

不同胸外按压频率对家猪心搏骤停后心肺复苏结局的影响

徐娜娜^{1,2} 张加碧³ 罗家林⁴ 王莉⁴ 陈勇⁴ 周丽君² 陈碧华⁵ 罗澜¹

刘小露¹ 骆书菊² 王勇² 罗遵伟¹ 丁莉¹ 李美⁶ 周满红⁴

¹ 遵义医科大学附属医院急诊科, 贵州遵义 563000; ² 遵义医科大学附属医院护理部, 贵州遵义 563000; ³ 贵州茅台医院护理部, 贵州仁怀 564500; ⁴ 贵州茅台医院急诊科, 贵州仁怀 564500;

⁵ 陆军军医大学生物医学工程与影像学系, 重庆 400000; ⁶ 仁怀市人民医院高压氧治疗中心, 贵州仁怀 564500

通信作者: 张加碧, Email: 32715515@qq.com

【摘要】 目的 比较 60~140 次/min 胸外按压频率对家猪心搏骤停(CA)后心肺复苏(CPR)血流动力学、自主循环恢复(ROSC)、复苏成功及存活的影响。**方法** 按随机数字表法将 40 只健康雄性家猪按胸外按压频率分成 60、80、100、120 和 140 次/min 5 个观察组, 每组 8 只。常规麻醉、气管插管, 经左股动脉置管至胸主动脉实时监测主动脉压力(AOP); 经右颈内静脉置管至右心房实时监测右心房压力(RAP)。各组动物经右颈外静脉植入诱导电极至心内膜以诱发心室纤颤(室颤)致 CA; 观察 1 min 后按相应频率进行人工胸外按压, 按压深度 5 cm; CPR 2 min 时予以首次电除颤; 整个 CPR 过程中未使用肾上腺素或其他药物。从制模前 1 min 至 ROSC 后 10 min, 动态监测 AOP、冠状动脉灌注压(CPP)、呼气末二氧化碳分压($P_{ET}CO_2$)。透射电镜下观察 ROSC 后 24 h 大脑皮质显微结构。**结果** 随着按压频率的增高, 总除颤次数和总除颤能量明显下降, 120 次/min 组达最低, 总除颤次数从 60 次/min 组的 (4.88 ± 0.83) 次减少到 (2.25 ± 0.71) 次, 总除颤能量从 60 次/min 组的 (975.00 ± 166.90) J 减少至 (450.00 ± 141.42) J, 但 140 次/min 组又明显升高[总除颤 (4.75 ± 1.04) 次, 总除颤能量 (950.00 ± 207.02) J], 各组间差异均有统计学意义(均 $P < 0.01$)。随着按压频率的增高, 胸外按压期间 $P_{ET}CO_2$ 、及首次除颤前 AOP、CPP 明显增高, 120 次/min 组达最高[与 60 次/min 组比较, $P_{ET}CO_2$ (mmHg, 1 mmHg ≈ 0.133 kPa): 18.69 ± 1.98 比 8.67 ± 1.30 , AOP (mmHg): 95.13 ± 7.06 比 71.00 ± 6.41 , CPP (mmHg): 14.88 ± 6.92 比 8.57 ± 3.42], 但 140 次/min 组又明显降低 [$P_{ET}CO_2$ 、AOP、CPP 分别为 (10.59 ± 1.40) 、 (72.38 ± 11.49) 、 (10.36 ± 4.57) mmHg], 各组间差异均有统计学意义(均 $P < 0.01$)。随着胸外按压频率的增高, ROSC、复苏成功及 24 h 存活的动物明显增多, 120 次/min 组达到最多[与 60 次/min 组比较, ROSC (只): 7 比 2, 复苏成功 (只): 7 比 2, 24 h 存活 (只): 7 比 1], 但 140 次/min 组又明显减少 (ROSC、复苏成功及 24 h 存活的动物分别为 3、3、2 只)。透射电镜下观察, 60、80 和 140 次/min 组脑组织细胞核膜欠完整光滑, 核仁不清晰; 线粒体肿胀, 形态不规整, 嵴数量减少。与此相比, 100 次/min 组和 120 次/min 组损伤明显减轻。**结论** 在 60~140 次/min 的胸外按压频率中, 120 次/min 的胸外按压频率更能改善 CA-CPR 家猪复苏期间的血流状态, 从而促进复苏。由于分组间隔较大, 最佳按压频率区间还需进一步研究确定。

