

辅以体外反搏的充气背心辅助循环术的血流动力学研究

袁衡新¹, 覃炳军², 张成喜³, 蒋龙元², 孙 俭¹, 袁志军¹, 黄源穗¹

(中山大学 1. 中山医学院生物医学工程教研室, 2. 附属第二医院急诊科, 3. 附属第三院急诊科, 广东 广州 510080)

摘要:【目的】提出一种新型的无创辅助循环方法, 即辅以体外反搏的胸部充气背心辅助循环术(VEAC), 并验证其血流动力学效果。【方法】用本室自行研制的多功能辅助循环装置, 以 R 波触发, 收缩期用胸部背心充气辅助心脏射血, 舒张期配以增强型体外反搏改善心肌血供。8 只犬普萘洛尔药物心衰模型, 建模后 30 min 进行自身对照实验, 观察血流动力学指标的变化。【结果】VEAC 可显著增加心输出量[(0.82 ± 0.25) L/min 至 (1.06 ± 0.39) L/min, $P < 0.01$]、左室压最大变化速率[(1 033 ± 286) mmHg/s 至 (1 369 ± 297) mmHg/s, $P < 0.05$]、升主动脉收缩压峰值[(110 ± 16) mmHg 至 (120 ± 10) mmHg, $P < 0.05$]、收缩压平均值[(99 ± 19) mmHg 至 (106 ± 17) mmHg, $P < 0.05$]、舒张压平均值[(89 ± 20) mmHg 至 (98 ± 18) mmHg, $P < 0.05$]、冠脉有效灌注压[(86 ± 20) mmHg 至 (93 ± 19) mmHg, $P < 0.05$]。【结论】实验结果表明 VEAC 具有胸部充气背心和增强型体外反搏的优点并且互补, 同时增强心脏射血和改善心肌血供, 可达到有效辅助循环的目的。

关键词: 辅助循环/方法; 心力衰竭, 充血性; 反搏动术; 血液动力学

中图分类号: R654.1; R318

文献标识码: A

文章编号: 1000-257X(2003)02-0121-05

Hemodynamic Study of A New Assisted Circulation Method of Thoracic Pneumatic Vest with Enhanced External Counterpulsation

YUAN Heng-xin¹, QIN Bing-jun², ZHANG Cheng-xi³, JIAN Long-yuan², SUN Jian¹,
YUAN Zhi-jun¹, HUANG Yuan-sui¹

(1. Department of Biomedical Engineering, Zhongshan Medical College, 2. Department of Emergency Medicine, The Second Affiliated Hospital, 3. Department of Emergency Medicine, The Third Affiliated Hospital, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

Abstract: 【Objective】 To research the hemodynamic effect of VEAC, Which is the combination of the thoracic pneumatic vest (VEST) synchronized with systole and the enhanced external counterpulsation (EECP) during the diastole. It names as the VEST with EECP Assisted Circulation (VEAC). 【Method】 Acute heart failure was induced by the propranolol hydrochloride in 8 adult mongrel dogs. Acute heart failure was verified by that the cardiac output decreased to 46.51% [(1.53 ± 0.20) to 0.82 ± 0.26) L/min, $P < 0.01$] and maximum systolic dp/dt of left ventricle reduced to 45.03% [(1 879 ± 504) to (1 033 ± 286) mmHg/s, $P < 0.01$]. After 30 min of heart failure the VEAC were performed on each dog with the VEAC apparatus developed by ourselves. The hemodynamic parameters were measured by the polygraph. 【Results】 Compared with no assistance, VEAC significantly increased cardiac output [(0.82 ± 0.25) to (1.06 ± 0.39) L/min, $P < 0.01$]、maximum systolic dp/dt of left ventricle[(1 033 ± 286) to (1 369 ± 297) mmHg/s, $P < 0.05$]、maximum systolic aorta pressure [(110 ± 16) mmHg to (120 ± 10) mmHg, $P < 0.05$]、mean systolic aorta pressure [(99 ± 19) mmHg to (106 ± 17) mmHg, $P < 0.05$]、mean diastolic aorta pressure [(89 ± 20) mmHg to (98 ± 18) mmHg, $P < 0.05$]、and coronary perfusion pressure[(86 ± 20) mmHg to (93 ± 19) mmHg, $P < 0.05$] respectively. 【Conclusion】 The results suggest that the VEAC have the advantage of both VEST and EECP, can

收稿日期: 2002-01-21

基金项目: 广东省科委重点攻关基金资助项目(1995-1)

作者简介: 袁衡新(1956-), 男, 江苏无锡人, 博士, 副教授。

assist cardiac ejection and enhance coronal perfusion at the same time.

