

# 超声心动图评价妊娠女性左心房容积及功能的研究进展

程一凡<sup>1</sup>, 陈鲜霞<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>青海大学临床医学院, 青海 西宁

<sup>2</sup>青海省人民医院超声科, 青海 西宁

收稿日期: 2023年7月21日; 录用日期: 2023年8月14日; 发布日期: 2023年8月21日

## 摘要

正常妊娠及妊娠合并症会引发生理、病理上的心脏结构及功能的改变。左房在调节左心室舒张功能中扮演重要角色且解剖上壁薄更早出现结构和功能的变化。因此, 及时对其评价非常重要。超声心动图无电离辐射、安全性高, 是临床孕产妇心功能检查的首选手段。本文对超声心动图技术在评估妊娠女性左心房容积和功能中的研究进展进行综述。

## 关键词

超声心动图, 妊娠女性, 左心房

# Research Progress in Echocardiography to Evaluate Left Atrial Volume and Function in Pregnant Women

Yifan Cheng<sup>1</sup>, Xianxia Chen<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>College of Clinical Medicine, Qinghai University, Xining Qinghai

<sup>2</sup>Department of Ultrasound, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining Qinghai

Received: Jul. 21<sup>st</sup>, 2023; accepted: Aug. 14<sup>th</sup>, 2023; published: Aug. 21<sup>st</sup>, 2023

## Abstract

Normal pregnancy and pregnancy complications can cause physiological and pathological changes in cardiac structure and function. The left atrium plays an important role in regulating left ventri-

\*通讯作者。

cular diastolic function, and structural and functional changes occur earlier in the anatomical thinness. It was therefore important to evaluate it in a timely manner. Echocardiography has no ionizing radiation and high safety, which is the preferred method for clinical maternal cardiac function examination. This article reviews the research progress of echocardiography in the assessment of left atrial volume and function in pregnant women.

## Keywords

Echocardiography, Pregnant Women, Left Atrium

Copyright © 2023 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

妊娠期间为满足胎儿生长发育及代谢需求,母体血流动力学发生变化促使孕产妇心脏产生适应性改变。与此同时,各种妊娠合并症也会不同程度地影响心脏的结构及功能。超声波不存在电离辐射超量的危险,在临床工作中应用广泛,能够为孕期心脏生理监测、疾病诊断方面提供至关重要的影像学信息。二维超声上可通过测量左房容积评价构型改变,随着三维超声及斑点追踪成像等新技术的诞生,超声心动图定量评估上升至新的层面,对左心房的评价更加全面,具有更高的临床及科研价值。本文对妊娠女性左心房容积和功能中的最新研究进展进行综述。

## 2. 左心房概述

### 2.1. 左心房研究价值及功能

目前关于妊娠期及产后心脏的研究多集中于左室,对左心房容积和功能的变化研究相对较少。既往多个研究[1] [2] [3]表明左房大小是心血管事件发生的主要预测因子并与预后不良相关。同时各类心血管疾病症状出现前,左室舒张功能异常早于收缩功能,而左房在调节左心室舒张功能的过程中扮演重要角色[4]。且在解剖结构上左房壁薄,相较左室而言,更易受压力及容量负荷的影响[5],因此监测左房变化具有重要意义。

左心房的主要功能即储备、通道,辅泵。三个功能协调作用使富含氧气的动脉血通过肺静脉经左心房流入左心室,维持和调节心室充盈。1) 储备功能是指收缩期及等容舒张期肺静脉血液进入左心房进行储存;2) 心室舒张早期在二尖瓣开放时左房起通道功能在房室压力差作用下血液被动转移至左心室;3) 随后左房在心室舒张晚期主动收缩发挥助力泵功能将血液射入左室。

### 2.2. 左房容积测定

以往研究表明 M 超模式测量的左心房前后径会显著低估和错判左房大小,错误分类左房扩张程度,而测量左心房容积能较测量径线更加准确地评价左心房的非对称性重塑[6] [7]。二维模式下测量左心房容积通常推荐两种方法:双平面长度-面积法和双平面 Simpson's 法。较旧指南,2015 年 ASE 发布的最新心腔测量指南中认为 Simpson's 法测量容积结果更加准确[8] [9]。

