

# 超声心动图在健康孕妇左心房功能评价中的应用进展

王美娟<sup>1</sup>, 於晓平<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>扬州大学附属医院超声科, 江苏 扬州

<sup>2</sup>扬州大学医学院, 江苏 扬州

Email: \*stgyxp@126.com

收稿日期: 2021年2月24日; 录用日期: 2021年3月11日; 发布日期: 2021年3月18日

## 摘要

妊娠期女性心脏形态和功能均会出现适应性转变, 同时也增加了各类心脏疾病的发生风险。其中左心房结构和功能重构是妊娠期心血管系统生理性变化过程中不可忽视的环节, 它既是左心室舒张功能障碍的敏感指标, 也是孕期心血管事件的有效预测因子。超声心动图可多参数、多模态、多角度综合定量评估妊娠期左心房结构和功能变化, 现已成为妊娠期首选的无创、非放射性的心脏结构和功能检查手段。不同类型的超声心动图在左心房功能评价上各有侧重, 为此, 本文将针对超声心动图对妊娠期左心房结构及功能变化评价的价值及其进展做一综述。

## 关键词

超声心动图, 妊娠, 心房功能

# Application Progress of Echocardiography in Evaluation of Left Atrial Function in Healthy Pregnant Women

Meijuan Wang<sup>1</sup>, Xiaoping Yu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

<sup>2</sup>Yangzhou University Medical College, Yangzhou Jiangsu

Email: \*stgyxp@126.com

Received: Feb. 24<sup>th</sup>, 2021; accepted: Mar. 11<sup>th</sup>, 2021; published: Mar. 18<sup>th</sup>, 2021

\*通讯作者。

## Abstract

The shape and function of the heart of pregnant women will undergo adaptive changes, which also increase the risk of various heart diseases. The structural and functional reconstruction of the left atrium is a link that cannot be ignored in the physiological changes of the cardiovascular system during pregnancy. It is not only a sensitive indicator of left ventricular diastolic dysfunction, but also an effective predictor of cardiovascular events during pregnancy. Echocardiography can comprehensively and quantitatively evaluate the changes in left atrial structure and function during pregnancy with multiple parameters, multiple modes, and multiple angles. It has become the first choice for non-invasive, non-radioactive cardiac structure and function examination during pregnancy. Different types of echocardiography have their own emphasis on the evaluation of left atrial function. For this reason, this article will review the value and progress of echocardiography in the evaluation of changes in left atrial structure and function during pregnancy.

## Keywords

Echocardiography, Pregnancy, Atrial Function

Copyright © 2021 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

妊娠期女性心脏的形态、血流动力学和功能等都会发生适应性改变[1] [2], 尤其在晚期妊娠时, 容量负荷剧烈增加、外周阻力降低以及激素系统改变都可能恶化潜在的心脏疾病[3]。国家卫生健康委员会发布的《中国妇幼健康事业发展报告(2019)》显示 2018 年全国孕产妇死亡率达 18.3/10 万, 据统计, 心脏病(2.0/10 万)和妊娠期高血压疾病(1.6/10 万)位列孕产妇死亡病因第三、四位[4]。超声心动图为妊娠期首选的无创、非放射性的心脏结构和功能检查手段[5], 对评估妊娠合并心脏病、高血压、免疫系统疾病等心血管系统疾病高危人群的妊娠风险具有重要价值[6]。既往研究多关注于妊娠期母体左心室改变, 对左心房功能及心血管适应性改变的相关性研究较少, 而研究表明, 左房结构和功能重构是左室舒张功能障碍的敏感指标, 也是心血管事件的有效预测因子[7]。临床工作中, 最常用于评估妊娠期女性心脏功能的检测手段为二维超声心动图, 可初步判定左心房大小及其收缩功能。三维超声心动图能够进一步估测左心房容积, 更准确地比较不同心动周期时相中左心房形态和左心房容积的变化。而斑点追踪技术在二维超声心动图的基础之上, 更有效地从局部至整体定量评估左心房心肌的运动能力。因此, 为总结超声心动图对妊娠期左心房结构及功能变化评价的价值及其进展, 本文就此做一综述。

