

肺毛细血管楔压与心脏再同步化治疗慢性心衰疗效的相关性分析

葛培兵¹,陶宁超¹,朱睿¹,邱垣皓¹,王权鹏²,王焱¹,张海峰¹,张浩¹,周艳丽¹,侯小锋¹,李新立¹,邹建刚^{1*}

(¹南京医科大学第一附属医院心血管内科,江苏南京 210029;²南京医科大学鼓楼临床医学院心功能室,江苏南京 210008)

[摘要] 目的:探讨右心导管肺毛细血管楔压(pulmonary capillary wedge pressure,PCWP)与心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy,CRT)慢性心衰疗效的相关性。方法:入选拟行心脏再同步化治疗的慢性心衰患者,术前1周内进行右心导管检查,测定肺毛细血管楔压;根据CRT术后患者心功能变化分成CRT有反应组与无反应组。术后6个月内左室射血分数(LVEF)提高超过5%,纽约心功能分级(NYHA)降低1级或1级以上者定义为CRT有反应;通过受试者工作曲线分析PCWP对CRT反应性的预测价值。应用Kaplan-Meier生存曲线分析不同水平PCWP患者主要心血管不良事件的差异。结果:35例CRT患者中有反应24例,无反应11例;有反应组PCWP(11.9±7.0)mmHg,无反应组PCWP(21.7±9.1)mmHg,两组间差异有统计学意义(P=0.006)。以PCWP 12.0 mmHg为最佳分界点时,Youden指数最大,预测CRT反应性的敏感度为90.9%,特异度为58.3%。相对于PCWP>12.0 mmHg组,PCWP≤12.0 mmHg组CRT术后心功能、左室内径和PCWP更佳。Kaplan-Meier生存曲线表明PCWP≤12.0 mmHg组患者比PCWP>12.0 mmHg组患者无主要心血管不良事件的生存时间长,但未达到统计学差异(P=0.079)。结论:术前右心导管检测PCWP对CRT反应性有较好的预测价值。术前PCWP低的患者无主要心血管不良事件的生存时间长。

[关键词] 心力衰竭;肺毛细血管楔压;PCWP;心脏再同步化治疗;右心导管术

[中图分类号] R541.6

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2016)04-411-05

doi:10.7655/NYDXBNS20160406

Association between pulmonary capillary wedge pressure and clinical outcome of cardiac resynchronization therapy in chronic heart failure patients

Ge Peibing¹, Tao Ningchao¹, Zhu Rui¹, Qiu Yuanhao¹, Wang Quanpeng², Wang Yao¹, Zhang Haifeng¹, Zhang Hao¹, Zhou Yanli¹, Hou Xiaofeng¹, Li Xinli¹, Zou Jiangan^{1*}

(¹Division of Cardiology, First Affiliated Hospital of NJMU, Nanjing 210029; ²Department of Cardiac Function Room, the Affiliated Nanjing Drum Tower Hospital of NJMU, Nanjing 210008, China)

[Abstract] **Objective:** To investigate the association between pulmonary capillary wedge pressure(PCWP) and clinical outcome of cardiac resynchronization therapy(CRT) in chronic heart failure patients. **Methods:** Chronic heart failure patients with an indication for CRT were included. We performed right heart catheterization to measure PCWP in those patients one week before they received a CRT device. Patients were stratified into two groups based on their response to CRT: responders and non-responders. Responders were predefined as patients with improvement of left ventricular ejection fraction(LVEF) by 5% or more and improvement by one or more NYHA functional class during 6-month follow-up. Receiver operating characteristic(ROC) curve was used to assess the efficiency of preoperative PCWP in predicting CRT response. Kaplan-Meier survival curve was applied to assess the efficiency of preoperative PCWP in predicting major adverse cardiac events(MACE). **Results:** Of 35 patients included, 24 patients were responders, 11 patients were non-responders. The mean PCWP was (11.9±7.0)mmHg and (21.7±9.1)mmHg, respectively. Non-responders had a significantly higher PCWP(P=0.006). When at the optimal cutoff point of 12.0 mmHg, the sensitivity and specificity of preoperative PCWP predicting response to CRT were 90.9% and 58.3%, respectively. Patients with preoperative PCWP 12.0 mmHg or less have better NYHA functional class, smaller left ventricle and lower PCWP after CRT compared with patients with preoperative PCWP 12.0 mmHg or

