

❖ 心脏、血管影像学

Real-time 3D echocardiography and 2D speckle tracking imaging in evaluation on right ventricular shape and systolic function changes in divers after scuba diving

QIAN Shengli, YANG Li*, LIU Chang, LI Yan, MEI Xiaoxiong

(Department of Special Diagnosis, Chinese PLA 161 Hospital, Wuhan 430010, China)

[Abstract] **Objective** To observe changes of right ventricular shape and systolic function in divers after scuba diving with real-time 3D echocardiography and 2D speckle tracking imaging. **Methods** Recording of heart rate (HR) and conventional echocardiography were performed in 60 healthy divers before and immediately, 1 day, 3 days after scuba diving (wearing self-contained underwater respirator, constant temperature diving 11 m and 60 min), respectively, then 2D apical four-chamber heart and 3D right ventricular volumes dynamic images were stored. The right ventricle diameters and volume, right ventricle index of myocardial performance (RIMP), 2D global longitudinal strain of right ventricle free wall (2DGLS[F]), tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), right ventricular fractional area change (FAC), 3D right ventricular ejection fraction (3DRVEF) and 3D global longitudinal strain of right ventricle free wall (3DGLS[F]) were obtained before and immediately, 1 day, 3 days after scuba diving. All the parameters were compared before and after scuba diving. **Results** There was no significant difference of right ventricle middle transverse diameter, RIMP, right ventricular systolic volume, stroke volume, TAPSE nor 3DRVEF before and immediately, 1 day, 3 days after scuba diving ($P > 0.05$). Compared with the results before scuba diving, HR, 2DGLS(F), FAC and 3DGLS(F) decreased, while right ventricular end diastolic volume, right ventricular base transverse diameter and right ventricular long axis diameter increased immediately after scuba diving (all $P < 0.05$). One day later, 2DGLS(F) and 3DGLS(F) still decreased (all $P < 0.05$), the other parameters all restored to pre-dive level (all $P > 0.05$). Three days later, there was no significant difference of the above parameters ($P > 0.05$). **Conclusion** After scuba diving, right ventricular shape and systolic function of divers can slightly change in a short term, which can be sensitively observed with real-time 3D echocardiography of RV volume quantification analysis and 2D speckle tracking imaging technique.

[Keywords] ventricular function, right; echocardiography; diving; speckle tracking; shape

DOI:10.13929/j.1003-3289.201810163

实时三维超声及二维斑点追踪技术评价潜水员水肺潜水后右心室形态及收缩功能改变

钱胜利, 杨莉*, 刘畅, 李延, 梅泉雄

(中国人民解放军第161医院特诊科, 湖北 武汉 430010)

[摘要] **目的** 采用实时三维超声及二维斑点追踪技术评价潜水员水肺潜水后右心室形态及收缩功能改变。**方法** 对60名健康潜水员于潜水前及潜水(佩戴自携式水下呼吸器恒温潜水, 深度11 m, 时间60 min)后即刻、1天、3天测量心率(HR)并行常规超声心动图检查, 留存二维心尖四腔心及三维右心室容积动态图像, 分别获得潜水前及潜水后各时间点右心室各径线及容积测值、右心室做功指数(RIMP)、右心室游离壁二维整体纵向应变[2DGLS(F)]、三尖瓣环收缩期位移

[基金项目] 解放军超声医学专业委员会科研激励基金(JLJJ2016-005)。

[第一作者] 钱胜利(1978—), 男, 湖北黄梅人, 本科, 主治医师。研究方向: 心血管疾病的超声研究。E-mail: 38655206@qq.com

[通信作者] 杨莉, 中国人民解放军第161医院特诊科, 430010。E-mail: 835573604@qq.com

[收稿日期] 2018-10-29 **[修回日期]** 2019-04-30

(TAPSE)、右心室面积变化分数(FAC)、右心室三维射血分数(3DRVEF)及右心室游离壁三维整体纵向应变[3DGLS(F)]等指标。对潜水前后各指标进行统计学分析。**结果** 潜水前、潜水后即刻、1天、3天之间,右心室中部横径、RIMP、右心室收缩末容积、每搏输出量、TAPSE及3DRVEF总体差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。与潜水前比较,潜水后即刻HR、2DGLS(F)、FAC、3DGLS(F)均减低,右心室舒张末容积、右心室基底段横径、右心室长径均增大,差异均有统计学意义(P 均 <0.05);潜水后1天,2DGLS(F)、3DGLS(F)仍减低(P 均 <0.05),其他指标均恢复至潜水前水平(P 均 >0.05);潜水后3天上述各测量指标差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。**结论** 实时三维超声右心室容积定量及二维斑点追踪技术可反映潜水员潜水后短时间右心室形态及心肌收缩功能改变。

