

Three-dimension speckle tracking echocardiography (3D-STE) for quantitatively evaluating overall strain of left ventricular under changed volume load

JIANG Haibo, WANG Wei, XI Jiaying, TANG Jiamei, CHEN Kaibei,
WANG Lingxiao, JIN Xiucui*, SHEN Ruoyu
(Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of Navy Military
Medical University, Shanghai 200433, China)

[Abstract] **Objective** To observe overall strain of left ventricular under changed volume load by three-dimension speckle tracking echocardiography (3D-STE), quantitatively. **Methods** A total of 35 patients with simple patent ductus arteriosus (PDA, PDA group), 35 with secondary atrial septal defect (ASD, ASD group) and 35 healthy physical examinee (control group) were enrolled, and routine ultrasound and 3D-STE data were analyzed. Left ventricular end diastolic diameter (LVEDD), left ventricular end systolic diameter (LVESD), left ventricle posterior wall thickness at end-diastole (LVPWT), interventricular septum thickness (IVST), left ventricular end diastolic volume (LVEDV), left ventricular end systolic volume (LVESV), left ventricular ejection fraction (LVEF), pulmonary artery diameter (PAD), pulmonary arterial systolic pressure (PAP), global longitudinal/circumferential/radial/area strain (GLS/GCS/GRS/GAS) were compared. The impact factors of left ventricular GAS of PDA or ASD patients were observed. The value of 3D-STE for evaluating the three-dimensional overall strain of left ventricular under changed volume load was explored. **Results** There were significant differences of LVEDD, LVESD, LVEDV, LVESV, LVEF, PAD and PAP among 3 groups (all $P < 0.05$), as well as LVEDD, LVESD, LVEDV, LVESV and PAD between each 2 groups (all $P < 0.05$). LVEF of PDA group and control group were higher than that of ASD group (both $P < 0.05$), and PAP of PDA group was higher than that of ASD group and control group (both $P < 0.05$). There were significant differences of left ventricular GLS, GCS, GRS and GAS among 3 groups (all $P < 0.05$), as well as GCS, GRS and GAS between each 2 groups (all $P < 0.05$), while GLS of PDA group was higher than that of ASD group and control group (both $P < 0.05$). In PDA group, left ventricular GAS was linearly correlated with PAD, LVEDD, LVESD, LVEDV, LVESV, diameter and length of ductus arteriosus (all $P < 0.01$), and PAD, LVEDV and LVESV were the main influencing factors (all $P < 0.05$); In ASD group, left ventricular GAS was linearly correlated with defect width, LVEDD, LVEDV, LVESV and LVEF (all $P < 0.05$), and width of ASD was the main influencing factor ($P < 0.01$). **Conclusion** 3D-STE could quantitatively evaluate three-dimensional global strain of left ventricular under changed volume load. There was a linear correlation between left ventricular area strain and volume load, that as, left ventricular myocardial fiber remoulded with the change of volume load.

[Keywords] ventricular function, left; strain; volume load; echocardiography, three-dimensional; speckle tracking imaging

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2022.07.010

[第一作者] 蒋海波(1987—),男,安徽舒城人,硕士,主治医师。研究方向:心血管超声。E-mail: navyhb@163.com

[通信作者] 金修才,海军军医大学第一附属医院超声科,200433。E-mail: goldenxc@126.com

[收稿日期] 2022-01-25 [修回日期] 2022-04-09

三维斑点追踪成像(3D-STE)定量评价容量负荷改变后左心室整体应变情况

蒋海波, 王 韦, 奚佳颖, 汤佳美, 陈恺蓓, 王凌霄, 金修才*, 沈若宇

(海军军医大学第一附属医院超声科, 上海 200433)