[基金项目] 国家自然科学基金资助(81470457)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: jgzou@njmu.edu.cn

more. Kaplan Meier survival curve demonstrated that compared with patients with preoperative PCWP 12.0 mmHg or less, patients with preoperative PCWP 12.0 mmHg or more had a trend towards being shorter MACE-free survival ($P=0.079$). **Conclusion:** Preoperative PCWP is associated with response to CRT. Lower preoperative PCWP may indicate longer MACE-free survival time in CHF patients.

[Key words] heart failure; pulmonary capillary wedge pressure; PCWP; cardiac resynchronization therapy; right heart catheterization

[Acta Univ Med Nanjing, 2016, 36(04):411-415, 455]

多个大型临床研究证实,有适应证的慢性心衰患者行心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)后,心衰症状减轻,心脏体积缩小,左室射血分数(LVEF)增加,纽约心功能分级(NYHA)改善,住院率降低,6 min 步行距离提高^[1-4]。但是,仍然有大约 1/3 的患者在 CRT 治疗后并无明显获益^[5]。慢性心衰时左心室前负荷增加,致使左心房负荷增加,导致肺毛细血管楔压(pulmonary capillary wedge pressure, PCWP)升高,有研究证明 PCWP 下降是心衰患者生存的预测因子。目前预测 CRT 反应性的研究大多针对患者性别、心衰病因、术前的 QRS 波时限、QRS 波形态、左心房容积指数、氨基末端脑钠肽前体(NT-proBNP)等^[6-8],关于右心导管检测 PCWP 对 CRT 疗效的预测价值研究较少。本研究探讨 PCWP 与 CRT 疗效的关系,并且评价术前 PCWP 对患者预后的影响。

1 对象和方法

1.1 对象

收集 2013 年 9 月—2015 年 12 月因心衰在南京医科大学第一附属医院住院行 CRT-P 或 CRT-D 手术治疗的患者共 35 例。所有病例术前均常规检查血生化指标、12 导联心电图、超声心动图等。入选标准为:①符合中华医学会心电生理和起搏分会制定的心脏再同步治疗慢性心衰的建议(2013 年修订版);②术前行右心导管检查并检测 PCWP。排除标准:①未控制的严重高血压;②中重度心脏瓣膜病;③严重的肝肾功能不全;④未能进行随访的患者。所有入组患者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 病例资料

术前采集所有患者的病史资料、血液生化指标、NT-proBNP、12 导联心电图以及常规经胸超声心动图。心电图上取 QRS 波群最宽值记为 QRS 时限。常规经胸超声心动图由超声科医生使用荷兰飞利浦心电 IE33 彩色多普勒超声诊断仪和 S1-4 探头对入组患者行心脏超声检查。患者左侧卧位,取心尖四腔切面,测量左室舒张末期径(LVDD)、左室收

缩末期径(LVDS)。应用改良 Simpson 法测定左室射血分数(LVEF)。最少采集连续 3 个心动周期。

1.2.2 PCWP 的测定

心脏再同步化治疗手术前 1 周内行右心导管检查:常规穿刺右侧颈内静脉插入 Swan-Ganz 导管漂浮至肺动脉分支末端,测定 3 次 PCWP,取其平均值。

1.2.3 CRT 手术过程

常规经左侧腋静脉或锁骨下静脉穿刺,行冠状静脉逆行造影,将左室电极导线植入相应靶静脉。测试左室起搏导线参数如感知、起搏阈值、阻抗等,待测试参数满意后再植入右房及右室起搏导线。心房电极常规置于右心耳,右室电极常规置于右室流出道间隔部或右室尖部。