### 2.3. 左心房功能测定

斑点追踪成像技术(speckle tracking echocardiography, STI): STI 是基于专用软件逐帧追踪高亮度声

学斑点, 定性和定量地显示心肌运动速度、位移和应变的超声技术, 其评价左心房功能的准确性已得到证实。目前有二维和三维两种类型。左心房应变包括轴向、径向、环形应变。2018 年欧美国家联合制定的专家共识中推荐整体纵向应变用于应变分析[10]。整体纵向应变依据时相不同分为储器阶段应变(left atrial strain during reservoir phase, LASr)、管道阶段应变(left atrial strain during conduit phase, LAScd)、辅泵阶段应变(left atrial strain during contraction phase, LASct), 代表速度变化的应变率也按同样方法进行划分。由于在储备期左房充盈壁伸长, 应变记为正值, 另外两个阶段的左房射血壁均缩短, 记为负值。三维斑点追踪技术克服了二维斑点追踪技术“跨平面失追踪”现象的局限性, 所测参数评价左房功能更准确[11]。

实时三维超声心动图(real time 3 dimensional echocardiography, RT-3DE): RT-3DE 是利用特制矩阵探头进行扫查, 描记心内膜轮廓重建左心房图像, 以获取左房容积随时间变化的曲线, 通过不同时相容积的动态变化来反映左心房的功能。避免了二维超声上几何模型假设、角度依赖性等不足, 测量值与 MRI 结果高度相关[12]。常用指标有各时相的左心房容积(left atrial volume, LAV), 包括最大容积(LAmax)、最小容积(LAmin)、收缩前容积(LApre)以及反应左心房功能的参数, 包括总射血分数(left atrial total ejection fraction, LATEF)、主动射血分数(left atrial active ejection fraction, LAAEF)、被动射血分数(left atrial passive ejection fraction, LAPEF)、扩张指数(left atrial expansion index, LAEI)等。

### 3. 妊娠女性左心房容积和功能在生理、病理状态下的变化

#### 3.1. 健康孕妇

正常妊娠是母体生理适应的动态过程, 为满足胎儿充足的营养供应及代谢需要, 孕产妇血流动力学发生变化, 血容量增加、外周血管阻力减低导致心血管系统压力改变, 心脏为承受妊娠负荷出现形态、功能的影响[13]。

多项研究发现妊娠女性与未孕健康育龄期女性左房容积相比, 随孕周增加, 左房容积测量值呈逐步升高趋势至孕晚期达到最大, 同时这种变化是可逆性的, 在产后逐渐恢复[14] [15] [16]。张霞等[15]利用二维超声面积-长度法获取 100 名健康初孕妇左房容积, 并对其进行体表面积标化得到左心房容积指数(left atrial volume index, LAVi)。发现标化后指标变异系数明显小于标化前, 该研究结果表明标化后指标可降低常规指标评价的假阳性率, 更可靠评估不同个体的心房变化。在一项对健康孕妇的研究中, 双平面 Simpson's 法获得母体左心房容积并标化得到的 LAVi 被认为与子宫动脉搏动指数存在相关性[17]。国外 Tasar O 等[18]采用二维斑点追踪成像(two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI)对 47 名单胎初次怀孕的健康女性进行每个孕期及产后 6 个月的前瞻性研究, 检查发现随妊娠进展, LA 储备、辅泵功能及 LA 峰值阳性应变水平均逐渐降低, 怀孕结束后上升至基线水平。薛丹等[19]也采用同样技术评估 84 例处于不同孕周的正常单胎孕妇常规指标及左心房应变指标, 发现各孕组间常规指标差异不显著, 应变指标差异显著, 提示 2D-STI 指标较常规指标早期观测细微改变的灵敏性好, 同时发现随孕周增加左房应变通道功能降低, 泵功能逐渐增加, 上述结果同前者存在差异的原因可能为泵功能改变与多种因素相关。Yosefy C 等[20]的研究认为使用 RT-3DE 在妊娠期间特定临床条件下监测左房容积及功能变化有重要价值。而强剑颖等[21]在 RT-3DE 上对 106 名健康孕妇及同期 29 名正常生育年龄女性展开进一步研究, 结果发现早孕组容积参数 LAmax、LAmin、LApreA 均高于对照组( $P < 0.05$ ); 晚孕组 LAmax、LAmin、LApreA、LAAEF 较早孕组及对照组均明显升高( $P < 0.05$ ), LAEI、LAPEF 均降低( $P < 0.05$ ), 而 LATEF 组间差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。因此推测妊娠早期左房构型即开始发生变化, 晚期结构和功能均发生改变。但目前针对健康孕妇左心房 RT-3DE 容积及功能的研究资料较少, 相关确切结论仍需进一步探究。