Key words: assisted circulation/method; heart failure, congestive; conterpulsation; hemodynamics

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2003, 24(2): 121 ~ 125]

心衰是各种心血管疾病的共同归宿和主要的死亡原因,病死率很高^[1],目前主要有药物、手术、辅助循环 3 种治疗方法。对于药物难治性严重心衰,辅助循环由于同时具有减少心脏做功和增加心肌供血供氧的独特优点,取得了较好的临床治疗效果^[2]。目前临床应用的辅助循环方法大多是有创侵入性的,操作技术设备要求高,并发症发生率高,应用范围受到很大限制^[3,4]。由于心衰、心源性休克等发病急、病情进展快,研究一种适应临床紧急抢救的操作简便的辅助循环方法是未来的方向^[3]。胸部充气背心(thoracic pneumatic vest, VEST)和增强型体外反搏(enhanced external counterpulsation, EECP)都有过被用来作为心衰的无创辅助循环,结果表明各自对心衰都有一定的循环辅助作用^[5,6],但各有不足,单独治疗心衰的效果欠理想^[7-9],因此未能应用到临床。在“以充气背心为主体的新型双泵复苏术”的血流动力学研究基础上^[10],考虑到这两种方法在作用机制上有协同互补作用,本文提出一种新型体外无创辅助循环方法,即辅以体外反搏的充气背心辅助循环方法(VEST with EECP assisted circulation, VEAC),以期通过两者协调配合,来达到有效无创辅助循环的目的,并用犬药物心衰模型研究 VEAC 循环辅助的血流动力学效果。

1 材料与方 法

1.1 多功能辅助循环装置

自行研制的实验用 VEAC 辅助循环装置由 3 大系统组成:辅助循环控制和生理信号采集处理的计算机系统、控制信号的功率驱动系统以及胸部按压(采用 VEST)和下半身序贯加压(即 EECP)的执行系统。其工作原理是:以心电 R 波触发,收缩期包胸部的 VEST 气囊节律性充气加压胸廓,升高胸内压来辅助心脏射血;舒张期 EECP 气囊序贯充气加压下肢和臀部使动脉血返流来增加冠脉供血,两者交替进行(图 1)。VEAC 辅助循环操作由键盘完成,预先设置及实验中调节辅助参数,如 VEST 和 EECP 充气开始时间、保压时间、排气时间等。

1.2 动物准备

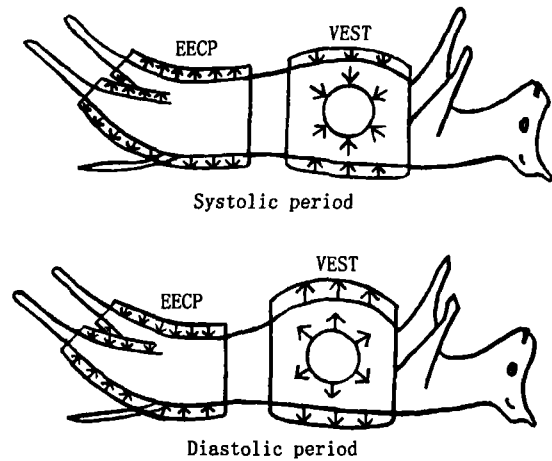


图 1 收缩期:VEST 按压胸部,EECP 放松臀部和
大腿
舒张期:VEST 放松胸部,EECP 加压臀部和
大腿

Fig. 1 Systole: VEST was inflated to compress the chest, EECP was deflated to decompress the lower body
Diastole: VEST was deflated to decompress the chest, EECP was inflated to compress the lower body

杂种犬 8 条 [(16.4 ± 1.2) kg], 戊巴比妥静脉麻醉(30 mg/kg)。行食道气囊测压导管插管测食道内压,其后气管插管自然呼吸;分别从右颈外静脉、右颈总动脉插导管式压力传感器(Millar SPC-450 和 SPC-470)到右心房、升主动脉监测右房压和升主动脉压;开胸在主动脉根部安置电磁流量探头测心输出量(cardiac output, CO);在心尖插入导管式压力传感器(Millar SPC-460)测左室压;逐层缝合胸壁,排气关闭胸腔。犬仰卧位固定,包扎胸部 VEST 囊套及 EECP 反搏囊套;静注普萘洛尔建立急性药物心衰模型,剂量 4 mg/kg(根据犬的个体适当加减),注射速度:0.5 mg/(kg·min),约 8 min 注完;心输出量(CO)下降 > 33%、左室压收缩期最大变化速率(dp_{LV}/dt_{max})下降 > 40%是为心衰建模成功^[11],然后以 0.1 ~ 0.2 mg/(kg·min)速度静滴维持。