1.2.4 CRT 有反应定义

患者出院后第 1、3、6 个月,以后每半年来院随访。随访时询问患者是否有因心衰加重再住院,评价患者临床心功能,记录患者双心室起搏心电图,并进行起搏器程控和超声心动图检查。按照术后 6 个月或 6 个月之内 LVEF 绝对值比基线提升 $\geq 5\%$ 并且 NYHA 心功能分级降低 ≥ 1 级定义为 CRT 有反应,否则为 CRT 无反应。主要心血管不良事件包括因心衰加重再住院、心脏性死亡、全因死亡。

1.3 统计学方法

采用 SPSS20.0 软件进行统计处理。定量资料表示为均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$),组间比较采用独立样本 t 检验,组内术前术后比较采用配对 t 检验;定性资料用百分数表示,组间比较采用 Fisher 确切概率法检验;采用受试者工作曲线(ROC 曲线)以曲线下面积(AUC)评估不同 PCWP 水平预测 CRT 反应性。不同的 PCWP 水平患者在研究随访期间主要心血管不良事件发生时间采用 Kaplan-Meier 生存曲线分析。本研究采用双侧检验, $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 入选患者基线资料

本研究共入选 35 例患者,男 25 例,女 10 例。平均年龄(64 ± 9)岁(44~82 岁)。患者随访至 2016

年 2 月,平均随访(478 ± 208)d(92~870 d),有反应组 24 例,无反应组 11 例。在随访过程中,4 例发生主要心血管不良事件:2 例因心力衰竭加重住院;1 例因心功能恶化,多次住院,最终死于泵衰竭;1 例死于脑溢血。两组患者在年龄、性别、病因、高血压、糖尿病、体重指数、基础心功能、术前 QRS 时限、术后 QRS 波时限、肝功能、肾功能、血钾浓度、长期服用药物等方面均无统计学差异。有反应组与无反应组相比,术前 NT-proBNP 浓度低,PCWP 值低,平均肺动脉压低,LVDS 小,LVEF 高,以上这些指标均有统计学差异。基线资料详见表 1。

表 1 心脏再同步化治疗有反应组和无反应组的基线信息

Table 1 The baseline characteristics between CRT responders and non-responders

指标	有反应组 (n=24)	无反应组 (n=11)	P 值
年龄(岁)	63.5 ± 7.9	64.9 ± 11.6	0.73
男性[n(%)]	18(75.0)	7(63.6)	0.69
非缺血型心脏病[n(%)]	23(95.8)	11(100.0)	1.00
高血压[n(%)]	18(75.0)	7(63.6)	0.69
糖尿病[n(%)]	10(41.7)	5(45.5)	1.00
体重指数(kg/m ²)	24.5 ± 2.7	24.1 ± 3.4	0.71
NYHA 分级	2.9 ± 0.8	2.8 ± 0.6	0.71
6MWD(m)	354 ± 103	280 ± 99	0.08
术前 QRS 波时限(ms)	158 ± 20	157 ± 29	0.88
术后 QRS 波时限(ms)	121 ± 15	126 ± 16	0.31
ALT(U/L)	30.5 ± 14.1	35.4 ± 14.6	0.35
肌酐(μmol/L)	92.5 ± 32.4	78.1 ± 19.8	0.18
尿素氮(mmol/L)	7.4 ± 3.2	7.4 ± 2.5	1.00
血钾(mmol/L)	4.1 ± 0.4	3.9 ± 0.3	0.16
NT-proBNP(ng/L)	1 172 ± 794	2 103 ± 1 251	0.01
术前 LAD(mm)	44.4 ± 5.0	47.3 ± 5.0	0.12
术前 LVDD(mm)	68.6 ± 6.0	76.2 ± 11.7	0.07
术前 LVDS(mm)	58.5 ± 6.5	67.2 ± 12.0	0.04
术前 LVEF(%)	30.2 ± 5.9	25.2 ± 6.6	0.03
平均肺动脉压(mmHg)	20.1 ± 12.7	30.5 ± 10.0	0.02
PCWP(mmHg)	11.9 ± 7.0	21.7 ± 9.1	0.01
ACEI/ARB[n(%)]	22(91.7)	9(81.8)	0.58
β受体阻滞剂[n(%)]	22(91.7)	10(90.9)	1.00
醛固酮拮抗剂[n(%)]	20(83.3)	10(90.9)	1.00
利尿剂[n(%)]	21(87.5)	10(90.9)	1.00
地高辛[n(%)]	5(20.8)	5(45.5)	0.23