[关键词] 心室功能,右;超声心动图描记术;潜水;斑点追踪;形态

[中图分类号] R3; R540.45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2019)08-1195-05

目前潜水已成为国防、经济、科研、体育休闲和水下救援等领域的一种不可或缺的技术。研究^[1-3]表明,潜水后心脏泵血功能会因自由基产生和氧化还原平衡紊乱而发生适应性反应。Peacher等^[4]报道,水肺潜水导致心血管事件的风险明显高于预估的44%~72%。由于右心室独特的新月形结构和复杂运动增加了右心室径线测量和心肌定量分析的复杂性,既往对心室形态及收缩功能的研究多局限于左心室^[5-6],而对右心室的研究较少。本研究拟采用实时三维超声及二维超声斑点追踪技术观察潜水员右心室形态及收缩功能,探讨水肺潜水对潜水员右心室形态及收缩功能的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 于2017年6月招募63名健康男性潜水员,年龄21~54岁,平均 (32.1 ± 7.8) 岁,潜龄2~19年(其中潜龄2~5年45名,6~10年9名,11~15年6名,16~19年3名),排除1名窦性心动过缓伴明显心律不齐及2名右心室超声图像显示不佳者,最终纳入60名,其临床查体、心电图及常规超声心动图均无异常发现。潜水前记录潜水员心率(heart rate, HR)、血压、身高、体质量等。本研究通过中国人民解放军第161医院医学伦理委员会审批,所有受试者均签署知情同意书。

1.2 潜水方法 60名潜水员均携带自携式呼吸系统分10批进入恒温潜水系统,潜水深度11m,潜水时长60min。

1.3 仪器与方法 采用GE Vivid E9超声诊断仪, M5s及4V-D探头,频率1.7~3.5MHz,配备EchoPAC脱机分析工作站。嘱受试者左侧卧,平静呼吸,同步连接心电图,采用M5s探头,常规检查、测量并留存以右心室为主的心尖四腔心动态图像;采用4V-D探头,获取多心动周期合成模式下的右心室三维全容积动态图像并储存。分别于潜水前、潜水后即刻、1天和3天行超声心动图检查,并存储动态图像。

1.3.1 右心室常规超声心动图测量 将图像传输至EchoPAC工作站,选取以右心室为主的心尖四腔心切面动态图像,于舒张期末三尖瓣环水平测量右心室基底段最大横径(right ventricular basal diameter, RVD1),于右心室中部相当于右心室心尖至三尖瓣环间的距离中点处测量右心室中部横径(right ventricular mid cavity diameter, RVD2),以右心室心尖至三尖瓣环间的距离为右心室长径(right ventricular longitudinal diameter, RVD3)。再选取三尖瓣环右心室侧壁附着点处组织多普勒频谱静态图像,测量三尖瓣关闭—开放时间(tricuspid valve closure to open time, TCO)及三尖瓣射血时间(ejection time, ET),计算右心室做功指数(right ventricular index of myocardial performance, RIMP), $RIMP = (TCO - ET) / ET$ 。

1.3.2 右心室三维测量参数 选取三维容积图像,进入Volume模式下的4DRV Volume测量菜单,软件自动识别右心室心尖四腔、两腔、三腔及右心室短轴基底水平、乳头肌水平、心尖水平切面,确定心尖及三尖瓣环中点位置,手动调节并确定右心室内膜追踪线,最后获得右心室内膜表面模型及舒张末容积(end diastolic volume, EDV)、右心室收缩末容积(end systolic volume, ESV)、每搏输出量(stroke volume, SV)、右心室三维射血分数(3D right ventricular ejection fraction, 3DRVEF)、右心室游离壁三维纵向应变[3D global longitudinal strain of free wall, 3DGLS(F)]、右心室面积变化分数(fractional area change, FAC)及三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)。

1.3.3 右心室游离壁二维纵向应变测量 选取以右心室为主的心尖四腔心切面动态图像,进入2D-strain菜单,手动勾画右心室游离壁心内膜,软件自动识别右心室游离壁,获得右心室游离壁基底段、中间段及心尖段节段纵向应变(longitudinal strain, LS, LS_{Base} 、