## 2. 左心房功能及相关评估参数

左心房在心脏的整个运动周期中具有多重作用, 根据心动周期可分为三种功能[8] [9]: ① 储备期功能: 在心室收缩期, 左心房储存来自肺静脉的血流, 并将能量以压力形式储存; ② 管道期功能: 在心室舒张期早期, 左心房作为一个管道使肺管的血流流入左心室(被动排空); ③ 助泵期功能: 在心室舒张末期, 左心房主动收缩维持左心室的充盈(主动排空)。

在心动周期中存在三种左房容积(Left atrial volume, LAV)参数: ① 左心房最大容积(LA maximum

volume, LAV<sub>max</sub>): 为收缩晚期二尖瓣即将开放时左心房的容积; ② 左心房最小容积(LA minimum volume, LAV<sub>min</sub>): 为心电图 R 波顶点即二尖瓣关闭时左心房的容积; ③ 左心房收缩前容积(LA pre-contraction volume, LAV<sub>pre-a</sub>): 为心电图 P 波起始左心房开始收缩时的容积。上述参数可用于评估左心房各时相功能 [10] [11]:

评价储备期功能: ① 左心房总射血容积(LA total emptying volume, total EV) = LAV<sub>max</sub> - LAV<sub>min</sub>; ② 左心房扩张指数 = (LAV<sub>max</sub> - LAV<sub>min</sub>)/LAV<sub>min</sub> × 100%; ③ 左心房射血分数(LA ejection fraction, LAEF) = (LAV<sub>max</sub> - LAV<sub>min</sub>)/LAV<sub>max</sub> × 100%。

评价管道期功能: ① 左心房被动射血容积(LA passive emptying volume, passive EV) = LAV<sub>max</sub> - LAV<sub>pre-a</sub>; ② 左心房被动射血分数(LA passive ejection fraction, passive EF) = (LAV<sub>max</sub> - LAV<sub>pre-a</sub>)/LAV<sub>max</sub> × 100%; ③ 左心房管道容积 = 左心室每搏量 - total EV。

评价助泵期功能: ① 左心房主动射血容积(LA active emptying volume, active EV) = LAV<sub>pre-a</sub> - LAV<sub>min</sub>; ② 左心房主动射血分数(LA active ejection fraction, active EF) = (LAV<sub>pre-a</sub> - LAV<sub>min</sub>)/LAV<sub>pre-a</sub> × 100%。

除此以外, 常规用于左心房评估的超声参数有左心房内径(Left atrial diameter, LAD)、左心房前后径(Left atrial anteroposterior diameter, LAAD)、左房面积(Left atrial area, LAA)等[12]。左心房收缩功能可以由二尖瓣口舒张晚期最大血流速度评估。2015 年美国超声心动图学会与欧洲心血管影像协会共同建议采用双平面圆盘叠加法和面积 - 长度法进行 LAV 估测, 并推荐将 LAV 作为评估左房大小的首选参数[13]。首选 LAV 来评价左心房的大小, 一方面是因为左房的扩大往往是不对称的, 它的扩大可能受到胸廓和脊柱的限制, 所以单纯的 LAD 或 LAAD 测量不能精确反映 LAV 的变化[12]; 另一方面, 研究显示 LAV 与心血管疾病的预测和预后相关性更强[14]。Tsang TS [15]等对 423 个患者的心血管疾病发展进行前瞻性研究, 研究发现 LAV 能够较好地预测心血管事件(AUC 0.71)。