[摘要] **目的** 采用三维斑点追踪成像(3D-STE)定量评价容量负荷改变后左心室整体应变情况。**方法** 选取动脉导管未闭(PDA)患者(PDA组)、继发型房间隔缺损(ASD)患者(ASD组)及健康体检者(对照组)各35人,分析其常规超声及3D-STE资料;比较组间左心室舒张末期内径(LVEDD)、收缩末期内径(LVESD)、后壁舒张末期厚度(LVPWT)、室间隔厚度(IVST)、左心室舒张末期容积(LVEDV)、收缩末期容积(LVESV)、射血分数(LVEF)、肺动脉内径(PAD)、肺动脉收缩压(PAP)、左心室整体纵向/圆周/径向/面积应变(GLS/GCS/GRS/GAS),观察PDA及ASD组左心室GAS的影响因素;评估3D-STE评价左心室容量负荷改变后其三维整体应变的价值。**结果** 3组LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV、LVEF、PAD及PAP差异均有统计学意义($P < 0.05$);组间两两比较,LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV及PAD差异均有统计学意义($P < 0.05$),PDA组及对照组LVEF均高于ASD组($P < 0.05$),PDA组PAP高于ASD组和对照组($P < 0.05$)。3组左心室GLS、GCS、GRS及GAS差异均有统计学意义($P < 0.05$),两两比较,组间GCS、GRS及GAS差异均有统计学意义($P < 0.05$);PDA组GLS高于ASD及对照组($P < 0.05$)。PDA组左心室GAS与PAD、LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV、动脉导管内径及长度均呈线性相关($P < 0.01$),其中PAD、LVEDV及LVESV为主要影响因素($P < 0.05$);ASD组左心室GAS与缺损处宽度、LVEDD、LVEDV、LVESV及LVEF均呈线性相关($P < 0.05$),其中缺损处宽度为主要影响因素($P < 0.01$)。**结论** 3D-STE可定量评价容量负荷改变后左心室三维整体应变,其面积应变与容量负荷呈线性相关,即左心室心肌纤维随容量负荷改变而发生重塑。

[关键词] 心室功能,左;应变;容量负荷;超声心动描记术,三维;斑点追踪成像

[中图分类号] R541; R445.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2022)07-1008-05

左心室壁由三层走行不同的心肌纤维构成,基底部以心内膜下斜行肌纤维为主,心尖部以心外膜下斜行肌纤维为主^[1];正常代偿范围内,心肌纤维长度和排列均可随前、后负荷改变而发生适应性变化,以保证正常心输出量^[2]。亦有研究^[3]认为左心室心肌纤维由一条始于主动脉根部、止于肺动脉根部的心肌带组成。动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)及房间隔缺损(atrial septal defect, ASD)均可出现左向右分流,前者可致左心室容量负荷增加,后者引起左心室容量负荷降低。本研究采用三维斑点追踪成像(three-dimension speckle tracking echocardiography, 3D-STE)评价PDA致左心室容量负荷增加及ASD致左心室容量负荷降低后左心室三维整体应变情况。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2015年10月—2017年11月就诊于海军军医大学第一附属医院的单纯PDA患者(PDA组)及继发型ASD患者(ASD组)各35例及同期接受常规超声及3D-STE检查的健康体检者35名(对照组)。PDA组男11例、女24例,年龄11~75岁、平均(38.1±14.9)岁,动脉导管内径0.30~0.90 cm、平均

(0.61±0.16)cm,动脉导管长度0.48~1.08 cm、平均(0.73±0.15)cm,肺动脉收缩压22.00~39.00 mmHg、平均(32.06±5.84)mmHg。ASD组男14例、女21例,年龄14~67岁、平均(36.9±10.0)岁,缺损处宽度0.70~3.30 cm、平均(1.89±0.73)cm,肺动脉收缩压22.00~38.00 mmHg、平均(27.94±4.32)mmHg。对照组男11名、女24名,年龄6~72岁,平均(38.8±16.1)岁。纳入标准:①超声经胸肺动脉长轴及主动脉弓切面见花色血流由主动脉进入肺动脉(PDA组)或剑突下双心房切面见花色血流通过房间隔(ASD组);②肺动脉收缩压<40 mmHg;③以Simpson法测量左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)≥52%。排除标准:①合并冠心病、高血压、糖尿病、心律失常、瓣膜疾病及其他心脏畸形;②声像图质量差,超过3个心脏节段无应变值。

1.2 仪器与方法 由1名具有11年工作经验的超声科主治医师,采用GE Vivid E9彩色多普勒超声诊断仪,频率1.7~3.3 MHz V4矩阵探头或频率1.7~3.3 MHz M5Sc探头及在机LVQ图像分析软件进行检查。嘱受检者仰卧,以水银式血压计测量右肱动脉压;再嘱

