

腹部提压法对窒息性心搏骤停猪复苏效果的实验研究

李秀满 王立祥 刘亚华 孙鲲 马立芝 郭晓东 李会清

【摘要】 目的 比较胸外按压心肺复苏(CC-CPR)与腹部提压心肺复苏(ALC-CPR)对窒息性心搏骤停猪复苏时血流动力学指标和呼吸指标的影响,初步评价腹部提压法对窒息性心搏骤停猪的复苏效果。**方法** 健康家猪 30 只,按随机数字表法分为两组,每组 15 只。建立窒息性心搏骤停模型,分别实施 CC-CPR 和 ALC-CPR。窒息前 10 min 开始连续记录心电图(ECG)、脉搏血氧饱和度(SpO_2)、呼气末二氧化碳分压($P_{ET}CO_2$)、主动脉收缩压(SBP)、舒张压(DBP)、中心静脉压(CVP)和潮气量(V_T)直至实验结束;计算主动脉平均动脉压(MAP)、冠状动脉灌注压(CPP)和分钟通气量(MV);分别在窒息前 10 min、窒息后 10 min 及复苏后 5、10、20 min 抽取动脉血查血气。观察两组动物的自主循环恢复(ROSC)率、24 h 存活率和 24 h 后神经功能缺损评分。**结果** 两组窒息前 10 min 和窒息后 10 min 各项指标均无明显差异。复苏后 2 min,CC-CPR 组 MAP (mm Hg, 1 mm Hg=0.133 kPa)和 CPP(mm Hg)高于 ALC-CPR 组(MAP: 43.60 ± 12.91 比 33.40 ± 6.59 , $P < 0.05$; CPP: 21.67 ± 11.28 比 11.80 ± 4.16 , $P < 0.01$);ALC-CPR 组 V_T (ml)和 MV(L/min)高于 CC-CPR 组(V_T : 111.67 ± 18.12 比 56.60 ± 7.76 ; MV: 11.17 ± 1.81 比 5.54 ± 0.79 , 均 $P < 0.01$)。在复苏后 5、10、20 min,ALC-CPR 组 pH 值、动脉血氧分压(PaO_2 , mm Hg)和动脉血氧饱和度(SaO_2)均升高, HCO_3^- (mmol/L)、剩余碱(BE, mmol/L)均降低,且均高于 CC-CPR 组(复苏 20 min 时 pH 值: 7.16 ± 0.16 比 7.01 ± 0.14 ; PaO_2 : 82.73 ± 13.20 比 58.33 ± 17.77 ; HCO_3^- : 27.71 ± 3.11 比 21.04 ± 3.62 ; BE: -4.78 ± 4.30 比 -10.23 ± 2.12 ; SaO_2 : 0.893 ± 0.088 比 0.764 ± 0.122),动脉血二氧化碳分压($PaCO_2$, mm Hg)、 K^+ (mmol/L)和乳酸(Lac, mmol/L)均明显低于 CC-CPR 组(复苏 20 min 时 $PaCO_2$: 49.40 ± 15.60 比 79.80 ± 15.35 ; K^+ : 7.18 ± 1.76 比 8.55 ± 1.02 ; Lac: 8.17 ± 1.46 比 10.39 ± 1.92),差异均有统计学意义($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。ALC-CPR 组 ROSC 率、24 h 存活率明显高于 CC-CPR 组(ROSC 率: 80.0% 比 26.7%, $P < 0.01$; 24 h 存活率: 60.0% 比 13.3%, $P < 0.05$),24 h 神经功能评分(分)低于 CC-CPR 组(1.11 ± 0.33 比 3.50 ± 0.70 , $P < 0.01$)。**结论** 在窒息性心搏骤停猪的复苏早期,ALC-CPR 较 CC-CPR 更具优势。