1.3 辅助循环方法

心衰建模稳定 30 min 后开始辅助循环,每次辅助循环 5 min,然后停止辅助使其恢复稳定,并根据犬的心动周期相应调整各个辅助参数及时相配合后,再进行辅助循环,共 3 次。

收缩期:以心电 R 波触发 VEST 充气按压胸

部, 充气开始时间与等容收缩期同步, 充气速率 $1\ 213 \pm 60\ \text{mmHg/s}$, VEST 囊内压峰值约 $150\ \text{mmHg}$, 保压时间为心动周期的 $35\% \sim 45\%$, 实验中根据心动周期 (心率波动在 $94 \sim 170\ \text{次/min}$) 做相应调整, 收缩末期开始排气; 舒张期: EECF 二级气囊序贯充气, 与舒张期 1: 1 同步反搏, 序贯加压下肢和臀部。气囊压为 $0.4\ \text{kg/cm}^2$, 反搏囊充气时间约 $100\ \text{ms}$, 大腿囊与臀囊序贯时间 $40\ \text{ms}$, 保压时间 $160 \sim 300\ \text{ms}$ 。实验中根据犬心动周期和辅助效果做相应调整, 收缩期 EECF 气囊排气。这样两者交替进行。

1.4 测量指标

实验数据记录: 分别于建模前、建模后和辅助循环前中后, 当血流动力学稳定后用八导仪记录 $6 \sim 8$ 个心动周期曲线, 并采样存盘 ECG、升主动脉压、右房压、左室内压、左室内压力收缩期最大变化速率 (dp_{LV}/dt_{max})、食道内压、心输出量 (CO) 等监测指标。

1.5 数据的统计学处理

统计实验监测参数, 计算冠脉有效灌注压 (coronary perfusion pressure, CPP)、食道内压升降速率。实验结果数据用均数 \pm 标准差表示, 建模前后、VEAC 辅助循环前中后不同时点的血流动力学参数两两间比较, 根据单因数随机区组设计用方差分

析检验, $P < 0.05$ 为显著性差异。

2 结 果

2.1 建模前后各项监测指标的比较

建模后与建模前比较, 升主动脉压力指标、CO、CPP 均有显著下降; 右房压、左室舒张末压升高。CO 平均下降 46.51% , dp_{LV}/dt_{max} 平均下降 45.03% , 心衰建模成功。

2.2 VEAC 辅助循环与辅助循环前后比较

跟辅助循环前后及建模后心衰时比较 (表 1), VEAC 显著增加升主动脉收缩压峰值 ($P_{AoS, max}$)、收缩压平均值 (\bar{p}_{AoS})、左室压收缩期最大变化速率 (dp_{LV}/dt_{max})、心输出量 (CO), 及升主动脉舒张压平均值 (\bar{p}_{AoS})、CPP; 显著升高食道压收缩期平均值 (\bar{p}_{EsoS}) 和食道内压上升速率 (dp_{EsoS}/dt_{max}), 降低舒张期平均值 (\bar{p}_{EsoD})。辅助循环前与辅助循环后相比较, 各项指标均无明显变化。辅助循环前与辅助中的血液动力学记录曲线 (图 2)。可以看出辅助后主动脉收缩压、舒张压和左心室压 (\bar{p}_{LVED}) 都升高, CO 增加。

3 讨 论

表 1 VEAC 与建模后、辅助循环前后各指标的比较

Table 1 The comparison of hemodynamic parameters of VEAC with those of heart failure, pre-VEAC and post-VEAC