LS_{Mid}、LS_{Ap})、右心室游离壁二维整体纵向应变[2D global longitudinal strain of free wall, 2DGLS(F)]及应变曲线。以上各项均重复测量 3 次,取均值。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 19.0 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用重复测量的方差分析比较潜水前和潜水后各时间点的指标,两两比较采用 LSD 法;2DGLS(F)与 3DGLS(F)间的相关性采用 Pearson 相关分析,以 $|r| > 0.5$ 为强相关。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 常规参数比较 潜水前、潜水后即刻、1 天、3 天, RVD2 及 RIMP 总体差异无统计学意义(P 均 > 0.05),HR、RVD1、RVD3 总体差异有统计学意义(P 均 < 0.05)。与潜水前比较,潜水后即刻 HR 减低、RVD1、RVD3 增大(P 均 < 0.05);潜水后 1 天 RVD1、RVD3 已恢复至潜水前水平(P 均 > 0.05),HR 仍减低($P < 0.05$);潜水后 3 天上述各指标均已恢复至潜水前水平(P 均 > 0.05)。见表 1。

2.2 右心室三维参数比较 潜水前、潜水后即刻、1 天、3 天 ESV、SV、TAPSE、3DRVEF 总体差异无统计学意义(P 均 > 0.05),EDV、3DGLS(F)、FAC 总体差

异有统计学意义(P 均 < 0.05)。与潜水前比较,潜水后即刻 EDV 增大,3DGLS(F)、FAC 减低,差异有统计学意义(P 均 < 0.05);潜水后 1 天,EDV、FAC 已恢复至潜水前水平($P > 0.05$),但 3DGLS(F)仍减低($P < 0.05$);潜水后 3 天,上述指标已与潜水前无明显差异(P 均 > 0.05)。见表 2、图 1。

2.3 右心室游离壁二维纵向应变比较 潜水前、潜水后即刻、1 天、3 天,右心室游离壁各节段纵向应变(LS_{Base}、LS_{Mid}、LS_{Ap})及 2DGLS(F)总体差异均有统计学意义(P 均 < 0.05)。与潜水前比较,潜水后即刻、1 天右心室游离壁 LS_{Base}、LS_{Mid}、LS_{Ap}、2DGLS(F)均减低(P 均 < 0.05);潜水后 3 天,上述指标恢复至潜水前水平($P > 0.05$)。见表 3、图 2。

2.4 相关性分析 2DGLS(F)与 3DGLS(F)呈较强正相关($r = 0.711, P < 0.01$),见图 3。

3 讨论

近年来,随着斑点追踪及三维超声技术的发展,右心室心肌功能定量分析日益深入^[7-9]。尽管目前 MR 检查仍为右心室收缩功能定量分析的金标准,但已有研究^[10]表明,实时三维斑点追踪右心室容积定量与心脏 MRI 结果之间存在相关性。

表 1 潜水前后常规超声心动图测值比较($\bar{x} \pm s, n = 60$)

时间点	HR(次/分)	RVD1(mm)	RVD2(mm)	RVD3(mm)	RIMP
潜水前	75.60 ± 10.16	23.57 ± 2.34	30.63 ± 6.98	60.64 ± 8.57	0.36 ± 0.06
潜水后					
即刻	64.60 ± 7.85 *	26.51 ± 3.10 *	30.83 ± 7.20	64.27 ± 8.79 *	0.35 ± 0.07
1 天	71.13 ± 11.82 *	25.13 ± 3.50	30.39 ± 8.85	59.57 ± 7.52	0.34 ± 0.07
3 天	73.47 ± 8.30	25.14 ± 3.40	30.94 ± 7.66	61.35 ± 9.69	0.35 ± 0.07
F 值	11.495	5.531	0.155	3.363	0.780
P 值	0.009	0.037	0.926	0.021	0.508