【关键词】 心肺复苏; 平均动脉压; 冠状动脉灌注压; 自主循环恢复率; 腹部提压法

An experimental study on the effects of rhythmic abdominal lifting and compression during cardiopulmonary resuscitation in a swine model of asphyxia LI Xiu-man*, WANG Li-xiang, LIU Ya-hua, SUN Kun, MA Li-zhi, GUO Xiao-dong, LI Hui-qing. *Jiangsu Province Key Laboratory of Anaesthesiology, Xuzhou Medical College, Xuzhou 221004, Jiangsu, China

Corresponding author: WANG Li-xiang, Emergency Medical Center, General Hospital of Chinese Armed Police Forces, Beijing 100039, China, Email: wjjjw@163.com

【Abstract】 Objective To compare the hemodynamic and respiratory influences of chest compression-cardiopulmonary resuscitation (CC-CPR) and rhythmic abdominal lifting and compression-cardiopulmonary resuscitation (ALC-CPR) in a swine model of asphyxia cardiac arrest (CA), and evaluate the effectiveness of rhythmic abdominal lifting and compression. **Methods** Thirty swines were randomly divided into two groups, with 15 swines in each group. CA model was reproduced by asphyxia as a result of clamping the trachea, and CC-CPR and ALC-CPR was conducted in two groups, respectively. Electrocardiogram (ECG), pulse oxygen saturation (SpO_2), end-tidal partial pressure of carbon dioxide ($P_{ET}CO_2$), aorta systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), central venous pressure (CVP), and tidal volume (V_T) were monitored continuously from 10 minutes before asphyxia to the end of experiment. The aorta mean arterial pressure (MAP), coronary perfusion pressure (CPP) and minute ventilation (MV) were calculated. Artery blood samples were collected to determine the blood gas analysis at 10 minutes before asphyxia, 10 minutes after asphyxia, and 5, 10, 20 minutes after resuscitation. The restoration of spontaneous circulation (ROSC) rate, 24-hour survival rate and 24-hour neurological function score were observed. **Results** There were no significant differences in all mentioned indexes between two groups at 10 minutes before and 10 minutes after asphyxia. At 2 minutes after the resuscitation, the MAP (mm Hg, 1 mm Hg=0.133 kPa) and CPP (mm Hg) in CC-CPR group were significantly higher than those in ALC-CPR group (MAP: 43.60 ± 12.91 vs. 33.40 ± 6.59 , $P < 0.05$; CPP: 21.67 ± 11.28 vs. 11.80 ± 4.16 , $P < 0.01$), the V_T (ml) and MV (L/min) in ALC-CPR group were significantly higher than those in CC-CPR group (V_T : 111.67 ± 18.12 vs. 56.60 ± 7.76 ; MV: 11.17 ± 1.81 vs. 5.54 ± 0.79 , both $P < 0.01$). At 5, 10, 20 minutes after resuscitation, in ALC-CPR group, pH value, arterial partial pressure of oxygen (PaO_2 , mm Hg) and arterial oxygen saturation (SaO_2) were increased, and HCO_3^- (mmol/L) and base excess (BE, mmol/L) were decreased, which significantly higher than those in CC-CPR group (pH at

20 minutes after resuscitation: 7.16 ± 0.16 vs. 7.01 ± 0.14 ; PaO_2 : 82.73 ± 13.20 vs. 58.33 ± 17.77 ; HCO_3^- : 27.71 ± 3.11 vs. 21.04 ± 3.62 ; BE: -4.78 ± 4.30 vs. -10.23 ± 2.12 ; SaO_2 : 0.893 ± 0.088 vs. 0.764 ± 0.122), and arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO_2 , mm Hg), K^+ (mmol/L) and lactic acid (Lac, mmol/L) were significantly lower than those in CC-CPR group (PaCO_2 at 20 minutes after resuscitation: 49.40 ± 15.60 vs. 79.80 ± 15.35 ; K^+ : 7.18 ± 1.76 vs. 8.55 ± 1.02 ; Lac: 8.17 ± 1.46 vs. 10.39 ± 1.92), with statistical significant ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). But the ROSC rate and 24-hour survival rate in ALC-CPR group were significantly higher than those in CC-CPR group (ROSC rate: 80.0% vs. 26.7%, $P < 0.01$; 24-hour survival rate: 60.0% vs. 13.3%, $P < 0.05$), and the 24-hour neurological function score was significantly lower than that in CC-CPR group (1.11 ± 0.33 vs. 3.50 ± 0.70 , $P < 0.01$). **Conclusion** In the incipient stage of cardiopulmonary resuscitation of the swine CA model of asphyxia, compared with CC-CPR, ALC-CPR can be more effective.