	Heart failure	Pre-VEAC	VEAC	Post-VEAC
$p_{AoS, max}$ (mmHg)	108 ± 10	110 ± 16	120 ± 10 ^{2), 4), 6)}	106 ± 14
\bar{p}_{AoS} (mmHg)	95 ± 17	99 ± 19	106 ± 17 ^{2), 3), 6)}	98 ± 17
\bar{p}_{AoSD} (mmHg)	86 ± 17	89 ± 20	98 ± 18 ^{2), 3), 6)}	89 ± 18
dp_{LV}/dt_{max} (mmHg/s)	$1\ 033 \pm 287$	206 ± 207	$1\ 369 \pm 297$ ^{1), 3), 5)}	$1\ 138 \pm 247$
p_{LVED} (mmHg)	10.8 ± 3.4	10.0 ± 3.8	10.5 ± 4.0	10.5 ± 4.2
\bar{p}_{RAs} (mmHg)	5.0 ± 4.1	3.8 ± 3.9	14.4 ± 5.6 ^{2), 6), 4)}	4.0 ± 4.5
\bar{p}_{RAs} (mmHg)	3.6 ± 3.6	3.1 ± 2.0	5.7 ± 2.9 ^{1), 3), 5)}	3.6 ± 2.9
CPP (mmHg)	82 ± 18	86 ± 20	92 ± 119 ^{2), 3), 5)}	85 ± 18
CO (L/min)	0.82 ± 0.25	0.87 ± 0.36	1.06 ± 0.39 ^{1), 3), 5)}	0.86 ± 0.40
\bar{p}_{EsoS} (mmHg)	1.0 ± 3.1	-1.8 ± 2.3	11.1 ± 2.7 ^{1), 3), 5)}	-2.1 ± 1.9
dp_{EsoS}/dt_{max} (mmHg/s)	74 ± 47	67 ± 36	265 ± 124 ^{1), 3), 5)}	92 ± 44
p_{EsoD} (mmHg)	-0.4 ± 4.9	-3.1 ± 1.5	-5.1 ± 5.1 ¹⁾	-2.0 ± 1.3

Compare with heart failure, 1) $P < 0.05$, 2) $P \leq 0.01$; Compare with pre-VEAC, 3) $P < 0.05$, 4) $P \leq 0.01$; Compare with post-VEAC, 5) $P < 0.05$, 6) $P \leq 0.01$

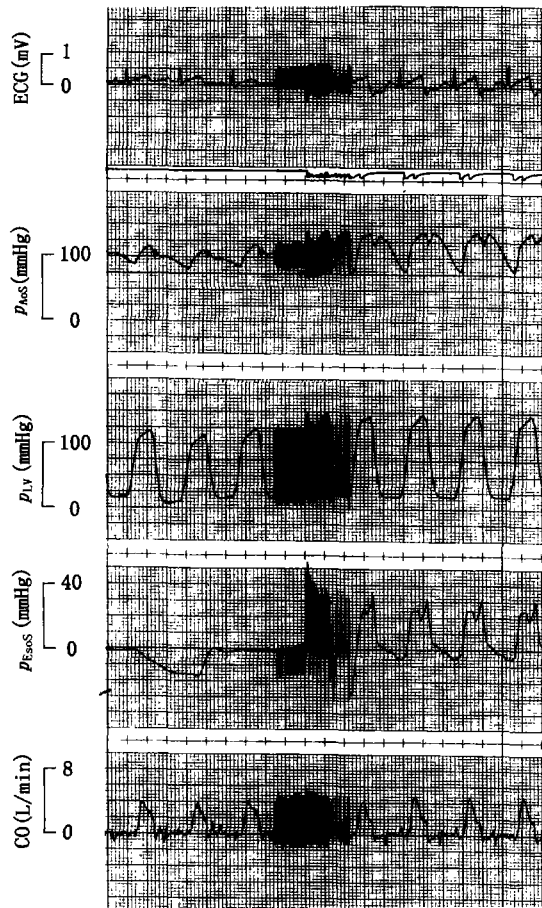


图 2 辅助循环前与辅助中的血液动力学记录曲线

Fig. 2 Hemodynamic recording before and during assisted circulation

本项目提出的无创辅助循环方法,从实验结果看,食道压升降速率与 VEST 囊内压变化速率相对应均明显升高;从食道内压指标来看,VEAC 与建模后、辅助循环前后比较,VEAC 可增加胸内压收缩期平均值,降低舒张期平均值,证明了 VEAC 的有效调动胸内压作用。VEAC 辅助循环中收缩期主动脉压峰值、平均值都显著升高,反映心脏泵血功能的指标: CO 、 dp_{lv}/dt_{max} 也显著升高,表明 VEAC 可辅助心脏射血;辅助循环中主动脉舒张压平均值较辅助前有明显增高(约 9 mmHg),比舒张期右房压平均值增高的幅值(约 2~3 mmHg)明显大,因此反映心肌供血情况的指标 CPP 显著增高,显示了 EECP 的作用;辅助循环前后各项指标比较均无显著差别,考虑是由于辅助循环时间短,犬的心功能及全身状态不可能在短时间内发生质的变化;其次是因为本实验为了保持血流动力学在稳定的心衰状态,持续普萘洛尔静滴维持。总之,实验结果表明 VEAC 同时具有增加衰竭心脏心输出量维持全身