其左侧卧,连接同步心电图;以常规二维探头获取左心室长轴切面,于乳头肌水平获取左心室舒张末期内径(left ventricular end diastolic diameter, LVEDD)、收缩末期内径(left ventricular end systolic diameter, LVESD)、后壁舒张末期厚度(left ventricle posterior wall thickness at end-diastole, LVPWT)及室间隔厚度(interventricular septum thickness, IVST),并以 Simpson 法获取左心室舒张末期容积(left ventricular end diastolic volume, LVEDV)、收缩末期容积(left ventricular end systolic volume, LVESV)及 LVEF 于肺动脉长轴切面测量肺动脉内径(pulmonary artery diameter, PAD)、动脉导管内径及长度。计算肺动脉收缩压(pulmonary arterial systolic pressure, PAP): $PAP=肱动脉收缩压-跨未闭动脉导管压差(PDA 组)$ 或 $三尖瓣反流压差+右心房压(ASD 组)$ 。以 V4 矩阵探头于心尖部获取清晰的四腔心切面图像,触发 4D 模式,设置 4 个心动周期,调节帧频使之 $\geq 40\%$ 心率。

1.3 图像评估 以 LVQ 图像分析软件获取左心室整体纵向/圆周/径向/面积应变(global longitudinal/circumferential/radial/area strain, GLS/GCS/GRS/GAS);对每个参数均测量 3 次,取平均值。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 21.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布的计量资料,先行 3 组间单因素方差分析,再以 LSD-t 检验进行两两比较;采用 χ^2 检验比较计数资料。行 Pearson 相关性分析,建

立线性回归模型,并以逐步回归法筛选自变量。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料 3 组受检者性别、年龄、身高、体质量、体表面积、收缩压及舒张压差异均无统计学意义(P 均 >0.05),见表 1。

2.2 常规超声心动图 3 组 LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV、LVEF、PAD 及 PAP 差异均有统计学意义(P 均 <0.05);两两比较,组间 LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV 及 PAD 差异均有统计学意义(P 均 <0.05),PDA 组 LVEDD、LVESD、LVEDV 及 LVESV 均高于对照组和 ASD 组,对照组高于 ASD 组,而 PDA 组 PAD 高于 ASD 组和对照组(P 均 <0.05)且 ASD 组高于对照组($P < 0.05$);PDA 组和对照组 LVEF 均高于 ASD 组(P 均 <0.05),但 PDA 组与对照组差异无统计学意义($P > 0.05$);PDA 组 PAP 高于 ASD 组和对照组(P 均 <0.05),而 ASD 组与对照组差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。

2.3 3D-STE 3 组左心室 GLS、GCS、GRS 及 GAS 差异均有统计学意义(P 均 <0.05);组间两两比较,GCS、GRS 及 GAS 差异均有统计学意义(P 均 <0.05),且 PDA 组均高于 ASD 组和对照组(P 均 <0.05),而 ASD 组低于对照组($P < 0.05$)。PDA 组 GLS 高于 ASD 组及对照组(P 均 <0.05),但 ASD 组与对照组差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 3 和图 1。

表 1 PDA、ASD 患者及健康志愿者基本资料比较

组别	性别(例/名)		年龄(岁)	身高(cm)	体质量(kg)	体表面积(m ²)	收缩压(mmHg)	舒张压(mmHg)
	男	女						
PDA 组(n=35)	11	24	38.1±14.9	167.34±10.01	60.34±12.62	1.76±0.21	113.63±9.65	71.54±6.20
ASD 组(n=35)	14	21	36.9±10.0	168.29±6.59	58.43±6.68	1.74±0.12	112.23±7.17	69.83±7.31
对照组(n=35)	11	24	38.8±16.1	164.51±10.91	55.71±8.76	1.68±0.16	111.51±9.44	70.91±9.39
χ^2/F 值	0.76		0.17	1.54	2.02	1.91	0.52	0.44
P 值	0.68		0.84	0.22	0.14	0.15	0.60	0.65