【关键词】 心搏骤停; 心肺复苏; 胸外心脏按压; 按压频率; 结局

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(81701300); 贵州省遵义市科技计划项目(HZ-2022-221)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250124-00083

The impact of different chest compression frequencies on cardiopulmonary resuscitation outcomes in domestic pigs

Xu Nana^{1,2}, Zhang Jiabi³, Luo Jialin⁴, Wang Li⁴, Chen Yong⁴, Zhou Lijun², Chen Bihua⁵, Luo Lan¹, Liu Xiaolu¹, Luo Shuju², Wang Yong², Luo Zunwei¹, Ding Li¹, Li Mei⁶, Zhou Manhong⁴

¹Department of Emergency, Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, Guizhou, China; ²Department of Nursing, Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, Guizhou, China; ³Department of Nursing, Kweichow Moutai Hospital, Renhuai 564500, Guizhou, China; ⁴Department of Emergency, Kweichow Moutai Hospital, Renhuai 564500, Guizhou, China; ⁵Department of Biomedical Engineering and Imaging, Army Military Medical University, Chongqing 400000, China; ⁶Hyperbaric Oxygen Treatment Center, Renhuai People's Hospital, Renhuai 564500, Guizhou, China

Corresponding author: Zhang Jiabi, Email: 32715515@qq.com

【Abstract】 Objective To compare the effects of different chest compression rates (60–140 times/min) on hemodynamic parameters, return of spontaneous circulation (ROSC), resuscitation success, and survival in a porcine model of cardiac arrest (CA) followed by cardiopulmonary resuscitation (CPR). **Methods** Forty healthy male domestic pigs were randomly divided into five groups based on chest compression rate: 60, 80, 100, 120, and 140 times/min ($n = 8$).