循环和增加心肌供血的作用,基本达到了预期的治疗心衰的目的。

无创的体外辅助循环方法的优越性是不言而喻的,虽曾有不少研究(如 EECP、VEST 等),但由于其效果欠佳,还没有一种方法能用于临床。近几年甚至少见有这方面的研究报道,说明它们各自的辅助循环效果未得到认可。胸部充气背心(VEST)是最初作为一种复苏方法(VEST-CPR)。Beyar 等^[7]根据 VEST 的作用机制,将充气背心用于心衰的循环辅助治疗,动物实验表明 VEST 气囊节律性充气加压胸部可把体外按压的能量通过胸内压的周期变化传到心脏,与心脏收缩期同步,可辅助心脏收缩同时减少收缩期室壁张力,从而有效地增强衰竭心脏的射血能力、增加每搏量、提高主动脉收缩压改善机体重要器官的血供^[5, 7],且又可减少心脏做功耗氧,克服了药物治疗心衰时衰竭的心脏还必须继续超负荷工作的弊端。但是其缺点是 VEST 升高舒张压不显著,不能明显升高冠脉有效灌注压(CPP),对增加心肌供血和促进缺血心肌恢复的能力有限,难以很好地解决衰竭心脏的耗氧/供氧的不平衡状态。也许正是由于这个缺点,近几年未见有 VEST 辅助心衰的进展性研究报道。但是美国 Revivant Corporation 申请了 VEST 用于心衰的辅助循环装置的美国专利^[12]。与其相比,VEAC 由于具有 EECP 的作用显著提高舒张压可显著改善心肌供血,弥补了 VEST 的不足。

体外反搏(ECP)是美国 20 世纪 60 年代提出的一种在舒张期加压肢体使动脉血返流来增加冠脉供血的方法,用于冠心病的治疗。70 年代国内开始进行体外反搏的研究,再加上臀部反搏研制出增强型体外反搏装置(EECP)。动物实验和临床试验证实了 EECP 有良好的血流动力学效果,可显著升高主动脉舒张压,显著提高 CPP,增加心肌供血供氧,在临床中对以心绞痛为主的器官缺血性疾病有明确的疗效。70 年代后期国外开始把 ECP 用来治疗心衰,小样本临床试验取得了很好的效果^[6],近年来国内小样本临床报道 EECP 对轻中型心功能不全有较好治疗效果^[13]。对于心肌损害严重的心衰,由于 EECP 使动脉血返流的同时增加静脉回流,过高的前负荷可使严重心衰患者的心功能恶化^[8, 9]。因此,VEAC 与 EECP 相比较,对于急性严重心肌缺血损害的患者,VEAC 由于收缩期有 VEST 辅助心脏收缩,使心脏射血和排血能力均增强,即使是对于严重心衰患者,也不致于出现因 EECP 的前负荷

过高使心功能恶化的情况,从而使 EECP 可更充分地发挥其改善心肌血供的优点。

根据 VEST 和 EECP 的作用机制及实验结果,VEAC 的血流动力学机制为:以心电 R 波触发,收缩期 VEST 充气与心脏收缩期同步辅助心脏射血,增加心输出量,维持全身重要器官的供血,而心脏本身做功减少;且同时体外反搏加压结束,外周血管受压突然解除,外周阻力下降,也有利于心脏射血。舒张期 EECP 对下肢及臀部的序贯加压,增加主动脉舒张压及 CPP,改善心肌供血从而利于缺血损伤的心肌恢复功能,其增加的静脉回流,由于有充气背心的辅助,反而成为有利的因素,为下一个心动周期的射血,准备了充分的前负荷。这样两者协调配合,既能维持全身有效血液循环,又使心脏得到更好的休息和血供,从而达到有效辅助循环和心肌恢复的目的。