【Key words】 Cardiopulmonary resuscitation; Mean arterial pressure; Coronary perfusion pressure; Restoration of spontaneous circulation rate; Rhythmic abdominal lifting and compression

心搏骤停(CA)常采用的复苏方法是胸外按压心肺复苏(CC-CPR),但该方法复苏成功率并不理想,尤其在院外的复苏成功率更低^[1-2]。临床上CA的案例多为心室纤颤(室颤),2010年新指南提出胸外按压和除颤尤其重要,但在肺源性CA案例中,通气和按压一样重要^[3-4]。国内外学者在心肺复苏(CPR)的作用机制和方法学上进行了一系列的研究探索,提出多种新的复苏方法。本研究通过比较腹部提压心肺复苏(ALC-CPR)和CC-CPR对窒息性CA猪血流动力学和通气指标的影响,初步评估腹部提压法的复苏效果,旨在探讨一种新的CPR方法。

1 材料与与方法

1.1 动物分组与模型准备:健康家猪30只,雌雄不限,体重(25 ± 3) kg,由解放军总医院动物实验中心提供,动物合格证号:SCXK(京)2007-0003。按照完全随机法将动物分为ALC-CPR组和CC-CPR组,每组15只。用氯胺酮和速眠新合剂诱导麻醉,经口气管插管,保留自主呼吸。行左股动脉、右颈外静脉穿刺置管,连接生理功能实验系统,用于记录主动脉压(胸主动脉)和右房压;建立耳缘静脉通路用于给药。术中持续监测心电图(ECG)、脉搏血氧饱和度(SpO_2)、呼气末二氧化碳分压($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$)和潮气量(V_T)。术中根据需要追加3%戊巴比妥维持麻醉。动物平静10 min后记录基础值各5 min,耳缘静脉注入琥珀胆碱2 mg/kg,夹闭气管导管至CA。CA的标准参照文献^[5],CA 1 min定义为复苏0 min。

复苏最初5 min,CC-CPR组仅行胸外按压,频率100次/min,记录 V_T ,不给氧、不给药、不进行机械通气,胸外按压和放松周期比例为50%:50%,按

压深度为胸廓前后径的1/3。ALC-CPR组仅行腹部提压,提压频率100次/min,按压提拉幅度均为腹部前后径的1/2,其余操作同CC-CPR组。

复苏5 min后进入高级生命支持,无自主循环恢复(ROSC)患者经右颈内静脉推注肾上腺素首次30 $\mu\text{g}/\text{kg}$,给予胸外按压和机械通气(氧含量100%, V_T 15 ml/kg);室颤时给予单次200 J双向波除颤,若无ROSC,重新开始120 s复苏后再次给予单次200 J双向波除颤,随后重复以上步骤进行按压—除颤—按压—除颤;已经有ROSC者仅给予机械通气至自主呼吸恢复。可在复苏开始后6、9、12、15和18 min时以相同剂量和途径给予肾上腺素,若连续复苏20 min动物仍未达到ROSC则宣布复苏失败。ROSC定义为恢复室上性心律,收缩压(SBP) ≥ 50 mm Hg (1 mm Hg=0.133 kPa)并且维持1 min以上^[6]。