注: * :与潜水前比较, $P < 0.05$

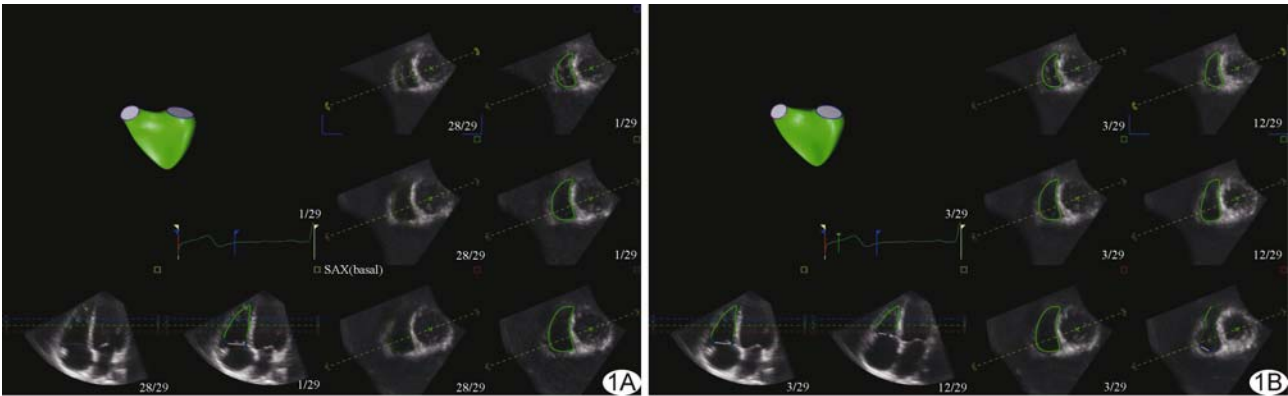


图 1 受试者男,26 岁,右心室三维超声成像 A. 潜水前; B. 潜水后即刻,EDV 增大,3DGLS(F)减低,ESV、SV、3DRVEF 无明显改变

表 2 潜水前后右心室三维参数比较($\bar{x} \pm s, n=60$)

时间点	EDV(ml)	ESV(ml)	SV(ml)	3DRVEF(%)	3DGLS(F)(%)	FAC(%)	TAPSE(mm)
潜水前	83.26±20.49	42.64±12.81	40.62±13.34	48.67±8.72	-18.04±13.82	36.99±9.27	13.11±3.31
潜水后							
即刻	93.80±29.65*	45.91±26.44	41.52±10.50	46.47±9.66	-13.74±11.64*	32.05±8.80*	12.73±4.50
1 天	86.13±19.78	44.91±13.70	41.04±13.40	47.10±6.41	-14.29±6.68*	37.16±9.73	12.52±2.76
3 天	84.61±21.66	43.65±16.16	43.97±7.92	47.72±7.32	-17.45±7.22	37.39±7.83	13.75±3.19
F 值	8.441	2.317	0.458	0.753	17.886	0.806	0.284
P 值	0.042	0.079	0.712	0.523	0.022	0.043	0.837

注: *:与潜水前比较, $P<0.05$ 表 3 潜水前后右心室游离壁二维纵向应变参数比较(%, $\bar{x} \pm s, n=60$)

时间点	LS _{Base}	LS _{Mid}	LS _{Ap}	2DGLS(F)
潜水前	-34.66±2.33	-33.75±1.95	-32.89±3.31	-33.93±3.42
潜水后				
即刻	-27.26±2.98*	-26.06±3.52*	-24.78±4.06*	-26.09±3.38*
1 天	-29.14±3.08*	-27.55±2.66*	-26.18±2.37*	-27.78±3.46*
3 天	-33.85±4.17	-32.96±3.56	-31.63±2.88	-32.85±4.24
F 值	19.982	46.871	9.747	25.192
P 值	0.014	<0.001	0.026	0.009