6MWD:6 min 步行距离;ALT:丙氨酸氨基转移酶;LAD:左心房内径;LVDD:左心室舒张末期径;LVDS:左心室收缩末期径;LVEF:左室射血分数;PCWP:肺毛细血管楔压;ACEI/ARB:血管紧张素转化酶抑制剂/血管紧张素受体阻滞剂。

2.2 PCWP 对心衰患者 CRT 治疗反应性判断的 ROC 曲线

以基线 PCWP 为检验变量,以 CRT 反应性为应变量,进行 ROC 曲线计算,曲线下面积为 0.816。95%可信区间 (0.674~0.959)($P=0.003$)。提示术前 PCWP 对 CRT 反应性有较好的预测价值。以 PCWP=12.0 mmHg 为最佳分界点时,Youden 指数最大,预测 CRT 无反应的敏感度为 90.9%,特异度为 58.3%(图 1)。

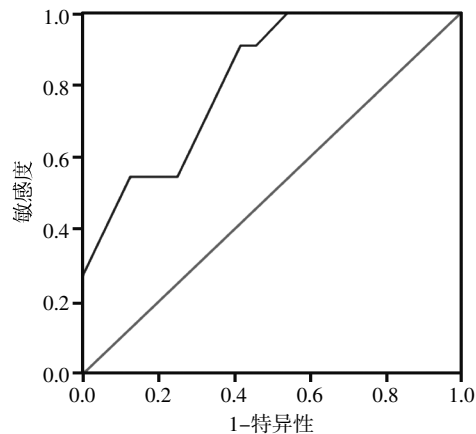


图 1 术前 PCWP 水平对预测 CRT 反应性的 ROC 曲线
Figure 1 ROC curve of prognostic value of PCWP for CRT response

2.3 CRT 治疗对心功能和 PCWP 的影响

将入组患者分成 PCWP ≤ 12.0 mmHg 组和 PCWP > 12.0 mmHg 组,发现两组患者术后心功能、LVDD、LVDS、LVEF、6MWD 均比术前改善,PCWP ≤ 12.0 mmHg 组心功能、LVDD、LVDS、LVEF、PCWP 更佳(表 2)。

PCWP 值的变化:基线 PCWP > 12.0 mmHg 患者术后 PCWP 明显降低,而基线 PCWP ≤ 12.0 mmHg 患者术后 PCWP 与术前无统计学差异(表 2)。

2.4 生存曲线分析

以 PCWP 最佳分界点 12.0 mmHg 作为危险分层,将 PCWP ≤ 12.0 mmHg 定义为低危组,PCWP > 12.0 mmHg 定义为高危组,做 Kaplan-Meier 生存曲线分析。Log-rank 检验值为 3.09($P=0.079$),表明低危组无主要心血管不良事件的生存时间长,但尚未达到统计学差异(图 2)。

3 讨论

本研究通过右心导管检测 CRT 植入术前慢性心衰患者的 PCWP 值预测 CRT 的反应性,结果显示术前 PCWP 检测对 CRT 反应性有较好的预测价值,以 PCWP 12.0 mmHg 为最佳分界点,预测 CRT 反应性的敏感度为 90.9%,特异度为 58.3%。PCWP ≤