All animals underwent standard anesthesia and tracheal intubation. A catheter was inserted via the left femoral artery into the thoracic aorta to monitor aortic pressure (AOP), and another via the right external jugular vein into the right atrium to monitor right atrial pressure (RAP). In each group, animals were implanted with a stimulating electrode via the right external jugular vein to the endocardium, and ventricular fibrillation (VF) was induced by delivering alternating current stimulation, resulting in CA. After a 1-minute, manual chest compressions were performed at the assigned rate with a compression depth of 5 cm. The first defibrillation was delivered after 2 minutes of CPR. No epinephrine or other pharmacologic agents were administered during the entire resuscitation process. From 1 minute before VF induction to 10 minutes after ROSC, dynamic monitoring of AOP, coronary perfusion pressure (CPP), and partial pressure of end-tidal carbon dioxide ($P_{ET}CO_2$). Cortical ultrastructure was examined 24 hours post-ROSC using transmission electron microscopy. **Results** With increasing compression rates, both the total number of defibrillations and cumulative defibrillation energy significantly decreased, reaching their lowest levels in the 120 times/min group. The number of defibrillations decreased from (4.88 ± 0.83) times in the 60 times/min group to (2.25 ± 0.71) times in the 120 compressions/min group, and energy from (975.00 ± 166.90) J to (450.00 ± 141.42) J. However, both parameters increased again in the 140 times/min group [(4.75 ± 1.04) times, (950.00 ± 207.02) J], the differences among the groups were statistically significant (both $P < 0.01$). As compression frequency increased, $P_{ET}CO_2$, pre-defibrillation AOP and CPP significantly improved, peaking in the 120 times/min group [compared with the 60 times/min group, $P_{ET}CO_2$ (mmHg, 1 mmHg ≈ 0.133 kPa): 18.69 ± 1.98 vs. 8.67 ± 1.30 , AOP (mmHg): 95.13 ± 7.06 vs. 71.00 ± 6.41 , CPP (mmHg): 14.88 ± 6.92 vs. 8.57 ± 3.42]. However, in the 140 times/min group, these values declined significantly again [$P_{ET}CO_2$, AOP, and CPP were (10.59 ± 1.40) , (72.38 ± 11.49) , and (10.36 ± 4.57) mmHg, respectively], the differences among the groups were statistically significant (all $P < 0.01$). The number of animals achieving ROSC, successful resuscitation, and 24-hour survival increased with higher compression rates, reaching a peak in the 120 times/min group (compared with the 60 times/min group, ROSC: 7 vs. 2, successful resuscitation: 7 vs. 2, 24-hour survival: 7 vs. 1), then decreased again in the 140 times/min group (the animals that ROSC, successfully recovered and survived for 24 hours were 3, 3, and 2, respectively). Transmission electron microscopy revealed that in the 60, 80, and 140 times/min groups, nuclear membranes in cerebral tissue were irregular and incomplete, nucleoli were indistinct, and mitochondria were swollen with reduced cristae and abnormal morphology. In contrast, the 100 times/min and 120 times/min groups exhibited significantly attenuated ultrastructural damage. **Conclusions** Among the tested chest compression rates of 60–140 times/min, a chest compressions frequency of 120 times/min is the most favorable hemodynamic profile and outcomes during CPR in a porcine CA model. However, due to the wide spacing between groups, further investigation is needed to determine the optimal compression rate range more precisely.

[Key words] Cardiac arrest; Cardiopulmonary resuscitation; External chest compressions; Compressing rate; Outcome

Fund program: Youth Project Supported by National Natural Science Foundation of China (81701300); Science and Technology Plan Project of Zunyi City of Guizhou Province of China (HZ-2022-221)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250124-00083

心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)是抢救心搏骤停(cardiac arrest, CA)患者的核心急救措施,尤其是院前急救中,其操作质量对患者的生存率和神经系统功能预后具有决定性影响^[1]。CPR时连续不间断地胸外按压以建立人工循环,可以提高冠状动脉灌注压(coronary artery perfusion pressure, CPP),促进心脏复跳,恢复搏血功能。现代CPR虽然是由胸外按压、人工呼吸、心电除颤3个部分组成,但胸外按压是最关键的步骤^[2]。近年来,关于最优胸外按压频率的研究持续推进,但国际复苏指南推荐的按压频率范围(100~120次/min)仍存在较大争议^[3]。

研究表明,较高的按压频率可能因减少静脉回流导致心排量下降,而较低的按压频率则可能降低主动脉压(aortic pressure, AOP)及CPP,影响器官供血、供氧^[4]。此外,在不同的复苏环境下(院内外CA、不同病因的CA),按压频率的最佳选择可能有

所不同^[5]。由于伦理和操作上的限制,在临床环境中直接对不同按压频率进行系统比较存在挑战。

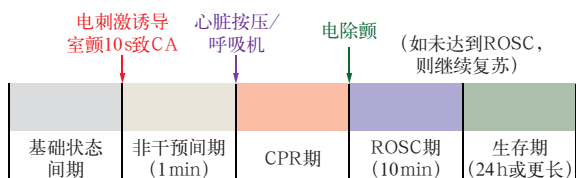
本研究拟通过CA家猪模型,评估不同胸外心脏按压频率对血流动力学、氧供状态及复苏后器官功能的影响,以探讨胸外按压频率对复苏结局的影响及机制,以期为CA患者的临床救治提供新的思路和数据支持,优化CPR策略,提高患者的救治成功率。