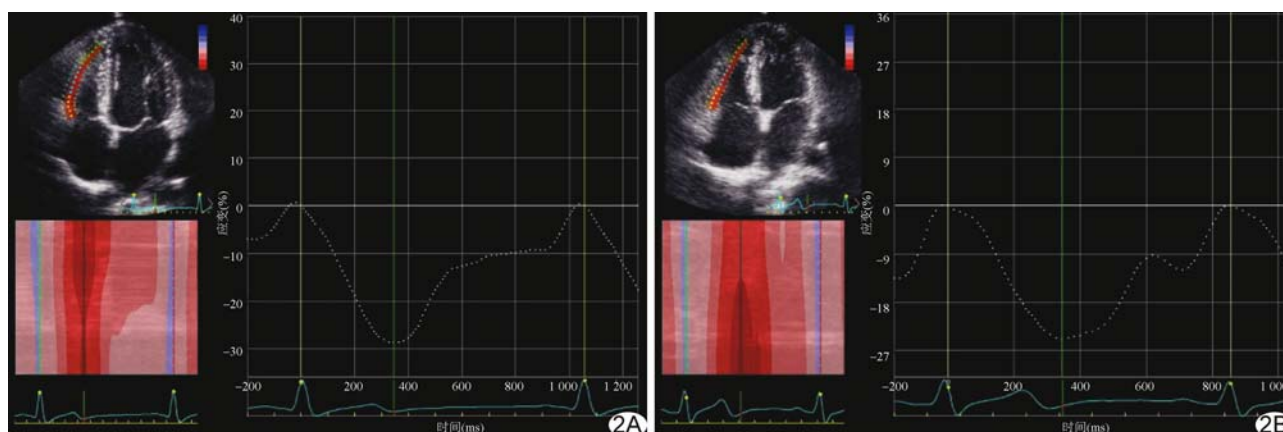
注: *:与潜水前比较, $P<0.05$ 

图 2 受试者男, 26 岁, 右心室 2DGLS(F) 曲线 A. 潜水前; B. 潜水后即刻, 2DGLS(F) 显著减低

本研究发现潜水后 HR 减低, 与黄育敏等^[11]的结果一致; RVD1、RVD3 及 EDV 均增大, 提示潜水后右心室扩大, 原因可能在于潜水过程中人体在水下呼吸自携气体, HR 下降, 心肌耗氧增加, 心肌缺血缺氧不可避免, 心脏泵血功能受损^[5-6], 且外周血管阻力增加, 回心血量增多。本研究发现潜水前后 ESV、RVD2 差异无统计学意义, 提示右心室在舒张末期和收缩末期均扩大, 且以长径和基底底部横径扩大为主。

既往研究^[12-13]认为 TAPSE 和 RIMP 是评价右心室收缩功能的重要指标。本研究潜水后 FAC 及 3DGLS(F) 明显减低, 而 3DRVEF、TAPSE 和 RIMP 无明显变化。推测既往 TAPSE 多由 M 型超声心动

图测得, 仅评估右心室游离壁基底段的纵向运动, 易受角度和心脏本身的位移影响, 其准确性低于三维超声心动图; RIMP 和 3DRVEF 是评估右心室整体收缩功能的重要参数, 但在本研究并无明显改变, 提示潜水后右心室心肌收缩功能与左心室^[6]一样仅轻微受损。本研究采用二维斑点追踪技术对右心室游离壁进行定量分析, 发现 LS 数值由高到低分别为基底段、中间段、心尖段; 潜水后即刻及 1 天 2DGLS(F) 明显减低, 至潜水后 3 天 2DGLS(F) 恢复至潜水前水平。分析其原因, 右心室心肌缺乏中间层, 室壁运动以心内膜下心肌的纵向运动为主; 且纵向肌纤维在右心室收缩过程中占据主导作用^[14], 一旦心内膜下冠状动脉微血管网缺

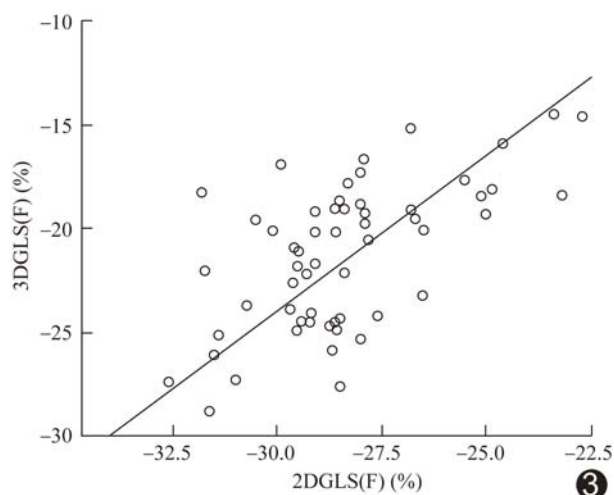


图 3 2DGLS(F)与 3DGLS(F)的相关性散点图

血缺氧,则心肌长轴方向上收缩功能将首先出现功能障碍。已有研究^[15-16]表明,整体 LS 评估右心室心肌功能优于其他指标,推测右心室游离壁 LS 可独立评价右心室收缩功能。本研究采用二维斑点追踪及实时三维超声 2 种方法对右心室游离壁整体 LS 进行定量分析,虽然 3DGLS(F)较 2DGLS(F)明显偏小,但二者间存在较强正相关;FAC 反映右心室心肌纵向及径向收缩能力,右心室 FAC 在潜水后即刻减低,推测潜水后即刻 LS 不同程度减低。