表 2 PDA、ASD 患者及健康志愿者常规超声心动图参数比较

组别	LVEDD(cm)	LVESD(cm)	IVST(cm)	LVPWT(cm)	LVEDV(ml)	LVESV(ml)	LVEF(%)	PAD(cm)	PAP(mmHg)
PDA 组(n=35)	5.08±0.71*#	3.33±0.59*#	0.86±0.11	0.81±0.10	113.46±30.16*#	41.83±13.98*#	63.46±4.23*	2.62±0.51*#	32.06±5.84*#
ASD 组(n=35)	3.83±0.22#	2.08±0.19#	0.87±0.13	0.82±0.11	63.43±12.12#	25.81±6.12#	59.47±3.62#	2.40±0.40#	27.94±4.32
对照组(n=35)	4.20±0.22	2.74±0.22	0.82±0.13	0.80±0.12	82.23±11.34	31.40±5.01	61.73±4.10	2.14±0.18	27.17±3.63
F 值	72.50	95.60	1.40	0.23	56.59	26.91	8.77	13.84	10.99
P 值	<0.01	<0.01	0.25	0.80	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注:*,与 ASD 组比较 $P < 0.05$;#,与对照组比较 $P < 0.05$

表 3 PDA、ASD 患者及健康志愿者左心室 3D-STE 参数比较(%)

组别	GLS	GCS	GRS	GAS
PDA 组(n=35)	16.46±2.48*#	16.54±2.70*#	48.37±5.58*#	31.89±3.83*#
ASD 组(n=35)	10.46±2.89	10.47±2.96#	24.02±5.28#	16.89±2.70#
对照组(n=35)	11.58±3.47	12.44±3.28	30.27±9.04	22.20±4.96
F 值	40.27	37.53	119.30	130.26
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注：*：与 ASD 组比较 P<0.05；#：与对照组比较 P<0.05