1 材料与方法

1.1 动物与分组: 40只健康雄性家猪,5~6月龄,体质量 (35.0 ± 2.5) kg,购自遵义医科大学实验动物中心,动物许可证号:SCXK(黔)2018-0006。按随机数字表法将动物分成胸外按压60、80、100、120、140次/min 5个观察组,每组8只。

1.2 实验流程(图1): 参照Utstein模式^[6]进行改良。

1.2.1 实验动物准备: 所有动物在实验前禁食12 h,以确保胃内容物清空,从而降低麻醉及手术过程中



注: CA 为心搏骤停, CPR 为心肺复苏, ROSC 为自主循环恢复

图1 不同胸外按压频率对 CA 家猪 CPR 结局影响的实验流程

发生误吸的风险。本实验按照遵义医科大学实验动物伦理委员会批准的程序进行(审批号: ZMU21-2207-014)。实验动物采用分阶段麻醉方案。首先,耳后肌肉注射地西泮注射液 0.20~0.45 mg/kg, 10~15 min 后动物昏睡。观察 5 min 后将动物放置于 V 形槽手术台上,并进行心电监护及脉搏血氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO₂)监测。经前腔静脉行丙泊酚复合舒芬太尼静脉麻醉,深静脉通道建立后静脉注射丙泊酚中/长链脂肪乳注射液 20 mg,随后以 20~40 mg/h 的速度维持麻醉;静脉注射舒芬太尼注射液 2 μg,如麻醉时间超过 2 h,再静脉注射 1~2 μg 舒芬太尼注射液维持镇痛效果。手术过程中如动物出现睁眼、体动、摇头等清醒征兆,可临时静脉注射 10~20 mg 丙泊酚中/长链脂肪乳注射液。维持中度麻醉(呼吸节律均匀、生命体征稳定、疼痛刺激无反应),于致颤前 30 min 停用。应用兽用喉镜辅助气管插管,并连接呼气末二氧化碳分压(partial pressure of end-tidal carbon dioxide, P_{ET}CO₂)监测仪及呼吸机,参数设置为容量控制模式、潮气量 10 mL/kg、吸呼比 1:2、氧浓度 21%,调节呼吸频率维持初始 P_{ET}CO₂ 在 35~40 mmHg (1 mmHg≈0.133 kPa),以确保实验动物在整个过程中维持良好的气体交换,并减少低氧血症的发生风险。经右颈内静脉置管至右心房,以实时监测右心房压力(right atrial pressure, RAP)、采血和进行药物注射^[7]。经右颈外静脉植入诱导电极用于诱发心室纤颤(室颤)^[8]。经左股动脉将导管置入胸主动脉以监测 AOP。所有动静脉导管均间断使用 5 kU/L 的肝素生理盐水冲管,以防止血栓形成。

1.2.2 CA 模型制备及 CPR: 参照本团队的方法制备 CA 动物模型^[9]。通过诱颤电极释放 1 mA 交流电至右心室,以诱导室颤 10 s。CA 标准为有创平均动脉压<25 mmHg,伴正常动脉搏动波消失,且心电图显示室颤。在成功诱颤后,即刻脱离呼吸机,不做任何干预处理,并观察 1 min,然后开始 CPR。在 CPR 期间,各组按照相应的按压频率 60、80、100、120

和 140 次/min 进行人工胸外心脏按压,按压深度 5 cm。在 CPR 2 min 时,予以首次 200 J 电除颤 1 次,并判断是否出现自主循环恢复(return of spontaneous circulation, ROSC)。ROSC 标准为室上性自主心律且平均动脉压≥50 mmHg 持续 5 min 以上;若未能达到 ROSC,则立即重启 CPR,2 min 后再进行 200 J 电除颤 1 次,重复此循环,直至复苏成功或宣告失败^[10]。复苏成功标准为 ROSC 时间长于 30 min。复苏成功的动物继续予以机械通气及常规监护治疗,4 h 后将家猪伤口妥善处理并放置回猪圈继续观察至满 24 h。