### 3.2. 妊娠期高血压疾病

妊娠期高血压疾病(hypertensive disorders of pregnancy, HDP)是多种因素共同作用的结果,发病率为7.3% [22]。在我国依据临床表现程度及症状出现早晚不同划分为五型,其中妊娠期高血压与子痫前期为临床常见类型。主要病理生理变化为胎盘重铸障碍、血管内皮损伤、全身炎症反应致血管痉挛,孕妇出现血压升高、尿蛋白、水肿等临床症状,严重者继发重要脏器损害甚至危及母亲和围产儿性命。

Cong J 等[23]发现妊娠期高血压疾病的孕妇左心房容积指数较健康孕妇显著增大,与左室充盈压升高和舒张功能障碍有关,出现左房后负荷增加,左房重构。同时按34周前后分早发与晚发子痫,显示两者左房容积存在差异,晚发子痫的左心房容积更大。Boardman H 等[24]的研究表明有妊娠高血压史的女性,在中年与正常妊娠后同一时期生育的同龄妇女有更高的左心房容积指数( $40.4 \pm 9.2$  vs  $37.3 \pm 7.3$  mL/m<sup>2</sup>,  $P = 0.03$ )及左心室质量指数等,该项研究结果提示妊娠期高血压疾病与中年心脏和微血管的结构差异可能有关。Liu Xinping 等[25]采用STI,发现HDP患者与正常妊娠者相比发生了明显的左心房心肌应变损伤,呈现储备、通道功能减低、辅泵功能增加。Li Rui 等[26]同样技术下对子痫前期(preeclampsia, PE)及健康孕妇进行应变分析,并将146例PE患者按舒张功能障碍(diastolic dysfunction DD)不同分级,结果显示代表左心房顺应性LASr/(E/e')值随着DD的严重程度增加逐渐降低且LASr/(E/e') < 3.40是PE发生心脏并发症的独立危险因素。同时发现PE患者的LASr和LAScd显著低于正常血压孕妇,而两组之间的LASct没有明显差异。这与前述研究结论并不一致,相互矛盾的原因可能是两者分组、评价方法不同及左心房泵功能改变机制复杂。RT-3DE上,研究主要集中于重度子痫前期(severe preeclampsia, SPE),丁琳茹等[27]对42例SPE患者及34例健康孕妇产前产后进行研究,SPE组产前LAVmax、LAVmin、LAVpre较对照组产前均明显增加,差异有统计学意义( $P < 0.01$ ),孙菲等[28]对上述指标进行标化,研究结果与其一致,提示SPE者左房形态及功能受损。SPE组产后与产前相比改变的指标呈恢复趋势,该结果表明SPE患者待产后病因解除、血压降低,左房功能时相是可逆的。但与对照组产后对比,SPE组产后LAVmax、LAVmin、LAVpre明显增大,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

### 3.3. 妊娠相关内分泌代谢性疾病

近年来,随着中国经济水平提高和生活方式改变,妊娠期内分泌疾病发病率急剧增加,同时,伴随“二胎”政策全面开放,许多妊娠期妇女年龄超过35岁,面临高龄生育各方面的风险。其中,妊娠期糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)和妊娠期甲状腺疾病是目前临床上最常见的妊娠期内分泌代谢性疾病。

