Libby, P. (2015) Cardiovascular Disease in Patients with Chronic Inflammation: Mechanisms Underlying Premature Cardiovascular Events in Rheumatologic Conditions. *European Heart Journal*, **36**, 482-489. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu403>
- [7] Kerola, A.M., Rollefstad, S. and Semb, A.G. (2021) Atherosclerotic Cardiovascular Disease in Rheumatoid Arthritis: Impact of Inflammation and Antirheumatic Treatment. *European Cardiology*, **16**, Article No. 18. <https://doi.org/10.15420/ecr.2020.44>
- [8] Kobayashi, M., Ferreira, M.B., Costa, R.Q., *et al.* (2021) Circulating Biomarkers and Cardiac Structure and Function in Rheumatoid Arthritis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article ID: 754784. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.754784>
- [9] Argnani, L., Zanetti, A., Carrara, G., Silvagni, E., Guerrini, G., Zambon, A. and Scirè, C.A. (2021) Rheumatoid Arthritis and Cardiovascular Risk: Retrospective Matched-Cohort Analysis Based on the RECORD Study of the Italian Society for Rheumatology. *Frontiers in Medicine (Lausanne)*, **8**, Article ID: 745601. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.745601>
- [10] Federico, L.E., Johnson, T.M., England, B.R., *et al.* (2022) Circulating Adipokines and Associations with Incident Cardiovascular Disease in Rheumatoid Arthritis. *Arthritis Care & Research (Hoboken)*. <https://doi.org/10.1002/acr.24885>
- [11] Huang, J., Yan, Z., Rui, Y., *et al.* (2018) Left Ventricular Short-Axis Systolic Function Changes in Patients with Hypertrophic Cardiomyopathy Detected by Two-Dimensional Speckle Tracking Imaging. *BMC Cardiovascular Disorders*, **18**, Article No. 13. <https://doi.org/10.1186/s12872-018-0753-0>
- [12] 张艳. 实时三维斑点追踪技术评价萘环类化疗药物对乳腺癌患者左心室功能的影响[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2019.
- [13] Mirea, O., Pagourelas, E.D., Duchenne, J., *et al.* (2018) Intervendor Differences in the Accuracy of Detecting Regional Functional Abnormalities: A Report from the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **11**, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.02.014>
- [14] Collier, P., Phelan, D. and Klein, A. (2017) A Test in Context: Myocardial Strain Measured by Speckle-Tracking Echocardiography. *JACC: Journal of the American College of Cardiology*, **69**, 1043-1056. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.12.012>
- [15] 曹清琼, 郭瑞强. 三维 STI 成像技术在心脏疾病中的应用进展[J]. 医学综述, 2021(7): 1400-1405.
- [16] Cioffi, G., Viapiana, O., Ognibeni, F., *et al.* (2017) Prognostic Role of Subclinical Left Ventricular Systolic Dysfunction Evaluated by Speckle-Tracking Echocardiography in Rheumatoid Arthritis. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **30**, 602-611. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.02.001>
- [17] Løgstrup, B.B., Masic, D., Laurbjerg, T.B., *et al.* (2017) Left Ventricular Function at Two-Year Follow-Up in Treatment-Naive Rheumatoid Arthritis Patients Is Associated with Anti-Cyclic Citrullinated Peptide Antibody Status: A Cohort Study. *Scandinavian Journal of Rheumatology*, **46**, 432-440. <https://doi.org/10.1080/03009742.2016.1249941>
- [18] Lo Gullo, A., Rodríguez-Carrio, J., Aragona, C.O., *et al.* (2018) Subclinical Impairment of Myocardial and Endothelial Functionality in Very Early Psoriatic and Rheumatoid Arthritis Patients: Association with Vitamin D and Inflammation. *Atherosclerosis*, **271**, 214-222. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2018.03.004>
- [19] Benacka, O., Benacka, J., Blazicek, P., *et al.* (2017) Speckle Tracking Can Detect Subclinical Myocardial Dysfunction in Rheumatoid Arthritis Patients. *Bratislavské Lekárske Listy*, **118**, 28-33. <https://doi.org/10.4149/BLL.2017.006>

- [20] Çakmak, E.Ö., Fındıkçioğlu, U. and Tezcan, M.E. (2021) Disease Severity Affects Myocardial Functions in Patients with Treatment-Naive Early Rheumatoid Arthritis. *International Journal of Rheumatic Diseases*, **24**, 494-501. <https://doi.org/10.1111/1756-185X.13992>
- [21] Hanvivadhanakul, P. and Buakhamsri, A. (2019) Disease Activity Is Associated with LV Dysfunction in Rheumatoid Arthritis Patients without Clinical Cardiovascular Disease. *Advances in Rheumatology*, **59**, Article No. 56. <https://doi.org/10.1186/s42358-019-0100-x>
- [22] Atzeni, F., Gianturco, L., Boccassini, L., Sarzi-Puttini, P., Bonitta, G. and Turiel, M. (2019) Noninvasive Imaging Methods for Evaluating Cardiovascular Involvement in Patients with Rheumatoid Arthritis before and after Anti-TNF Drug Treatment. *Future Science OA*, **5**, FSO396. <https://doi.org/10.2144/fsoa-2018-0108>
- [23] 潘璐, 黄璇, 纳丽莎, 等. 二维 STI 技术对类风湿性关节炎患者左室纵向收缩功能的评价[J]. 宁夏医科大学学报, 2021(10): 1057-1060.