近年来, 左心房各时相功能还可以通过心肌应变软件进行评估[16]。其中, 应变(Strain, S)是指心肌的形变, 应变率(Strain rate, SR)则用于评价应变的变化率。在心动周期中, 因左心房应变曲线基于软件分析的起始点不同存在两种模式[17]: ① P 波为起始点, 心房舒张末期为 0 参考值: 负向应变峰值代表舒张晚期应变(助泵期功能), 随后的正向应变峰值代表舒张早期应变(管道期功能), 二者相加代表储备功能; ② QRS 波为起始点, 心室舒张末期为 0 参考值: 正向长轴应变峰值代表了储备期功能, 第一次负向应变峰值代表了舒张早期应变(管道期功能), 第二次负向应变代表了舒张晚期应变(助泵期功能)。但是不论采用何种模式, 心室收缩期应变率(Strain rate in ventricular systole, SSR)代表储备期功能, 舒张早期应变率(Early diastolic strain rate, ESR)代表管道期功能, 舒张晚期应变率(Late diastolic strain rate, ASR)代表助泵期功能。

### 3. 妊娠期左心房二维超声心动图评估

二维超声心动图广泛应用于临床辅助诊断, 也是孕妇最常接触到的常规超声检查之一。何志宏[18]等人对不同孕期妇女进行超声心动图检查, 首次建立了妊娠期超声心动图各项指标的参考值范围。研究结果表明 LAD 随孕周增大而显著增大(F 值 5.6,  $P < 0.01$ ), 证实了妊娠期心脏存在随着孕周增大的生理性变化。此外, 该研究还指出现有超声心动图正常值范围对于妊娠期妇女并不完全适用, 建立妊娠期妇女超声心动图指标正常值范围有重要意义。Melchiorre K [19]等人为了了解妊娠期母体心脏从心肌到腔室的适应性变化, 对 559 名孕妇和 50 名健康未孕志愿者进行对照研究。研究结果提示孕妇 LAD 随着妊娠进展而逐渐增大, 但经过体表面积标准化的 LAD (indexed LAD, LADI)在妊娠期间变化无统计学差异, 仅表现为比对照组略有下降。该结果提示我们应将个体形体与超声指标综合考虑或能减少测量结果假阳性。Iacobaeus C [20]等人对 52 名初孕女性妊娠期和产后心血管改变进行前瞻性纵向观察研究, 研究结果显示

妊娠期 LAD 逐渐增大, 产后恢复至正常水平(一期  $31.02 \pm 3.91$  mm, 二期  $34.06 \pm 3.58$  mm, 三期  $33.9 \pm 2.97$  mm, 产后 9 个月  $30.41 \pm 3.59$  mm,  $P < 0.001$ ); 二尖瓣 A 峰速度也逐渐增加, 产后恢复正常(一期  $0.49 \pm 0.11$  m/s, 二期  $0.52 \pm 0.13$  m/s, 三期  $0.53 \pm 0.13$  m/s, 产后 9 个月  $0.46 \pm 0.09$  m/s,  $P < 0.05$ )。此研究表明, 妊娠期间母体心脏不仅具有代偿性变化, 而且呈可逆性。该研究还提出妊娠期 A 峰速度增加, 关于其速度增加的原因, Kametas NA [21] 等的研究认为妊娠期 A 峰速度增加一方面是因为左心房静脉回流(前负荷)增加, 另一方面因为妊娠晚期心肌肥厚和外周阻力(后负荷)的增加导致 E 峰速度降低 A 峰速度增加。Yosefy C [22] 等也提出妊娠引起的容量超负荷增强了左室舒张, 导致舒张期 E 波减少, 迫使左心房加强收缩(A 波)。