Company Calabuig AM 等[29]对妊娠24~40周的123名妊娠期糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)女性和246名健康孕妇相同孕龄进行RT-3DE及2D-STI检查,两组在左心房二维应变和三维功能指数上无显著差异,提示在GDM发展的最初几周内,左心房没有受到明显影响。出现这种结果的原因可能是所选病例通过饮食或胰岛素血糖控制良好且诊断时间与超声心动图评估时间中位数间隔较短为9.4周,需要进一步研究有GDM病史的女性随年龄增长的 cardiac 功能恶化模型。既往研究[30]回归分析了不同年龄甲状腺功能减低孕妇的病例资料,发现2D-STI下,甲减孕妇左心结构及心肌应变均与健康孕妇存在差异,且高龄甲减孕妇( $\geq 35$ 岁)心功能改变程度更大。国外动物实验[31]在妊娠大鼠孕期饮水中添加0.025% 6-丙基-2-硫腺嘧啶诱发甲减,结果首次表明母体甲减甚至可影响成年雄性和雌性子代的血流动力学参数。

### 3.4. 其他妊娠合并症

赵鹤等[32]应用2D-STI评估产后发生的围产期心肌病(peripartum cardiomyopathy, PPCM)患者左房功

能, 所匹配的正常对照组为年龄相仿的产后妇女, 两组检查时间距分娩时间相近, 发现 PPCM 组左心房的储存、管道、辅助泵功能较对照组均降低。考虑原因在于 PPCM 者左心室明显扩张, 左心房的收缩功能降低逐渐失去了对心室舒张功能减低的代偿能力。此外, 孕产妇先天性心脏缺陷可能对母亲及后代健康产生有害影响[33] [34]。Fukumitsu A 等[35]纳入 76 例低风险妊娠的先天性心脏病(congenital heart disease, CHD)孕妇进行队列研究, 随访发现大多数 CHD 患者在妊娠期间心脏事件风险较低, 然而妊娠晚期有心脏事件的受检者左心房容积(67 [53~79] vs 45 [35~55] mL,  $P = 0.002$ )显著高于无心脏事件的患者, 推测左房容积增加与围产期心脏事件有关, 超声心动图无创、重复性的优势评估左心房容积对于筛查有围产期心脏事件风险的 CHD 孕妇是简单可行的。

#### 4. 总结与展望

综上所述, 超声心动图在妊娠女性左心房容积和功能的评估中具有很大潜能。但目前这些研究多为单中心, 样本数量有限, 后续如若扩大样本、多中心联合研究, 有望为健康或高危孕妇管理提供更高价值的帮助。同时, 随着近年来各种超声新技术及左房专用分析软件的出现会对心房容积参数及功能参数有更精准的评估。相信随着仪器不断发展和研究进一步深入, 超声心动图在未来孕产妇心功能监测、临床早期干预和改善妊娠结局中发挥越来越重要的作用。

#### 参考文献

- [1] Ramkumar, S., Yang, H., Wang, Y., *et al.* (2017) Association of the Active and Passive Components of Left Atrial Deformation with Left Ventricular Function. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **30**, 659-666. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2017.03.014>
- [2] Menichelli, D., Sciacqua, A., Cangemi, R., *et al.* (2021) Atrial Fibrillation Pattern, Left Atrial Diameter and Risk of Cardiovascular Events and Mortality. A Prospective Multicenter Cohort Study. *International Journal of Clinical Practice*, **75**, e13771. <https://doi.org/10.1111/ijcp.13771>
- [3] Seko, Y., Kato, T., Morita, Y., *et al.* (2020) Association with Left Atrial Volume Index and Long-Term Prognosis in Patients without Systolic Dysfunction nor Atrial Fibrillation: An Observational Study. *Heart and Vessels*, **35**, 223-231. <https://doi.org/10.1007/s00380-019-01469-z>
- [4] 马慧, 拓胜军, 张军, 郑敏娟, 赵晓妮, 刘艳, 田铭君. 实时三维超声联合斑点追踪技术评价糖尿病患者无心血管疾病症状期左房功能[J]. 中国超声医学杂志, 2016, 32(10): 898-901.
- [5] Malik, J., Lachmanova, J., Kudlicka, J., *et al.* (2016) Left Atrial Dysfunction in End-Stage Renal Disease Patients Treated by Hemodialysis. *Nephron*, **133**, 169-174. <https://doi.org/10.1159/000447500>
- [6] Badano, L.P., Pezzutto, N., Marinigh, R., *et al.* (2008) How Many Patients Would Be Misclassified Using M-Mode and Two-Dimensional Estimates of Left Atrial Size Instead of Left Atrial Volume? A Three-Dimensional Echocardiographic Study. *Journal of Cardiovascular Medicine*, **9**, 476-484. <https://doi.org/10.2459/JCM.0b013e3282f194f0>
- [7] 杨优, 刘表虎, 王德国, 等. 超声评估心房颤动患者右室游离壁周围心外膜脂肪厚度与左房时相功能的相关性研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2023, 34(5): 344-348.
- [8] Lang, R.M., Bierig, M., Devereux, R.B., *et al.* (2005) Recommendations for Chamber Quantification: A Report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, Developed in Conjunction with the European Association of Echocardiography, a Branch of the European Society of Cardiology. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **18**, 1440-1463. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2005.10.005>
- [9] Lang, R.M., Badano, L.P., Mor-Avi, V., *et al.* (2015) Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **28**, 1-39. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
- [10] Badano, L.P., Koliaas, T.J., Muraru, D., *et al.* (2018) Standardization of Left Atrial, Right Ventricular, and Right Atrial Deformation Imaging Using Two-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography: A Consensus Document of the EACVI/ASE/INDUSTRY Task Force to Standardize Deformation Imaging. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, **19**, 591-600. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jej042>