- [24] Ji, X., Zhang, X. and Feng, H. (2021) Evaluation of Left Ventricular Systolic Synchrony by Peak Strain Dispersion in Patients with Rheumatoid Arthritis. *Journal of International Medical Research*, **49**, 1-13. <https://doi.org/10.1177/03000605211007737>
- [25] Altman, M., Bergerot, C., Aussoleil, A., et al. (2014) Assessment of Left Ventricular Systolic Function by Deformation Imaging Derived from Speckle Tracking: A Comparison between 2D and 3D Echo Modalities. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*, **15**, 316-323. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jet103>
- [26] 冯秀婕, 孙志丹, 孙秀云. 三维 STI 技术评价类风湿性关节炎患者左心室收缩功能[J]. 中国医学影像技术, 2016(8): 1218-1221.
- [27] 张瑞芳, 段会参, 郭海燕, 等. 类风湿性关节炎患者左室整体收缩功能的超声三维 STI 成像技术评价[J]. 郑州大学学报(医学版), 2016(5): 660-663.
- [28] 朱巧玲, 郭泰, 芦芳. STI 技术与实时三维超声心动图评价类风湿性关节炎患者左室收缩同步性的对比研究[J]. 临床超声医学杂志, 2020(8): 590-595.
- [29] Chan, J., Shiino, K., Obonyo, N.G., Hanna, J., Chamberlain, R., et al. (2017) Left Ventricular Global Strain Analysis by Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography: The Learning Curve. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **30**, 1081-1090. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.06.010>
- [30] Russell, K., Eriksen, M., Aaberge, L., et al. (2012) A Novel Clinical Method for Quantification of Regional Left Ventricular Pressure-Strain Loop Area: A Non-Invasive Index of Myocardial Work. *European Heart Journal*, **33**, 724-733. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs016>
- [31] Hieda, M. and Goto, Y. (2020) Cardiac Mechanoenergetics in Patients with Acute Myocardial Infarction: From Pressure-Volume Loop Diagram Related to Cardiac Oxygen Consumption. *Heart Failure Clinics*, **16**, 255-269. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2020.02.002>
- [32] Manganaro, R., Marchetta, S., Dulgheru, R., et al. (2020) Correlation between Non-Invasive Myocardial Work Indices and Main Parameters of Systolic and Diastolic Function: Results from the EACVI NORRE Study. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*, **21**, 533-541. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez203>
- [33] Edwards, N.F.A., Scalia, G.M., Shiino, K., et al. (2019) Global Myocardial Work Is Superior to Global Longitudinal Strain to Predict Significant Coronary Artery Disease in Patients with Normal Left Ventricular Function and Wall Motion. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **32**, 947-957. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.02.014>
- [34] El Mahdiui, M., van der Bijl, P., Abou, R., Marsan, N.A., et al. (2019) Global Left Ventricular Myocardial Work Efficiency in Healthy Individuals and Patients with Cardiovascular Disease. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **32**, 1120-1127. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.05.002>
- [35] 陈丽丽, 章春泉, 郭良云, 等. 左室压力-应变环评估原发性高血压不同分级患者心肌功能障碍的价值[J]. 中国超声医学杂志, 2021, 37(5): 535-538.
- [36] 王一洒, 袁建军, 朱好辉, 等. 压力-应变环评价 2 型糖尿病患者左心室心肌做功改变[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28(12): 934-937.
- [37] 丁雪晏, 李一丹, 魏丽群, 等. 左心室压力-应变环评价心脏淀粉样变性患者心肌做功[J]. 中华超声影像学杂志, 2021, 30(7): 604-608.
- [38] 吴秋玲, 李华, 唐莎, 等. 压力-应变环评估蒺环类药物对乳腺癌患者左心室心肌做功的影响[J]. 中国心血管病研究, 2021, 19(4): 319-323.
- [39] 柴玉娇, 袁建军, 朱好辉, 等. 超声压力-应变环技术评价乳腺癌化疗后心肌做功能力的改变[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28(10): 757-760.
- [40] 张辉辉, 朱好辉, 张喜君, 等. 压力-应变环定量评价乙型肝炎肝硬化患者左室整体心肌做功[J]. 中华肝脏病杂志, 2022, 30(4): 402-406.

- [41] 李思靓, 袁建军, 朱好辉, 等. 左心室无创压力-应变环评估强直性脊柱炎患者左心室收缩功能[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(3): 370-374.
- [42] Li, X., Chen, H.J., Han, M., *et al.* (2022) Quantitative Assessment of Left Ventricular Systolic Function in Patients with Systemic Lupus Erythematosus: A Non-Invasive Pressure-Strain Loop Technique. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **12**, 3170-3183. <https://doi.org/10.21037/qims-21-951>
- [43] Zhong, X.F., Chen, L.X., Liu, L.X., *et al.* (2022) Early Detect Left Ventricular Subclinical Myocardial Dysfunction in Patients with Systemic Lupus Erythematosus by a Left Ventricular Pressure-Strain Loop. *Lupus*, **31**, 596-605. <https://doi.org/10.1177/09612033221089150>
- [44] 肖武平, 张小杉, 王雅哲, 等. 左心室压力-应变环评价类风湿性关节炎患者左心室功能[J]. 中华超声影像学杂志, 2022, 31(2): 108-114.