1.3 检测指标及方法

1.3.1 动物复苏情况: 记录总除颤次数、总除颤能量,以及动物 ROSC、复苏成功、24 h 存活情况。

1.3.2 血流动力学指标及 P_{ET}CO₂ 监测: 从制模前 1 min 至 ROSC 后 10 min,用 BL-420N 信号采集与处理系统自动动态监测并记录 AOP、CPP 等血流动力学指标的变化;用 P_{ET}CO₂ 监测仪采集 P_{ET}CO₂ 数据。

1.3.3 透射电镜下观察动物大脑皮质微结构: 于 ROSC 后 24 h 处死动物,取大脑皮质组织固定于电镜液中 4 h,通过脱水、包埋、切片(片厚 60~70 nm)、醋酸双氧铀-枸橼酸铅染色后,在透射电镜下观察。

1.4 统计学方法: 采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。计量资料符合正态性分布,以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较用单因素方差分析(one-way ANOVA),组间两两比较采用 LSD 检验。计数资料采用绝对数描述。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 各组除颤成功所需除颤次数及除颤能量比较(表 1): 随着按压频率的增高,总除颤次数及总除颤能量明显下降,120 次/min 组达到最低,140 次/min 组又明显增高。与 60 次/min 组相比,100 次/min 组和 120 次/min 组总除颤次数及总除颤能量明显下降(均 $P < 0.05$);与 120 次/min 相比,140 次/min 组总除颤次数及总除颤能量明显增高(均 $P < 0.05$)。提示按压频率可影响除颤成功所需除颤的总能量,其中 120 次/min 的按压频率效果最佳。

2.2 各组胸外按压期间 P_{ET}CO₂ 比较(表 2): 随着按压频率的增高, P_{ET}CO₂ 明显升高,120 次/min 组达到最高,140 次/min 组又明显降低。与 60 次/min 组相比,100 次/min 组和 120 次/min 组 P_{ET}CO₂ 明显上升(均 $P < 0.05$);与 120 次/min 组相比,140 次/min 组 P_{ET}CO₂ 明显下降($P < 0.05$)。

表 1 不同胸外按压频率各组 CA 家猪除颤成功所需总除颤次数和总除颤能量比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	动物数 (只)	总除颤次数 (次)	总除颤能量 (J)
60 次/min 组	8	4.88 ± 0.83	975.00 ± 166.90
80 次/min 组	8	4.75 ± 0.71	950.00 ± 141.42
100 次/min 组	8	3.12 ± 0.83 ^{ab}	625.00 ± 166.90 ^{ab}
120 次/min 组	8	2.25 ± 0.71 ^{abc}	450.00 ± 141.42 ^{abc}
140 次/min 组	8	4.75 ± 1.04 ^d	950.00 ± 207.02 ^d
F 值		16.48	16.48
P 值		<0.001	<0.001

注:CA 为心搏骤停;与 60 次/min 组相比,^a $P<0.05$;与 80 次/min 组相比,^b $P<0.05$;与 100 次/min 组相比,^c $P<0.05$;与 120 次/min 组相比,^d $P<0.05$

表 2 不同胸外按压频率各组 CA 家猪胸外按压期间 $P_{ET}CO_2$ 比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	动物数 (只)	$P_{ET}CO_2$ (mmHg)
60 次/min 组	8	8.67 ± 1.30
80 次/min 组	8	11.61 ± 2.26
100 次/min 组	8	14.91 ± 1.89 ^{ab}
120 次/min 组	8	18.69 ± 1.98 ^{abc}
140 次/min 组	8	10.59 ± 1.40 ^d
F 值		38.45
P 值		<0.001