#### 4. 妊娠期左心房三维超声心动图评估

如前所述, LAV 与心血管疾病的预测和预后相关性更强, 因此三维超声心动图在 LAV 的估测上有明显优势。Keller A [23] 等分别对 21 名健康或有基础疾病的志愿者进行一维、二维和三维经胸超声心动图检查来测量  $LAV_{max}$ , 并将测量结果与磁共振成像测量结果进行对照。结果显示三维超声心动图与磁共振成像在 LAV 测量上的相关性最好 ( $r = 0.90$ )。Levy F [24] 等对比分析了 56 例窦律性心律失常患者三维超声和磁共振测量的 LAV 和 LAEF 大小, 结果表明二者测量值之间存在显著的相关性( $r = 0.78$ ), 两组 LAEF 数值非常近似, 但三维超声心动图轻微低估 LAV。雷芳[25]采用实时三维超声心动图对 82 例健康孕妇和 50 例未孕妇女的左心功能进行对照研究, 发现随孕周逐渐增加, 中晚孕组  $LAV_{max}$  与对照组差异具有统计学意义, 尤期孕晚期增至最大。此外, Yosefy C [22] 等人为研究晚孕期女性左心房功能变化, 采用实时三维超声心动图分析早期三期妊娠(孕龄 26~33 周)和晚期三期妊娠(孕龄 34~40 周)孕妇的容积性和功能性心房参数, 结果显示早期及晚期三期妊娠孕妇经体表面积标准化的  $LAV_{max}$  较对照组明显升高(对照组  $19.42 \pm 0.1$  ml/m<sup>2</sup>, 早期三期妊娠  $23.89 \pm 4.89$  ml/m<sup>2</sup>, 晚期三期妊娠  $24.7 \pm 3.5$  ml/m<sup>2</sup>,  $P < 0.01$ ), 经体表面积标准化的 LAEV 也较对照组明显升高(对照组  $12.02 \pm 2.5$  ml/m<sup>2</sup>, 早期三期妊娠  $14.71 \pm 3.21$  ml/m<sup>2</sup>, 晚期三期妊娠  $15.19 \pm 2.7$  ml/m<sup>2</sup>,  $P < 0.01$ ), 但  $LAV_{min}$  较对照组虽略有升高但无统计学差异。

此外, 全容积成像作为实时三维超声心动图成像方式之一, 在成像范围、显示心腔内立体结构等方面有自己的优势。贾莉[26]采用全容积三维超声心动图对 52 例健康孕妇(包括早孕组 15 例、中孕组 18 例、晚孕组 19 例)及年龄匹配的 20 例健康未孕妇女(对照组)进行左心结构和功能检测, 结果显示  $LAV_{max}$ 、LAEF 随孕周进展逐渐增加, 妊娠中晚期较对照组及早孕组差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 尤其孕晚期  $LAV_{max}$  增至最大, 较对照组增长约 55.28%; 而 LAEF 妊娠期无明显变化, 仅中孕组较其他组略高( $P > 0.05$ )。以上 3 个研究均表明  $LAV_{max}$  在中晚孕期明显增大, LAEV 也随之增大, 但后者提到 LAEF 在孕期无明显变化。而 Cong J [11] 等采用实时三维超声心动图对 43 名健康孕妇和 30 名健康未孕女性的左心功能进行对照研究时发现, 伴随着孕周增加, 孕妇 LAEF (一期  $67.0\% \pm 6.2\%$ , 二期  $74.2\% \pm 6.3\%$ , 三期  $81.3\% \pm 4.3\%$ )、passive EF (一期  $34.9\% \pm 7.2\%$ , 二期  $41.0\% \pm 8.7\%$ , 三期  $51.8\% \pm 10.1\%$ )及 active EF (一期  $48.5\% \pm 9.0\%$ , 二期  $55.9\% \pm 10.7\%$ , 三期  $60.0\% \pm 9.7\%$ )均逐渐增高; 到孕晚期, 三项 EF 值均达到最高值。上述两项研究结果的差异性, 提示妊娠期 LAEF 的应用价值仍需进一步探索。