- [11] Wang, J., Zhang, Y., Zhang, L., *et al.* (2021) Assessment of Myocardial Fibrosis Using Two-Dimensional and Three-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography in Dilated Cardiomyopathy with Advanced Heart Failure. *Journal of Cardiac Failure*, **27**, 651-661. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2021.01.003>
- [12] Mor-Avi, V., Yodwut, C., Jenkins, C., *et al.* (2012) Real-Time 3D Echocardiographic Quantification of Left Atrial Volume: Multicenter Study for Validation with CMR. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **5**, 769-777. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2012.05.011>
- [13] Aleksenko, L. and Quaye, I.K. (2020) Pregnancy-Induced Cardiovascular Pathologies: Importance of Structural Components and Lipids. *The American Journal of the Medical Sciences*, **360**, 447-466. <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2020.05.014>
- [14] Melchiorre, K., Sharma, R., Khalil, A. and Thilaganathan, B. (2016) Maternal Cardiovascular Function in Normal Pregnancy: Evidence of Maladaptation to Chronic Volume Overload. *Hypertension*, **67**, 754-762. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.115.06667>
- [15] 张霞, 朱向明, 强帮红. 超声标准化定量评价健康孕妇左心房构型的初步研究[J]. 中国医学影像技术, 2014, 30(11): 1708-1711. <https://doi.org/10.13929/j.1003-3289.2014.11.032>
- [16] Del Prado Díaz, S., de la Calle, M., Valbuena-López, S.C., *et al.* (2020) Does the Right Ventricle Experiment Morphologic and Functional Changes Similarly to the Left Ventricle during Pregnancy? *Echocardiography*, **37**, 850-857. <https://doi.org/10.1111/echo.14678>
- [17] Dobrowolski, P., Kosinski, P., Prejbisz, A., *et al.* (2021) Longitudinal Changes in Maternal Left Atrial Volume Index and Uterine Artery Pulsatility Indices in Uncomplicated Pregnancy. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, **224**, 221.e1-221.e15. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2020.07.042>
- [18] Tasar, O., Kocabay, G., Karagoz, A., *et al.* (2019) Evaluation of Left Atrial Functions by 2-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography during Healthy Pregnancy. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **38**, 2981-2988. <https://doi.org/10.1002/jum.15004>
- [19] 薛丹, 袁丽君, 邢长洋, 张宇新, 马婧, 段云友. 正常妊娠期孕妇左心房与左心室功能变化及斑点追踪应变研究[J]. 中国超声医学杂志, 2021, 37(11): 1235-1238.
- [20] Yosefy, C., Shenhav, S., Feldman, V., Sagi, Y., Katz, A. and Anteby, E. (2012) Left Atrial Function during Pregnancy: A Three-Dimensional Echocardiographic Study. *Echocardiography*, **29**, 1096-1101. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8175.2012.01745.x>
- [21] 强剑颖, 李惠忠, 郑叶坚, 林祖金, 李惠彬, 林肖彬. 实时三维超声心动图联合斑点追踪成像评价妊娠期左心房功能[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(1): 45-49. <https://doi.org/10.13929/j.issn.1003-3289.2021.01.009>
- [22] Garovic, V.D., White, W.M., Vaughan, L., *et al.* (2020) Incidence and Long-Term Outcomes of Hypertensive Disorders of Pregnancy. *Journal of the American College of Cardiology*, **75**, 2323-2334. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.03.028>
- [23] Cong, J., Yang, X., Zhang, N., Shen, J., Fan, T. and Zhang, Z. (2015) Quantitative Analysis of Left Atrial Volume and Function during Normotensive and Preeclamptic Pregnancy: A Real-Time Three-Dimensional Echocardiography Study. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **31**, 805-812. <https://doi.org/10.1007/s10554-015-0628-8>
- [24] Boardman, H., Lamata, P., Lazdam, M., *et al.* (2020) Variations in Cardiovascular Structure, Function, and Geometry in Midlife Associated with a History of Hypertensive Pregnancy. *Hypertension*, **75**, 1542-1550. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.14530>
- [25] Liu, X., Duan, K., Zhu, F., Zhang, H. and Zhang, S. (2021) Observation of Changes in Left Atrial and Left Ventricular Function in Patients with Hypertensive Disorders of Pregnancy Based on Myocardial Strain. *Annals of Palliative Medicine*, **10**, 606-614. <https://doi.org/10.21037/apm-20-2573>
- [26] Li, R., Sun, F., Piao, S., *et al.* (2021) Left Atrial Strain and Compliance Correlate with Diastolic Dysfunction Grades and Complications during Pre-Eclampsia: A Speckle-Tracking Echocardiography Study. *Ultrasound in Medicine and Biology*, **47**, 3411-3419. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2021.08.003>
- [27] 丁琳茹, 许建萍, 窦水秀, 赵晓宇, 何银芳, 韩芳, 王玉贤. 全容积成像技术评价重度子痫前期患者左心房功能[J]. 中华超声影像学杂志, 2018, 27(5): 375-379.
- [28] 孙菲, 孙博, 丛娟. 实时三维超声心动图和二维斑点追踪成像评价重度子痫前期左心房形态及功能[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28(4): 251-255.
- [29] Company Calabuig, A.M., Nunez, E., Sánchez, A., Nicolaidis, K.H., Charakida, M. and De Paco Matallana, C. (2021) Three-Dimensional Echocardiography and Cardiac Strain Imaging in Women with Gestational Diabetes Mellitus. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **58**, 278-284. <https://doi.org/10.1002/uog.23666>
- [30] 赵鹤, 刘晶, 孟涛. 二维斑点超声追踪显像技术评价围产期心肌病患者左心房功能的变化[J]. 中国医科大学学