表 2 CRT 治疗对患者心功能和 PCWP 的影响

Table 2 The comparison of heart function and PCWP value after CRT

指标	PCWP \leq 12.0 mmHg		PCWP $>$ 12.0 mmHg	
	术前	术后	术前	术后
NYHA 分级	2.7 \pm 0.8	1.3 \pm 0.5*	3.1 \pm 0.6	2.0 \pm 0.9* \blacktriangle
LVDD(mm)	66.7 \pm 5.6	56.5 \pm 6.8*	74.2 \pm 9.5	70.1 \pm 13.5* \blacktriangle
LVDS(mm)	55.5 \pm 5.9	41.4 \pm 8.6*	65.6 \pm 9.2	59.4 \pm 14.4* \blacktriangle
LVEF(%)	34.0 \pm 4.8	52.3 \pm 10.8*	24.6 \pm 4.4	32.4 \pm 10.3* \blacktriangle
6MWD(m)	356 \pm 101	418 \pm 95*	320 \pm 101	394 \pm 102*
PCWP (mmHg)	6.9 \pm 3.0	8.2 \pm 2.8	20.6 \pm 7.2	15.2 \pm 6.3* \blacktriangle

与同组术前比较, * $P < 0.05$; 与 PCWP \leq 12.0 mmHg 组术后比较, $\blacktriangle P < 0.05$ 。

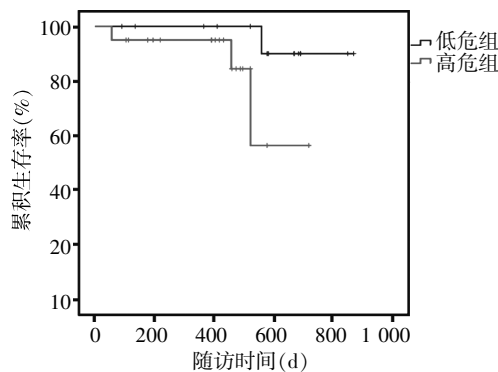


图 2 不同 PCWP 慢性心衰患者的 Kaplan-Meier 生存曲线
Figure 2 The comparison of Kaplan-Meier survival curves between CHF patients with high PCWP and low PCWP

12.0 mmHg 的患者经 CRT 治疗后心功能改善、LVDD 和 LVDS 的缩小、LVEF 的提高更好, 发生主要心血管不良事件的比例低。

大量循证证据表明 CRT 能有效治疗慢性心衰, 改善症状, 提高生活质量, 改善患者预后; 但仍有 1/3 的心衰患者在 CRT 治疗后并无明显获益^[5]。如何在进行 CRT 治疗之前预测心衰患者的反应性已成为临床亟待解决的问题。既往研究表明患者性别、术前心电图 QRS 波群时限和形态、NT-proBNP 浓度、左室舒张末容积、左心房容积指数、心超机械不同步指标等能在不同程度上预测 CRT 反应性, 但是有各自的局限性, 仍然需要继续寻找其他指标来预测 CRT 反应性^[6-10]。研究证实肺动脉压增高的心衰患者行 CRT 反应性比肺动脉压低的患者反应差^[11-12]。肺动脉压通常是肺血管阻力和 PCWP 的综合反映^[13], 有研究证实肺血管阻力高的心衰患者 CRT 反应性比肺血管阻力低的患者差^[14], 那么 PCWP 与 CRT 反应性关系如何?