本实验中动物处理方法符合动物伦理学标准。

1.2 各参数的测定及处理:动物麻醉后待血流动力学稳定时记录各项指标作为基础值。每0.5 min记录1次指标值,直至动物ROSC或复苏20 min未恢复自主循环而结束实验。计算平均动脉压[MAP, 主动脉舒张压(DBP)+(主动脉SBP-主动脉DBP)/3]、冠状动脉灌注压(CPP, 主动脉DBP-右房压)和分钟通气量(MV, $V_T \times$ 呼吸频率)。分别在窒息前10 min(T1)、窒息后10 min(T2)以及复苏后5、10、20 min(T3、T4、T5)5个时间点采集动脉血进行血气分析。24 h后参照文献^[7]方法进行神经功能评分。

1.3 统计学方法:采用SPSS 17.0统计软件,计量数据以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验,率的比较用Fisher的确切概率法, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组动物基本情况比较(表1):两组各项指标基础值比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$),有可比性。

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2012.04.014

基金项目:国家实用新型专利(ZL 2009 2 0160376.3)

作者单位:221004 徐州医学院江苏省麻醉学重点实验室(李秀满);100039 北京,武警总医院急救医学中心(王立祥、刘亚华、孙鲲、马立芝、郭晓东、李会清)

通信作者:王立祥,Email: wjjjwx@163.com

表 1 两组动物诱发心搏骤停前基础值的比较($\bar{x} \pm s$)

组别	动物数	体重(kg)	HR(次/min)	SpO ₂	P _{ET} CO ₂ (mm Hg)	MAP(mm Hg)	CPP(mm Hg)	V _T (ml)	MV(L/min)
CC-CPR 组	15	25.97 ± 1.20	159.00 ± 16.16	0.969 ± 0.010	39.00 ± 1.31	117.70 ± 14.92	102.60 ± 15.28	173.87 ± 12.94	3.82 ± 0.30
ALC-CPR 组	15	26.37 ± 1.38	164.67 ± 17.75	0.965 ± 0.009	38.87 ± 1.13	116.93 ± 15.69	102.20 ± 16.38	175.53 ± 13.90	3.87 ± 0.30

注:CC-CPR:胸外按压心肺复苏,ALC-CPR:腹部提压心肺复苏,HR:心率,SpO₂:脉搏血氧饱和度,P_{ET}CO₂:呼气末二氧化碳分压,MAP:平均动脉压,CPP:冠状动脉灌注压,V_T:潮气量,MV:分钟通气量;1 mm Hg=0.133 kPa

表 2 不同复苏方法两组动物复苏 2 min 时循环和通气指标以及 ROSC 率、24 h 存活率和 24 h 神经功能评分比较

组别	动物数	MAP($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	CPP($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	V _T ($\bar{x} \pm s$, ml)	MV($\bar{x} \pm s$, L/min)	ROSC 率(%)	24 h 存活率(%)	神经功能评分($\bar{x} \pm s$, 分)
CC-CPR 组	15	43.60 ± 12.91	21.67 ± 11.28	56.60 ± 7.76	5.54 ± 0.79	26.7	13.3	3.50 ± 0.70
ALC-CPR 组	15	33.40 ± 6.59 ^a	11.80 ± 4.16 ^b	111.67 ± 18.12 ^b	11.17 ± 1.81 ^b	80.0 ^b	60.0 ^a	1.11 ± 0.33 ^b

注:ROSC:自主循环恢复,CC-CPR:胸外按压心肺复苏,ALC-CPR:腹部提压心肺复苏,MAP:平均动脉压,CPP:冠状动脉灌注压,V_T:潮气量,MV:分钟通气量;与 CC-CPR 组比较,^aP<0.05,^bP<0.01;1 mm Hg=0.133 kPa

表 3 不同复苏方法两组动物复苏不同时间点动脉血气分析结果比较($\bar{x} \pm s$)