本研究的局限性:①右心室三维容积成像对受试者图像要求较高,工作站对右心室心内膜勾画存在误差,需手动调节,其可重复性有待提高;②超声检查于潜水现场进行,未行 MR 检查对照;③未对不同潜龄研究对象进行分组比较。理论上潜水深度、温度、时长和水下作业的强度等均可能影响结果,有待进一步证实。

综上所述,潜水员佩戴自携式水下呼吸器潜水后,右心室形态及收缩功能短时间内受到不同程度损害,但经短暂休息即可恢复。实时三维超声及二维斑点追踪技术可早期动态定量评估潜水员潜水后右心室形态及收缩功能的细微改变。

[参考文献]

- [1] 陶恒沂.潜水医学.7版.北京:高等教育出版社,2005:71.
- [2] Boussuges A, Rostain JC. What cardiovascular changes during SCUBA diving. *Acta Physiol*, 2013,209(1):9-10.
- [3] Perovic A, Unic A, Dumic J. Recreational scuba diving: Negative or positive effects of oxidative and cardiovascular stress? *Biochem Med*, 2014,24(2):235-247.
- [4] Peachey DF, Martina SD, Otteni CE, et al. Immersion pulmonary edema and comorbidities: Case series and updated review. *Med Sci Sports Exerc*, 2015,47(6):1128-1134.
- [5] Castagna O, Gempp E, Poyet R, et al. Cardiovascular mechanisms of extravascular lung water accumulation in divers. *Am J Cardiol*, 2017,119(6):929-932.
- [6] 钱胜利,杨莉,刘畅,等.超声二维斑点追踪分层应变评价潜水员水肺潜水后左心室收缩功能改变的初步研究. *中国医学影像技术*, 2018,34(10):1484-1489.
- [7] 胡路路,田新桥,周小玲,等.三维斑点追踪成像评价肺动脉高压患者右心室整体收缩功能. *中国超声医学杂志*, 2015,31(11):974-977.
- [8] 刘凤琴,任建丽,王志刚,等.二维斑点追踪成像评估代谢综合征患者右心室整体与局部功能. *中华超声影像学杂志*, 2016,25(1):12-18.
- [9] Maqunia H, Dietrich C, Langer HF, et al. 3D echocardiography derived right ventricular function is associated with right ventricular failure and mid-term survival after left ventricular assist device implantation. *Int J Cardiol*, 2018,272(12):348-355.
- [10] Srinivasan A, Kim J, Khalique O, et al. Echocardiographic linear fractional shortening for quantification of right ventricular systolic function: A cardiac magnetic resonance validation study. *Echocardiography*, 2017,34(3):348-358.
- [11] 黄育敏,张明月,陈锐勇,等.心率与自觉疲劳分级在氦氧饱和潜水中潜水员机体疲劳监测中的应用. *第二军医大学学报*, 2015,36(9):978-982.
- [12] Hauck A, Guo R, Ivy DD, et al. Tricuspid annular plane systolic excursion is preserved in young patients with pulmonary hypertension except when associated with repaired congenital heart disease. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017,18(4):459-466.
- [13] Li Y, Wang Y, Yang Y, et al. Tricuspid annular displacement measured by 2-dimensional speckle tracking echocardiography for predicting right ventricular function in pulmonary hypertension: A new approach to evaluating right ventricle dysfunction. *Medicine (Baltimore)*, 2018,97(3):e11710.
- [14] Carlsson M, Ugander M, Heiberg E, et al. The quantitative relationship between longitudinal and radial function in left, right, and total heart pumping in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2007,293(1):H636-H644.
- [15] van Kessel M, Seaton D, Chan J, et al. Prognostic value of right ventricular free wall strain in pulmonary hypertension patients with pseudo-normalized tricuspid annular plane systolic excursion values. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2016,32(6):905-912.
- [16] Focardi M, Cameli M, Carbone SF, et al. Traditional and innovative echocardiographic parameters for the analysis of right ventricular performance in comparison with cardiac magnetic resonance. *Eur Heart J Cardiovasc imaging*, 2015,16(1):47-52.