- 报, 2015, 44(7): 581-584.
- [31] 刘佩君, 谢玉环, 李秀兰. 二维斑点追踪成像对甲状腺功能减低孕妇心功能改变的评估价值[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(1): 123-125.
- [32] Ghanbari, M., Jeddi, S., Bagheripour, F. and Ghasemi, A. (2015) The Effect of Maternal Hypothyroidism on Cardiac Function and Tolerance to Ischemia-Reperfusion Injury in Offspring Male and Female Rats. *Journal of Endocrinological Investigation*, **38**, 915-22. <https://doi.org/10.1007/s40618-015-0267-x>
- [33] Drenthen, W., Boersma, E., Balci, A., *et al.* (2010) Predictors of Pregnancy Complications in Women with Congenital Heart Disease. *European Heart Journal*, **31**, 2124-2132. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq200>
- [34] Cornette, J., Ruys, T.P.E., Rossi, A., *et al.* (2013) Hemodynamic Adaptation to Pregnancy in Women with Structural Heart Disease. *International Journal of Cardiology*, **168**, 825-831. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.10.005>
- [35] Fukumitsu, A., Muneuchi, J., Watanabe, M., Sugitani, Y., Kawakami, T. and Ito, K. (2021) Echocardiographic Assessments for Peripartum Cardiac Events in Pregnant Women with Low-Risk Congenital Heart Disease. *International Heart Journal*, **62**, 1062-1068. <https://doi.org/10.1536/ihj.20-807>