组别	时间	动物数	pH 值	PaCO ₂ (mm Hg)	PaO ₂ (mm Hg)	K ⁺ (mmol/L)	Lac(mmol/L)	HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	BE(mmol/L)	SaO ₂
CC-CPR 组	T1	15	7.40 ± 0.07	38.60 ± 3.89	85.00 ± 9.55	3.80 ± 0.40	0.75 ± 0.26	24.22 ± 2.28	1.94 ± 2.53	0.932 ± 0.034
	T2	15	7.05 ± 0.07	77.00 ± 7.54	12.73 ± 5.02	6.44 ± 0.83	6.31 ± 1.20	25.15 ± 1.12	-11.11 ± 1.62	0.210 ± 0.066
	T3	15	6.94 ± 0.08	77.93 ± 9.05	7.47 ± 5.59	8.30 ± 1.05	8.09 ± 1.03	16.12 ± 1.20	-13.67 ± 1.24	0.203 ± 0.187
	T4	15	6.97 ± 0.12	61.87 ± 9.79	38.27 ± 8.65	8.70 ± 1.31	9.23 ± 1.39	18.60 ± 2.75	-16.22 ± 2.35	0.639 ± 0.127
	T5	15	7.01 ± 0.14	79.80 ± 15.35	58.33 ± 17.77	8.55 ± 1.02	10.39 ± 1.92	21.04 ± 3.62	-10.23 ± 2.12	0.764 ± 0.122
ALC-CPR 组	T1	15	7.40 ± 0.04	38.80 ± 3.51	86.33 ± 7.95	3.70 ± 0.26	0.75 ± 0.28	25.68 ± 2.44	1.88 ± 1.61	0.931 ± 0.032
	T2	15	7.07 ± 0.08	79.53 ± 7.18	11.80 ± 3.84	6.41 ± 0.83	6.04 ± 1.47	24.98 ± 1.26	-10.17 ± 1.98	0.219 ± 0.062
	T3	15	7.05 ± 0.10 ^a	59.27 ± 7.98 ^a	46.60 ± 13.63 ^a	7.57 ± 0.80 ^b	6.93 ± 1.57 ^b	18.51 ± 2.41 ^a	-10.67 ± 1.51 ^a	0.590 ± 0.132 ^a
	T4	15	7.11 ± 0.13 ^a	48.47 ± 5.78 ^a	68.87 ± 10.57 ^a	7.94 ± 1.79	8.17 ± 1.38 ^b	23.93 ± 3.13 ^a	-12.51 ± 1.42 ^a	0.832 ± 0.081 ^a
	T5	15	7.16 ± 0.16 ^a	49.40 ± 15.60 ^a	82.73 ± 13.20 ^a	7.18 ± 1.76 ^b	8.17 ± 1.46 ^a	27.71 ± 3.11 ^a	-4.78 ± 4.30 ^a	0.893 ± 0.088 ^b

注:CC-CPR:胸外按压心肺复苏,ALC-CPR:腹部提压心肺复苏,T1:窒息前 10 min,T2:窒息后 10 min,T3、T4、T5:复苏后 5、10、20 min,PaCO₂:动脉血二氧化碳分压,PaO₂:动脉血氧分压,Lac:乳酸,BE:剩余碱,SaO₂:动脉血氧饱和度;与 CC-CPR 组同期比较,^aP<0.05,^bP<0.01;1 mm Hg=0.133 kPa

2.2 两组动物复苏 2 min 时循环和呼吸功能比较(表 2):复苏 2 min 时,ALC-CPR 组的 MAP 和 CPP 明显低于 CC-CPR 组(P<0.05 和 P<0.01),而 V_T 和 MV 明显高于 CC-CPR 组(均 P<0.01)。

2.3 两组动物血气分析结果比较(表 3):两组在窒息前 10 min 和窒息后 10 min 各项指标比较差异均无统计学意义(均 P>0.05)。在复苏后 5、10 和 20 min,ALC-CPR 组 pH 值、动脉血氧分压(PaO₂)、HCO₃⁻、剩余碱(BE)和动脉血氧饱和度(SaO₂)均明显高于 CC-CPR 组,动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)、K⁺ 和乳酸(Lac)均明显低于 CC-CPR 组(P<0.05 或 P<0.01)。