注:CA 为心搏骤停, $P_{ET}CO_2$ 为呼气末二氧化碳分压;与 60 次/min 组相比,^a $P<0.05$;与 80 次/min 组相比,^b $P<0.05$;与 100 次/min 组相比,^c $P<0.05$;与 120 次/min 组相比,^d $P<0.05$;1 mmHg ≈ 0.133 kPa

2.3 各组首次除颤前 AOP、CPP 比较 (表 3):随着按压频率的增高,首次除颤前 AOP、CPP 明显升高,120 次/min 组达到最高,140 次/min 组又明显降低。与 60 次/min 组相比,100 次/min 组和 120 次/min 组 AOP、CPP 明显升高 (均 $P<0.05$);与 120 次/min 相比,140 次/min 组 AOP、CPP 明显下降 (均 $P<0.05$)。

2.4 各组动物 ROSC、复苏成功及 24 h 存活情况比较 (表 4):随着按压频率的增高,ROSC、复苏成功及 24 h 存活的动物明显增多,120 次/min 组达到最多,但 140 次/min 组又明显减少。

2.5 各组大脑皮质显微结构改变 (图 2):透射电镜

表 3 不同胸外按压频率各组 CA 家猪首次除颤前 AOP、CPP 比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	动物数 (只)	AOP (mmHg)	CPP (mmHg)
60 次/min 组	8	71.00 ± 6.41	8.57 ± 3.42
80 次/min 组	8	74.75 ± 7.38	9.73 ± 3.91
100 次/min 组	8	91.25 ± 6.54 ^{ab}	13.04 ± 5.73 ^{ab}
120 次/min 组	8	95.13 ± 7.06 ^{ab}	14.88 ± 6.92 ^{ab}
140 次/min 组	8	72.38 ± 11.49 ^c	10.36 ± 4.57 ^c
F 值		16.17	8.65
P 值		<0.001	<0.001

注:CA 为心搏骤停,AOP 为主动脉压,CPP 为冠状动脉灌注压;与 60 次/min 组相比,^a $P<0.05$;与 80 次/min 组相比,^b $P<0.05$;与 120 次/min 组相比,^c $P<0.05$;1 mmHg ≈ 0.133 kPa

表 4 不同胸外按压频率各组家猪 ROSC、复苏成功及 24 h 存活情况

组别	动物数 (只)	ROSC (只)	复苏成功 (只)	24 h 存活 (只)
60 次/min 组	8	2	2	1
80 次/min 组	8	3	3	2
100 次/min 组	8	7	7	7
120 次/min 组	8	7	7	7
140 次/min 组	8	3	3	2

注:CA 为心搏骤停,ROSC 为自主循环恢复

下观察,60、80 和 140 次/min 组脑组织细胞核膜欠完整光滑,核仁不清晰;线粒体肿胀,形态不规整,嵴数量减少;与之相比,100 次/min 组和 120 次/min 组上述损伤明显减轻,细胞核膜完整光滑,核仁清晰,线粒体形态、嵴排列规整。

3 讨论

CPR 作为抢救 CA 患者的重要措施,其核心技术之一即胸外心脏按压。根据国际 CPR 指南推荐,成人患者的胸外按压频率应维持在 100 ~ 120 次/min,此标准适用于 CA 等急危重症患者的紧急救治。适宜的按压频率有助于维持足够的心排血量,保障关键器官 (特别是心脏和脑组织) 的血液灌注,从而提高 ROSC 率^[3]。研究表明,按压频率低于 100 次/min 可能导致 CPP 不足,影响心脏自主搏动恢复;而超过