#### 5. 二维斑点追踪技术评估妊娠期左心房变化

二维斑点追踪超声心动图(Two-dimensional speckle-tracking echocardiography, 2D STE)是近年发展起来的一项非侵入性评估局部心肌功能的超声新技术, 该技术通过测量心肌组织形变定量评价心肌运动情况[27], 在评估左房相位功能方面, 它较传统超声心动图具有更高的准确性和重现性[28]。Tasar Onur [29] 等通过 2D STE 对 47 名健康孕妇的左心房力学变化进行前瞻性研究, 结果显示, 左房储备功能在妊娠一



期、二期、三期逐渐下降并在产后 6 月恢复至原先水平(一期  $40.3\% \pm 11.7\%$ , 二期  $37.5\% \pm 12.9\%$ , 三期  $33.5\% \pm 9.0\%$ , 产后  $42.1\% \pm 11.1\%$ ,  $P < 0.01$ ), 辅助泵功能变化规律与储备功能相同(一期  $16.7\% \pm 7.4\%$ , 二期  $14.8\% \pm 5.5\%$ , 三期  $12.7\% \pm 4.3\%$ , 产后  $15.8\% \pm 5.5\%$ ,  $P < 0.01$ )。此外, 代表左心房储备期心肌应变能力的 SSR 也呈现出相同规律(一期,  $2.1 \pm 0.5$ ; 二期,  $1.8 \pm 0.5$ ; 三期,  $1.7 \pm 0.4$ ; 产后  $1.9 \pm 0.5$ ;  $P < 0.01$ ), 不同的是, 代表管道期心肌应变能力的 ESR 和代表辅助泵期心肌应变能力的 ASR 在妊娠期无明显变化。宋光[30]等应用 2D STE 对 25 名孕妇及 24 名未孕女性进行对照研究, 与对照组相比, 产前组反映左心房储备功能的 SSR 和反映辅助泵功能的 ASR 的绝对值均增加, 反映左心房管道功能的 ESR 的绝对值下降。上述研究在妊娠期左心房功能和左心房心肌应变能力变化规律等方面结果并不一致, 且此方面文献报道较少, 仍需积极探索。

## 6. 不足与展望

目前应用超声心动图评估健康孕妇左心房结构和功能变化的研究较少, 虽然有研究[31]表明三维斑点追踪超声心动图(Three-dimensional speckle-tracking echocardiography, 3D STE)在左心房结构与功能评估方面更加精准, 对主要心脏事件的预测能力更强, 但目前将 3D STE 用于检测健康孕妇左心房心肌应变能力的研究较少。另外, 应用超声心动图评估孕妇产后左心功能变化的研究也相对较少, 且结果存在争议。何宏志[18]等人曾在研究中发现产后 42 天, LAD、左室收缩末期内径、左室舒张末期内径、右心房内径等反映左、右心腔大小的结构性指标虽然较孕期有明显回落, 但均未恢复到孕前水平, 说明妊娠妇女心脏结构的恢复是一个缓慢的过程, 产后 42 天尚没有完全恢复, 这与以往产后 42 天即过了危险期的观念不同, 部分患者仍需继续随访, 防止心衰等不良心血管事件的发生。Takeshi Umazume [32]等人的研究显示, 最大的心脏形态变化发生在产后 1 周内而非妊娠期内, 孕妇产后早期高敏感性心肌钙蛋白水平显著升高, 这提示健康孕妇产后也可能发生短暂的心肌细胞损伤, 且剖腹产女性产后 LAV 指数和 NT-proBNP 水平显著高于自然分娩组。上述研究均提示我们应关注孕妇产后左心功能变化。此外, 不同分娩方式、多产或多胎是否对孕妇产后心功能的恢复具有影响仍待研究。

综上所述, 妊娠期左心房的结构和功能变化可以较好地预测妊娠期心血管并发症, 并在一定程度上反映疾病的预后情况。目前, 二维超声心动图仍是评估妊娠期女性心脏功能最基础、最常用的检测手段, 但其评估容积大小的准确性逊于三维超声心动图。STE 技术能够从局部到整体对心肌运动能力进行定量评价, 同时可分析不同时相心房功能和容积的变化。因此, 超声心动图在评价妊娠期女性左心房结构和功能变化方面具有重要意义, 应将超声心动图检查列为产科检查的常规项目之一。