Gradaus 等^[15]研究发现 PCWP 与 CRT 反应性有关, 但其有反应组中包含了只有 NYHA 心功能改善却没有左室大小改善的患者, 因此不能排除安慰剂

效应, 且未能进一步研究不同水平 PCWP 的心衰患者 CRT 治疗后的长期预后。MADIT-CRT 研究认为术前左房容积指数小, CRT 有反应的可能性大^[6]。Yeh 等^[16]研究发现左心房张力和大小与 PCWP 有较好的相关性。这就从侧面说明 PCWP 与 CRT 反应性有一定的相关性。本研究表明 PCWP 对 CRT 反应性有较好的预测价值, ROC 曲线表明以 PCWP 12 mmHg 预测 CRT 反应性时 Youden 指数最大。术前 PCWP 高, 术后 CRT 无反应的可能大。我们以 PCWP 进行分组, 通过 Kaplan-Meier 生存曲线分析, 发现低危组无主要心血管不良事件的生存时间长, 但尚未达到统计学差异。目前已有多个临床研究表明在未行 CRT 治疗的心衰患者中, PCWP 能预测其死亡风险^[17-19]。Dorfs 等^[17]对 355 例心衰患者进行了超过 10 年的随访, 发现 PCWP $>$ 12 mmHg 者病死率明显高于 PCWP \leq 12 mmHg 者, 死亡风险超过 2 倍。胡咏梅等^[19]对 134 例心衰患者进行 3 年的随访, 发现 PCWP 可以预测心源性死亡。PCWP \leq 19.5 mmHg 组比 PCWP $>$ 19.5 mmHg 组心衰患者的生存率高。但是也有研究者持不同态度, Chatterjee 等^[20]研究发现肺高压不合并肺阻力增高组 [PCWP(28 \pm 8)mmHg] 的 CRT 患者与无肺高压组 [PCWP(10 \pm 5)mmHg] 的 CRT 患者在以全因死亡、左室辅助装置植入和心脏移植为复合终点上并无差异。他们认为肺高压合并跨肺压 (transpulmonary gradient, TPG) 增高的心衰患者行 CRT 治疗预后差。但他们是在 CRT 术前 6 个月内行右心导管检查, 本研究是 CRT 术前 1 周内行右心导管检查, 相对而言他们测得的 PCWP 可能因药物治疗、病情发展等因素不能很好地反映术前真实的 PCWP, 而且他们并未比较不同水平 PCWP 对 CRT 预后的影响。此外, 我们发现 PCWP 高的患者肺动脉压也高, 有反应组肺动脉压比无反应组低, 研究报道肺动脉压高的患者行 CRT 治疗效果及预后欠佳^[11]。尽管超声心动图在多种情况下可以估测 PCWP,

但是心衰时特别是行CRT治疗后超声心动图估测的PCWP与右心导管测定的PCWP相关性不佳^[21]。因此应用右心导管检测术前PCWP来预测心衰患者的CRT反应性及预后具有一定的意义,值得在临床上推广。

同时,我们发现术前PCWP值低的患者心衰程度也轻,经CRT治疗后心功能改善也更佳,即术前心衰程度轻的患者CRT治疗的效果好。研究报道心衰程度重的患者行CRT治疗后有反应的可能性降低^[22]。Goldenberg等^[23]研究也发现早期CRT治疗能带来长期生存获益。

本研究是单中心研究,入组病例数较少,随访时间不够长,随访期间患者发生主要心血管事件的病例数少,所以本研究存在一定的局限性。

总之,术前右心导管检测PCWP与心衰患者CRT反应性及主要心血管不良事件相关。本研究为预测CRT反应性提供一条有益的思路,希望将来有多中心、前瞻性、大样本量、随访时间长的研究来评价PCWP与CRT反应性及长期预后的关系。

[参考文献]