2.4 两组 ROSC 率、24 h 存活率和 24 h 神经功能评分比较(表 2):ALC-CPR 组 ROSC 率和 24 h 存活率均高于 CC-CPR 组(P<0.01 和 P<0.05),24 h 神经功能评分明显低于 CC-CPR 组(P<0.01)。

2.5 并发症:两组均未出现反流误吸的情况。经尸检解剖发现,CC-CPR 组有 6 只动物出现了不同程

度的肋骨骨折,胸膜未见有明显损伤,但有 2 只动物在复苏过程中有粉红色泡沫样痰液从气管导管中流出,说明出现了肺水肿的情况。ALC-CPR 组有 1 只动物出现肝脏损伤,但未见肺水肿的情况发生。

3 讨论

CPR 是在 CA 后采取的一系列救治措施,CPR 指南对复苏操作也进行了多次修订。多年来学者们对 CC-CPR 的作用机制进行了大量研究,主要有心泵、胸泵和左房泵 3 种学说^[8]。ALC-CPR 方法则是通过胸泵和腹泵机制^[9]来产生人工循环。进行腹部按压时,腹腔内压力增大,使膈肌受压上移,胸腔内容积减小,压力增大,心脏受压容积减小,血液流出心脏,产生前向血流。进行腹部提拉时,腹腔内压力减小,膈肌下移,胸腔内容积增大,压力减小,心脏舒张,血液流回心脏,为下次按压心脏泵血做准备^[10]。腹部按压时,腹部器官及容量血管受压,利于血液流回心脏。另外,腹部按压时,胸腔内负压减小,肺受压使气体排出,患者呼气;腹部提拉时,胸腔内负压增

大,肺膨胀使患者吸气,产生呼吸作用^[11-12]。

本研究显示,在复苏开始后 2 min CC-CPR 组 MAP 和 CPP 均高于 ALC-CPR 组,但 ALC-CPR 组 ROSC 率高于 CC-CPR 组。CC-CPR 的复苏机制为心泵和胸泵机制^[13],在进行胸外按压时,外力既可使胸内压增加,作用于心脏,又可通过胸骨挤压心脏,对心脏的作用力较大,产生的收缩压也大。在放松期,胸内负压增大,作用于心脏的外力消失,心脏充分舒张。而 ALC-CPR 的复苏机制主要为腹泵和胸泵机制,腹部提压时,一方面作用于腹主动脉,类似于腹主动脉反搏;另一方面通过使膈肌上下移动来改变胸内压,间接作用于心脏,但对心脏的收缩和舒张作用有限。腹部提压产生的 CPP 接近 ROSC 所需的 CPP(15 mm Hg)^[14],对心脏本身供血有良好的维持作用。在本实验中,窒息前和复苏前 CC-CPR 组与 ALC-CPR 组血气分析比较无差异;但在复苏后 5、10、20 min,ALC-CPR 组 pH 值、PaO₂、HCO₃⁻、BE 和 SaO₂ 均明显高于 CC-CPR 组,而 PaCO₂、K⁺ 和 Lac 均明显低于 CC-CPR 组。说明 ALC-CPR 组酸中毒情况比 CC-CPR 组轻。究其根源,应与 ALC-CPR 提供了较好的通气有关,在复苏 2 min 时,CC-CPR 组的 V_T 仅为(56.60 ± 7.76) ml,不到基础值的 1/3,相当于无效腔通气。反之,ALC-CPR 组的 V_T 达(111.67 ± 18.12) ml,明显高于 CC-CPR 组。相应的 ALC-CPR 组 MV 也就明显高于 CC-CPR 组。众所周知,在窒息性 CA 时,通气和按压同等重要,因为窒息过程长达 10 min 左右,机体处于严重氧债状态,此时如不及时通气供氧,将导致外周血管张力丧失,心肌线粒体等细胞器产生不可逆性损伤。