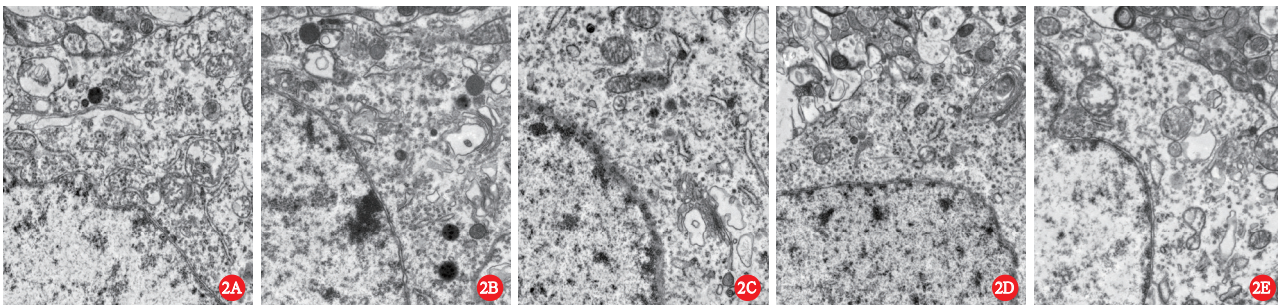


图 2 透射电镜下观察不同胸外按压频率组心搏骤停家猪自主循环恢复后 24 h 大脑皮质显微结构改变 60 次/min 组 (A)、80 次/min 组 (B) 和 140 次/min 组 (E) 脑组织细胞核膜欠完整光滑,核仁不清晰;线粒体肿胀,形态不规整,嵴数量减少;相比之下,100 次/min 组 (C) 和 120 次/min 组 (D) 脑组织细胞损伤程度均明显减轻 醋酸双氧铀-枸橼酸铅染色 ×6000

120 次/min 的按压频率则可能因胸廓回弹不充分,减少每次按压的有效血流输送量^[4]。因此,在实施 CPR 过程中,维持合理的按压频率对于改善患者预后至关重要。然而目前关于最优按压频率的临床和实验研究结果仍存在一定争议。尽管 100~120 次/min 的按压频率已被国际指南广泛推荐,但这一说法仍缺乏直接的临床依据和实验依据。

本研究基于 CA-CPR 家猪模型,探讨了不同胸外按压频率(60~140 次/min)对复苏期间血流动力学、ROSC、复苏成功及存活情况的影响。结果表明,随着按压频率的增加,ROSC、复苏成功及 24 h 存活的动物均显著增多,在 120 次/min 组达到最高,而 140 次/min 组则明显减少;此外,与 60 次/min 组比较,100 次/min 组和 120 次/min 组的总除颤次数及总能量消耗显著减少,AOP、CPP 及 $P_{ET}CO_2$ 均显著升高,表明此频率的胸外按压有助于优化血流动力学状态,从而改善复苏结局。相关研究也支持 100~120 次/min 为最佳按压频率范围,能够增加心排血量和冠状动脉灌注,提高除颤成功率、ROSC 率和长期存活率^[11-12]。然而,过高的按压频率(如 140 次/min)可能导致按压深度不足,影响心脏充盈和心排血量,进而降低复苏成功率^[13]。进一步用透射电镜分析表明,60、80 和 140 次/min 组动物的脑组织损伤更明显,100 次/min 组和 120 次/min 组损伤程度较轻,这可能与改善的脑灌注相关。

本研究结果与美国心脏协会和欧洲复苏委员会 CPR 指南一致,推荐按压频率在 100~120 次/min,以优化 ROSC 率和存活率^[14]。本研究进一步证实,在动物模型中,120 次/min 的按压频率最为理想,140 次/min 过快的按压频率可能产生不良影响。未来研究可进一步探讨不同按压频率对神经预后的影响,并优化个体化复苏策略。