## 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] Jin, Y., Lu, J., Jin, H., *et al.* (2018) Reference Intervals for Biochemical, Haemostatic and Haematological Parameters in Healthy Chinese Women during Early and Late Pregnancy. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, **56**, 973-979. <https://doi.org/10.1515/cclm-2017-0804>
- [2] Vogt, M., Muller, J., Kuhn, A., *et al.* (2015) Cardiac Adaptation of the Maternal Heart during Pregnancy: A Color-Coded Tissue Doppler Imaging Study-Feasibility, Reproducibility and Course during Pregnancy. *Ultraschall in der Medizin*, **36**, 270-275. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1366359>
- [3] Halpern, D.G., Weinberg, C.R., Pinnelas, R., *et al.* (2019) Use of Medication for Cardiovascular Disease during Pregnancy: JACC State-of-the-Art Review. *Journal of the American College of Cardiology*, **73**, 457-476. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.10.075>
- [4] 林建华, 缪慧娟. 加强妊娠合并心脏病多学科协作治疗模式管理, 降低孕产妇死亡率[J]. 中国实用妇科与产科

- 杂志, 2019, 35(11): 1185-1188.
- [5] O'Kelly, A.C., Sharma, G., Vaught, A.J., *et al.* (2019) The Use of Echocardiography and Advanced Cardiac Ultrasonography during Pregnancy. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*, **21**, 71. <https://doi.org/10.1007/s11936-019-0785-5>
- [6] Visentin, S., Palermo, C., Camerin, M., *et al.* (2017) Echocardiographic Techniques of Deformation Imaging in the Evaluation of Maternal Cardiovascular System in Patients with Complicated Pregnancies. *BioMed Research International*, **2017**, Article ID: 4139635. <https://doi.org/10.1155/2017/4139635>
- [7] Hoit, B.D. (2017) Left Atrial Remodeling: More than Just Left Atrial Enlargement. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, **10**, Article ID: 006036. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.117.006036>
- [8] Khan, M.S., Memon, M.M., Murad, M.H., *et al.* (2020) Left Atrial Function in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Journal of Heart Failure*, **22**, 472-485. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1643>
- [9] Xing, Y., Chen, Y., Liu, Y., *et al.* (2019) Evaluation of Left Atrial Volume and Function in Patients with Coronary Slow Flow Phenomenon Using Real-Time Three-Dimensional Echocardiography. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **35**, 2197-2203. <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01676-9>
- [10] Tanaka, S., Noda, T., Kawasaki, M., *et al.* (2019) Relationship between Electrical Conduction and Phasic Left Atrial Function: P-Wave Signal-Averaged Electrocardiography and Time-Left Atrial Volume Curve Assessments Using Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography. *Heart Vessels*, **34**, 1212-1220. <https://doi.org/10.1007/s00380-019-01351-y>
- [11] Cong, J., Yang, X., Zhang, N., *et al.* (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>
- [12] Kebed, K.Y., Addetia, K. and Lang, R.M. (2019) Importance of the Left Atrium: More Than a Bystander? *Heart Failure Clinics*, **15**, 191-204. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2018.12.001>
- [13] 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. *European Heart Journal: Cardiovascular Imaging*, **16**, 233-271. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev014>
- [14] Sierra-Galan, L.M. (2019) Left Atrial Volume, a Simple Measure but Strong Predictor of Cardiovascular Events in Non-Contrast Computed Tomography. *IJC Heart & Vasculature*, **23**, Article ID: 100368. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2019.100368>
- [15] Tsang, T.S., Abhayaratna, W.P., Barnes, M.E., *et al.* (2006) Prediction of Cardiovascular Outcomes with Left Atrial Size: Is Volume Superior to Area or Diameter? *Journal of the American College of Cardiology*, **47**, 1018-1023. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.08.077>
- [16] Haji, K., Wong, C., Wright, L., *et al.* (2019) Left Atrial Strain Performance and Its Application in Clinical Practice. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **12**, 1093-1101. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.11.009>
- [17] Gan, G.C.H., Ferkh, A., Boyd, A., *et al.* (2018) Left Atrial Function: Evaluation by Strain Analysis. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, **8**, 29-46. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.06.08>
- [18] 何志宏, 张羽, 牛永华, 等. 正常妊娠孕妇孕期常用超声心动图指标的测定及参考值的确定[J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2019(10): 1142-1149.
- [19] Melchiorre, K., Sharma, R., Khalil, A., *et al.* (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>
- [20] Iacobaeus, C., Andolf, E., Thorsell, M., *et al.* (2018) Cardiac Function, Myocardial Mechano-Energetic Efficiency, and Ventricular-Arterial Coupling in Normal Pregnancy. *Journal of Hypertension*, **36**, 857-866. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000001612>
- [21] Kametas, N.A., McAuliffe, F., Hancock, J., *et al.* (2001) Maternal Left Ventricular Mass and Diastolic Function during Pregnancy. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **18**, 460-466. <https://doi.org/10.1046/j.0960-7692.2001.00573.x>
- [22] Yosefy, C., Shenhav, S., Feldman, V., *et al.* (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>
- [23] Keller, A., Gopal, A. and King, D. (2000) Left and Right Atrial Volume by Freehand Three-Dimensional Echocardiography: *In Vivo* Validation Using Magnetic Resonance Imaging. *European Journal of Echocardiography*, **1**, 55-65. <https://doi.org/10.1053/euje.2000.0010>
- [24] Levy, F., Iacuzio, L., Schouver, E.D., *et al.* (2019) Performance of a New Fully Automated Transthoracic