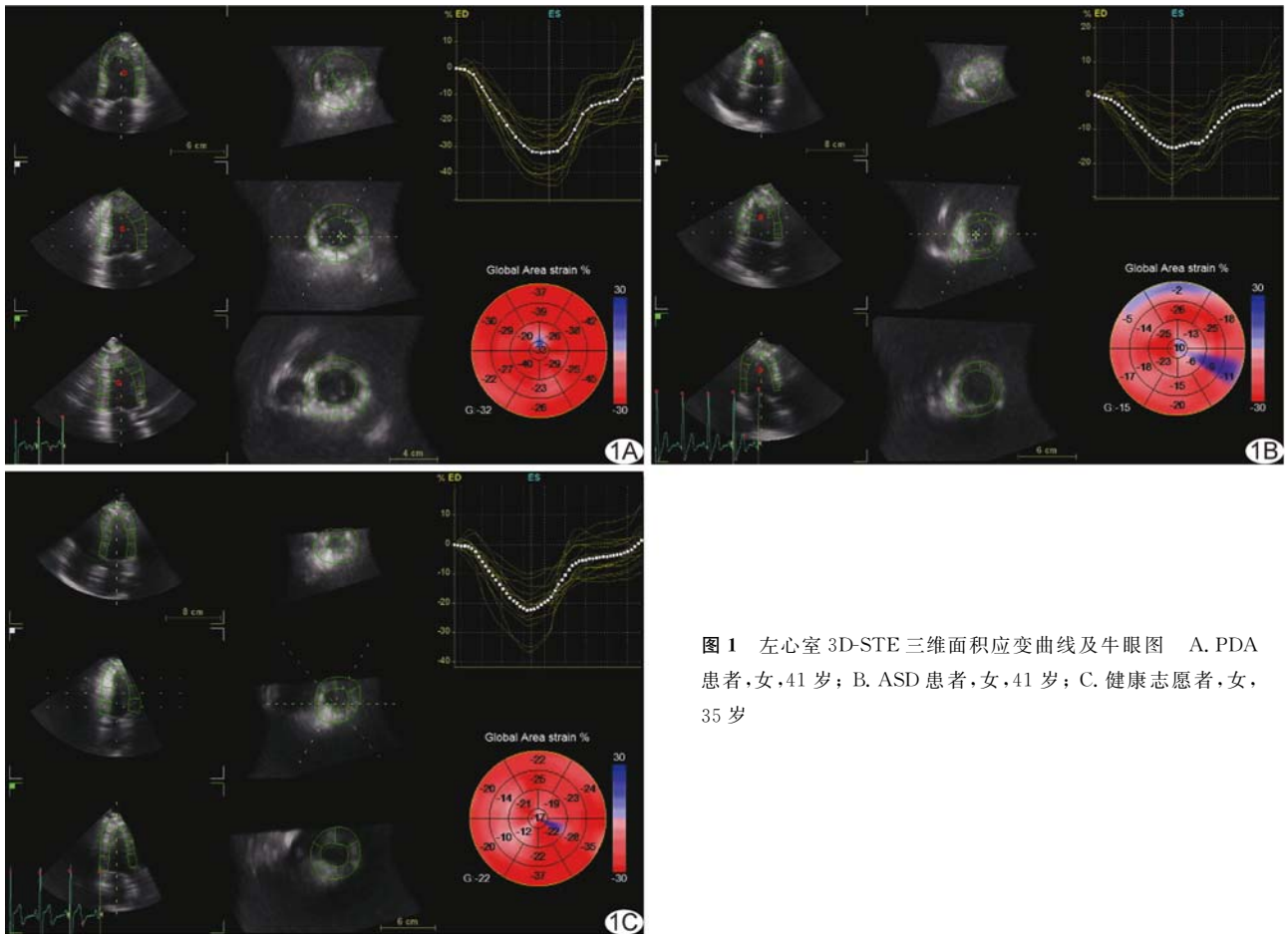


图 1 左心室 3D-STE 三维面积应变曲线及牛眼图 A. PDA 患者,女,41 岁; B. ASD 患者,女,41 岁; C. 健康志愿者,女,35 岁

2.4 相关性分析 PDA 组左心室 GAS 与 PAD、LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV、动脉导管内径及长度均呈线性相关($r=0.62, 0.70, 0.51, 0.74, 0.56, 0.65, 0.71, P$ 均 <0.01)；多因素回归分析显示, PAD ($P=0.03$)、LVEDV ($P<0.01$) 及 LVESV ($P<0.01$) 均为左心室 GAS 的主要影响因素。ASD 组左心室 GAS 与缺损处宽度、LVEDD、LVEDV、LVESV 及 LVEF 均呈线性相关($r=-0.89, 0.63, 0.83, 0.71, 0.45, P$ 均 <0.05)；缺损处宽度为左心室 GAS 的主要影响因素 ($P<0.01$)。

3 讨论

ASD 可出现左向右分流, 导致左心室容量负荷下

降, 同时右心室容量负荷可相应增加。本研究 ASD 组 LVEDD、LVESD、LVEDV 及 LVESV 均低于对照组, 一方面与 ASD 患者心房水平存在持续的左向右分流有关, 另一方面由于右心室容量负荷增加, 导致室间隔受挤压而向左移动, 使左心室容量负荷减少^[4]；ASD 组 LVEF 虽低于对照组, 但仍在正常范围内, 主要由于左心室心肌纤维走行角度随其容量负荷下降而改变的同时, 同一节段三层心肌跨壁分布及运动幅度亦发生变化^[5-6], 以保证机体正常的心输出量。当 ASD 患者肺循环量超过肺毛细血管本身的代偿后, 可引起 PAD 增宽, 甚至出现 PAP 增高。本研究 ASD 组与对照组患者 PAP 差异无统计学意义；可能由于本研究纳

入 ASD 患者肺循环血量虽增加,但仍处于代偿范围内,或与 ASD 处宽度较小有关。此外,本研究 ASD 组与对照组左心室 GLS 差异无统计学意义,可能与心内膜及心外膜下斜行心肌纤维代偿而其纵向扭转幅度增大有关^[7];ASD 组患者左心室 GCS、GRS 及 GAS 均低于对照组,主要由于心肌初始负荷下降,导致左心室心肌运动幅度减小,同时室间隔协助右心室做功,导致右心室输出量增加,使左心室短轴方向的运动阻力增大。

PDA 与 ASD 相反,其左向右分流可使左心室容量负荷增加,泵血能力增强;且左心室心肌纤维随其容量负荷的增加而被拉长,导致左心室形态适应性增大^[8]。本研究 PDA 组 LVEDD、LVESD、LVEDV、LVESV 及 LVEF 均高于对照组,符合上述 PDA 过程;此外,PDA 组 PAP 亦高于 ASD 组及对照组,主要由于正常情况下,肺循环压明显低于体循环压,故 PDA 患者未闭动脉导管内呈双期左向右分流,肺循环容量负荷明显增加,肺动脉管壁可优先出现容受性扩张以缓解分流冲击,同时其分流量直接进入肺循环,而 ASD 患者需通过右心室将增加的容量泵入肺动脉。本研究 PDA 组左心室 GLS、GCS、GRS 及 GAS 均高于对照组,主要由于左心室舒张末期容量负荷增加,使心肌纤维变长而张力增加,导致心肌应变值增加,而 GAS 受纵向及径向应变的共同影响亦随之增加。