综上所述,ALC-CPR 产生的 MAP 和 CPP 虽低于 CC-CPR,但是其产生的 V_T 和 MV 高于 CC-CPR 组;血气分析显示酸中毒情况在 ALC-CPR 组比 CC-CPR 组轻,因此,ALC-CPR 组的 ROSC 率较 CC-CPR 组高,神经功能评分也比 CC-CPR 组好。说明在窒息性 CA 中,ALC-CPR 比 CC-CPR 复苏效率高。两组在并发症方面,CC-CPR 组有 6 只动物发生了胸肋骨骨折,而 ALC-CPR 组因为不按压胸部,未见胸肋骨骨折发生,仅有 1 只动物出现肝脏损伤;两组均未发生反流误吸的情况,可能由于本实验前对动物进行了长时间禁食,在饱胃或者禁食时间短的情况中是否会引发反流误吸,还需进一步实验。

ALC-CPR 是一种新的复苏方法,是经腹 CPR 的大胆尝试,在前期的动物实验和临床个例患者抢救中均取得了较好的效果^[10-11,15]。本实验中采用室

息性 CA 猪模型,结果显示 ALC-CPR 有较好的复苏效果,为进一步开展个体化 CPR 提供了依据。但是本实验仅是初步的动物研究,由于样本量有限,还需要进一步的实验研究加以验证。

参考文献

- [1] Geddes LA, Rundell A, Lottes A, et al. A new cardiopulmonary resuscitation method using only rhythmic abdominal compression: a preliminary report. *Am J Emerg Med*, 2007, 25: 786-790.
- [2] Lederer W, Mair D, Rabl W, et al. Frequency of rib and sternum fractures associated with out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation is underestimated by conventional chest X-ray. *Resuscitation*, 2004, 60: 157-162.
- [3] Field JM, Hazinski MF, Sayre MR, et al. Part 1: executive summary: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*, 2010, 122: S640-656.
- [4] Reid BO, Skogvoll E. Pitfalls with the "chest compression-only" approach: the challenge of an unusual cause. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2010, 18: 45.
- [5] Idris AH, Becker LB, Ornato JP, et al. Utstein-style guidelines for uniform reporting of laboratory CPR research. *Resuscitation*, 1996, 33: 69-84.
- [6] Park CH, Jeung KW, Min YI, et al. Sustained manual abdominal compression during cardiopulmonary resuscitation in a pig model: a preliminary investigation. *Emerg Med J*, 2010, 27: 8-12.
- [7] Fries M, Nolte K, Demir F, et al. Neurocognitive performance after cardiopulmonary resuscitation in pigs. *Crit Care Med*, 2008, 36: 842-847.
- [8] 胡辉莹, 钟世镇. 心肺复苏中胸外按压作用及研究进展. *中国急救医学*, 2006, 26: 928-930.
- [9] Aliverti A, Bovio D, Fullin I, et al. The abdominal circulatory pump. *PLoS One*, 2009, 4: e5550.
- [10] 王立祥, 郑静晨. 单纯腹部提压: 一种心肺复苏的新方法. *中国危重病急救医学*, 2009, 21: 323-324.
- [11] 王立祥, 刘亚华, 李秀满, 等. 腹部提压心肺复苏法对呼吸骤停猪肺通气的实验研究. *中国危重病急救医学*, 2011, 23: 368-369.
- [12] Pargett M, Geddes LA, Otlewski MP, et al. Rhythmic abdominal compression CPR ventilates without supplemental breaths and provides effective blood circulation. *Resuscitation*, 2008, 79: 460-467.
- [13] 陈前波, 郭昌星. 心肺复苏新进展. *中华全科医学*, 2008, 6: 1185-1186.
- [14] Paradis NA, Martin GB, Rivers EP, et al. Coronary perfusion pressure and the return of spontaneous circulation in human cardiopulmonary resuscitation. *JAMA*, 1990, 263: 1106-1113.
- [15] 李会清, 王立祥, 刘亚华, 等. 腹部提压法对心搏骤停猪血流动力学影响的实验研究. *中国危重病急救医学*, 2011, 23: 631-632.

(收稿日期: 2011-09-15)

(本文编辑: 李银平)