因本实验主要目的只观察 VEAC 短期辅助循环与无辅助循环的血流动力学效果差别,使用了普萘洛尔药物心衰模型,但是药物心衰模型与临床心衰患者的心肌缺血机制是有差异的。为了论证 VEAC 对冠心病心衰是否优于 VEST 或 EECP,以后实验将用微球栓塞法建立重度心衰模型犬(心输出量下降 45%~60%)进行长时间辅助循环,比较 VEAC、VEST 及 EECP 的效果,观察 VEAC 长时间辅助循环对心衰转归的影响。其次,VEST 和 EECP 能否很好的发挥协同互补作用,形成一个有机的整体,发挥最佳的辅助效果,与两者的时相配合有密切关系,需要专门设计这个实验,找到最佳参数配合,血流动力学效果将会更好。再者,由于 VEST 改变了胸内压,虽然其在多年的动物和临床 VEST-CPR 试验中未发现明显的不良作用,2000 年国际心肺复苏指南把 VEST-CPR 列为 Class II B(即在有经验的医生指导下实行是有益的)的复苏方法,说明其安全性,但其对肺和呼吸功能的影响还需进一步研究。

本文提出新的辅助循环方法(VEAC)与有创辅助循环方法相比,操作简便、并发症少、且可反复使用相对费用便宜,因此适用范围较广;用于突发性的严重心衰、心源性休克,尤其是药物难治性心衰的紧急抢救,可赶在不可逆心衰或多脏器功能衰竭之前应用,使患者度过难关或为进一步侵入性辅助循环、心脏手术、介入治疗赢得时间和机会,有较好的临床适用价值。研究结果表明 VEAC 具有 VEST

和 EECP 的优点并且互补,同时增强心脏射血和改善心肌血供,达到辅助循环的目的。

参考文献:

- [1] Ho K K, Anderson K M, Kannel W B, *et al.* Survival after the onset of congestive heart failure in Framingham Study subjects[J]. *Circulation*, 1993, 88(1): 107.
- [2] Sezai Y. Progress and future perspectives in mechanical circulatory support[J]. *Artif Organs*, 2001, 25(5): 318.
- [3] 包玉生. 机械辅助循环: 适应症的变化及选择 [J]. 国外医学生物医学工程分册, 1997, 20(6): 360.
- [4] McBride L R, Naunheim K S, Fiore A C, *et al.* Clinical experience with 111 thoratec ventricular assist devices[J]. *Ann Thorac Surg*, 1999, 67(5): 1233.
- [5] Chandra N C, Beyar R, Halperin H R, *et al.* Vital organ perfusion during assisted circulation by manipulation of intrathoracic pressure[J]. *Circulation*, 1991, 84(1): 279.
- [6] Amsterdam E A, Banas J, Criley J M, *et al.* Clinical assessment of external pressure circulatory assistance in acute myocardial infarction: report of a cooperative clinical trial [J]. *Am J Cardiol*, 1980, 45: 349.
- [7] Beyar R, Halperin H R, Tsitlik J E, *et al.* Circulatory assistance by intrathoracic pressure variations: optimization and mechanisms studied by a mathematical model in relation to experimental data[J]. *Circ Res*, 1989, 64(4): 703.
- [8] Parmley W W, Chatterjee K, Charuzi Y, *et al.* Hemodynamic effects of noninvasive systolic unloading (nitroprusside) and diastolic augmentation (external counterpulsation) in patients with acute myocardial infarction[J]. *Am J Cardiol*, 1974, 33(7): 819.
- [9] 徐筑斌. 体外反搏促发或加重左心功能不全 1 例 [J]. 中国介入心脏病学杂志, 1995, 3(2): 73.
- [10] 袁衡新, 郑振声, 钟惠芬, 等. 以充气背心为主体的新型双泵复苏术的血流动力学研究 [J]. 中山医科大学学报, 1995, 16 增刊: 18.
- [11] Mitsumaru A, Yozu R, Inoue Y, *et al.* Experimental study of combination of extraaortic balloon counterpulsation and ventricular assist cup to acute heart failure in dogs[J]. *A-SAIO J*, 1997, 43(3): 187.
- [12] Rothman N S, Gelfand M, Burkhoff D, *et al.* Revivant corporation, cardiac assist method using an inflatable vest [P]. United States, US6, 179, 793 B1, 2001. 6. 30.
- [13] 蔡乃绳. 用体外反搏法治疗冠心病时左心室功能的变化[J]. 临床医学杂志, 1985, (1): 27.

(编辑 刘清海)