超声及 3D-STE 均表明 PDA 与 ASD 左心室重构过程基本相反:ASD 患者左心室容量负荷下降,心肌纤维缩短,彼此间排列和分布更加紧凑,心腔缩小;相反,PDA 患者左心室容量负荷增加,心肌纤维变长,且其排列分布和走行角度均发生变化,左心室增大。表明随左心室容量负荷的改变,其心肌结构将自发发生重构^[9],以满足机体正常的心输出量。

此外,左心室 GAS 是 3D-STE 特有的应变指标,综合反映了左心室心肌纵向与圆周应变的矢量和^[10-12]。本研究发现,PDA 患者左心室 GAS 的主要影响因素为 PAD、LVEDV 及 LVESV,ASD 患者则为缺损处宽度。

本研究的主要局限性:①样本量小;②3D-STE 要求准确识别心内膜,如图像质量较差,可影响观察结果的准确性;③仅纳入单纯 PDA 及继发型 ASD 患者,未涉及 ASD 合并肺动脉高压及原发型 ASD 患者。

综上,3D-STE 可定量评价容量负荷改变后左心室三维整体应变,其面积应变与容量负荷呈线性相关,即左心室心肌纤维随容量负荷改变而发生重塑。

[参考文献]

- [1] WATSON S R, DORMER J D, FEI B. Imaging technologies for cardiac fiber and heart failure: A review [J]. *Heart Fail Rev*, 2018, 23(2):273-289.
- [2] QIN X, FEI B. DTI template-based estimation of cardiac fiber orientations from 3D ultrasound [J]. *Med Phys*, 2015, 42(6): 2915-2924.
- [3] MACIVER D H, PARTRIDGE J B, AGGER P, et al. The end of the unique myocardial band: Part II. Clinical and functional considerations [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 53(1): 120-128.
- [4] RAO P S. Outcomes of device closure of atrial septal defects [J]. *Children (Basel)*, 2020, 7(9):111.
- [5] FARHAJ Z, HONGXIN L, WENBIN G, et al. Device closure of diverse layout of multi-hole secundum atrial septal defect: Different techniques and long-term follow-up [J]. *Cardiothorac Surg*, 2019, 14(1):130.
- [6] KUMAR P, SARKAR A, KAR S K. Assessment of ventricular function in patients of atrial septal defect by strain imaging before and after correction [J]. *Ann Card Anaesth*, 2019, 22(1):41-46.
- [7] ALKHATEEB A, ROUSHDY A, HASAN-ALI H, et al. The changes in biventricular remodelling and function after atrial septal defect device closure and its relation to age of closure [J]. *Egypt Heart J*, 2020, 72(1):85.
- [8] ZENG D, CHEN H, JIANG C L, et al. Usefulness of three-dimensional spherical index to assess different types of left ventricular remodeling: A meta-analysis [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(36):e7968.
- [9] BREETVELD N M, ALERS R J, GEERTS L, et al. Low plasma volume and increased pressure load relate to concentric left ventricular remodeling after preeclampsia: A longitudinal study [J]. *J Am Heart Assoc*, 2020, 9(19):e015043.
- [10] 蒋海波,陈恺蓓,孙丽,等.三维斑点追踪成像技术评价房间隔缺损患者封堵前后左心室整体应变 [J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(4):523-527.
- [11] 蒋海波,赵颖燕,陈恺蓓,等.三维斑点追踪技术定量评价动脉导管未闭合并肺动脉高压患者左心室整体应变 [J]. *中国医学影像技术*, 2017, 33(S1):16-20.
- [12] 王凌霄,蒋海波,陈恺蓓,等.三维斑点追踪成像技术定量评价亚临床甲状腺功能亢进患者左心室收缩功能 [J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(7):1002-1007.