- [1] Abraham WT, Fisher WG, Smith AL. Cardiac resynchronization in chronic heart failure[J]. *N Engl J Med*, 2002, 346(24): 1845-1853
- [2] Moss AJ, Hall WJ, Cannom DS, et al. Cardiac-Resynchronization therapy for the prevention of Heart-Failure events[J]. *N Engl J Med*, 2009, 361(14): 1329-1338
- [3] Linde C, Gold MR, Abraham WT, et al. Long-term impact of cardiac resynchronization therapy in mild heart failure: 5-year results from the REsynchronization reVERses Remodeling in Systolic left vEntricular dysfunction (REVERSE) study[J]. *Eur Heart J*, 2013, 34(33): 2592-2599
- [4] Gillis AM, Kerr CR, Philippon F, et al. Impact of cardiac resynchronization therapy on hospitalizations in the Resynchronization-Defibrillation for ambulatory heart failure trial[J]. *Circulation*, 2014, 129(20): 2021-2030
- [5] European Heart Rhythm Association (EHRA), European Society of Cardiology (ESC), Heart Rhythm Society, et al. 2012 EHRA/HRS expert consensus statement on cardiac resynchronization therapy in heart failure: implant and follow-up recommendations and management[J]. *Europace*, 2012, 14(9): 1236-1286
- [6] Goldenberg I, Moss AJ, Hall WJ, et al. Predictors of response to cardiac resynchronization therapy in the Multi-center Automatic Defibrillator Implantation Trial with Cardiac Resynchronization Therapy (MADIT-CRT) [J]. *Circulation*, 2011, 124(14): 1527-1536

- [7] Hsu JC, Solomon SD, Bourgoun M, et al. Predictors of super-response to cardiac resynchronization therapy and associated improvement in clinical outcome the MADIT-CRT (multicenter automatic defibrillator implantation trial with cardiac resynchronization therapy) study[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 59(25): 2366-2373
- [8] 唐园园,侯小锋,陈震,等.血清N-末端脑钠肽与心脏再同步化治疗慢性心衰患者预后的相关研究[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2015, 35(12): 1714-1717
- [9] Chung ES, Leon AR, Tavazzi L, et al. Results of the predictors of response to CRT (PROSPECT) trial[J]. *Circulation*, 2008, 117(20): 2608-2616
- [10] Chan PS, Khumri T, Chung ES, et al. Echocardiographic dyssynchrony and health status outcomes from cardiac resynchronization therapy: insights from the PROSPECT trial[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(5): 451-460
- [11] Wang J, Su Y, Bai J, et al. Elevated pulmonary artery pressure predicts poor outcome after cardiac resynchronization therapy [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2014, 40(2): 171-178
- [12] Shalaby A, Voigt A, El-Saed A, et al. Usefulness of pulmonary artery pressure by echocardiography to predict outcome in patients receiving cardiac resynchronization therapy heart failure [J]. *Am J Cardiol*, 2008, 101(2): 238-241
- [13] Kalogeropoulos AP, Georgiopoulou VV, Borlaug BA, et al. Left ventricular dysfunction with pulmonary hypertension part 2: prognosis, noninvasive evaluation, treatment, and future research [J]. *Circ Heart Fail*, 2013, 6(3): 584-593
- [14] Xu Z, Zhang H, Pan C, et al. Can pulmonary vascular resistance predict response to cardiac resynchronization therapy in patients with heart failure? [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2015, 38(10): 1210-1216
- [15] Gradaus R, Stuckenberg V, Loeher A, et al. Diastolic filling pattern and left ventricular diameter predict response and prognosis after cardiac resynchronization therapy [J]. *Heart*, 2008, 94(8): 1026-1031
- [16] Yeh J, Aiyagari R, Gajarski RJ, et al. Left atrial deformation predicts pulmonary capillary wedge pressure in pediatric heart transplant recipients [J]. *Echocardiography*, 2015, 32(3): 535-540
- [17] Dorfs S, Zeh W, Hochholzer W, et al. Pulmonary capillary wedge pressure during exercise and long-term mortality in patients with suspected heart failure with preserved ejection fraction [J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(44): 3103-3112
- [18] Shah MR, Stinnett SS, McNulty SE, et al. Hemodynamics as surrogate end points for survival in advanced heart failure: an analysis from FIRST [J]. *Am Heart J*, 2001, 141