- Three-Dimensional Echocardiographic Software for Quantification of Left Cardiac Chamber Size and Function: Comparison with 3 Tesla Cardiac Magnetic Resonance. *Journal of Clinical Ultrasound*, **47**, 546-554. <https://doi.org/10.1002/jcu.22764>
- [25] 雷芳. 实时三维超声心动图对健康孕妇左心功能的评价[J]. 影像研究与医学应用, 2018(9): 111-112.
- [26] 贾莉. 全容积三维超声心动图评价健康孕妇左心功能的研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连医科大学, 2009.
- [27] Cameli, M., Incampo, E. and Mondillo, S. (2017) Left Atrial Deformation: Useful Index for Early Detection of Cardiac Damage in Chronic Mitral Regurgitation. *IJC Heart & Vasculature*, **17**, 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2017.08.003>
- [28] Miglioranza, M.H., Badano, L.P., Mihaila, S., *et al.* (2016) Physiologic Determinants of Left Atrial Longitudinal Strain: A Two-Dimensional Speckle-Tracking and Three-Dimensional Echocardiographic Study in Healthy Volunteers. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **29**, 1023-1034. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.07.011>
- [29] 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>
- [30] 宋光, 刘晶, 任卫东, 等. 二维斑点超声追踪显像技术评价孕期女性左心房功能变化[J]. 中国医学影像技术, 2015(6): 844-849.
- [31] Tsujiuchi, M., Yamauchi, T., Ebato, M., *et al.* (2019) Prognostic Value of Left Atrial Size and Functional Indices Measured by 3-Dimensional Speckle-Tracking Analysis. *Circulation Journal*, **83**, 801-808. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-18-0554>
- [32] Umazume, T., Yamada, T., Yamada, S., *et al.* (2018) Morphofunctional Cardiac Changes in Pregnant Women: Associations with Biomarkers. *Open Heart*, **5**, Article ID: 000850. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2018-000850>