综上,本研究结果表明不同胸外按压频率可影响 CA 家猪除颤成功率、ROSC 率、复苏成功率及 24 h 存活率,其中 120 次/min 的按压频率表现最佳,可以减少除颤所需总能量,增加 ROSC 和 24 h 存活动物数。而 140 次/min 的按压频率可能过快,影响按压质量,导致复苏效果下降。本研究的局限性在于分组间隔较大,只能判断出 120 次/min 的按压频率表现最佳,但是最佳的按压频率也可能在 100~120 次/min,或者 120~140 次/min,这还需进一步研究来确定。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 赵彦叶,顾乃刚.影响院前急救心肺复苏成功的因素及提升策略分析[J].中国中西医结合急救杂志,2021,28(2):154-158. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2021.02.007.
- [2] 叶新民,吴泉青.心肺复苏过程中常见的错误分析[J].中华危重病急救医学,2013,25(11):696-697. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2013.11.015.
- [3] Schmidt M, Schauwinhold MT, Loeffler LAK, et al. Safety management within the scope of teaching practical clinical skills: framing errors for cardiopulmonary resuscitation training: a multi-arm randomized controlled equivalence trial [J]. Ann Med, 2024, 56(1): 2408458. DOI: 10.1080/07853890.2024.2408458.
- [4] Breuer-Kaiser AFC, Lefering R, Weber TP, et al. Use of CPR feedback devices to treat out-of-hospital cardiac arrest in Germany: associated with improved ROSC-rates, but infrequent usage, in a registry-based analysis of 107 548 cases [J]. Resuscitation, 2024, 110453. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2024.110453.
- [5] Gehlen M, Brokmann JC, Röhrig R, et al. Effect of different intervals of verbal motivation during dispatcher-assisted CPR: a randomized controlled simulation trial [J]. Am J Emerg Med, 2025, 89: 12-18. DOI: 10.1016/j.ajem.2024.11.091.
- [6] Idris AH, Becker LB, Ornato JP, et al. Utstein-style guidelines for uniform reporting of laboratory CPR research. A statement for healthcare professionals from a task force of the American Heart Association, the American College of Emergency Physicians, the American College of Cardiology, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, the Institute of Critical Care Medicine, the Safar Center for Resuscitation Research, and the Society for Academic Emergency Medicine. Writing Group [J]. Circulation, 1996, 94(9): 2324-2336. DOI: 10.1161/01.cir.94.9.2324.
- [7] Barajas MB, Oyama T, Shiota M, et al. Ischemic post-conditioning in a rat model of asphyxial cardiac arrest [J]. Cells, 2024, 13(12): 1047. DOI: 10.3390/cells13121047.
- [8] Magliocca A, Zani D, De Zani D, et al. A multimodal characterization of cardiopulmonary resuscitation-associated lung edema [J]. Intensive Care Med Exp, 2024, 12(1): 91. DOI: 10.1186/s40635-024-00680-1.
- [9] 刘同英,王立祥,刘亚华,等.家猪心搏骤停后濒死呼吸规律的探讨[J].中华危重病急救医学,2015,27(12):989-992. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.12.010.
- [10] Halperin HR, Lee K, Zviman M, et al. Outcomes from low versus high-flow cardiopulmonary resuscitation in a swine model of cardiac arrest [J]. Am J Emerg Med, 2010, 28(2): 195-202. DOI: 10.1016/j.ajem.2009.10.006.
- [11] Roh YI, Jung WJ, Hwang SO, et al. Shorter defibrillation interval promotes successful defibrillation and resuscitation outcomes [J]. Resuscitation, 2019, 143: 100-105. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2019.08.022.
- [12] Taylor TG, Esibov A, Melnick SB, et al. Alternating fast and slow chest compression rates during CPR improved hemodynamics [J]. Resuscitation, 2021, 163: 64-70. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2021.03.035.
- [13] Hewitt CW, Pombo MA, Blough PE, et al. Effect of the abdominal aortic and junctional tourniquet on chest compressions in a swine model of ventricular fibrillation [J]. Am J Emerg Med, 2021, 45: 297-302. DOI: 10.1016/j.ajem.2020.08.075.
- [14] Adult Basic Life Support Collaborators. Adult Basic Life Support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations [J]. Circulation, 2020, 142(16_suppl_1): S41-S91. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000892.

(收稿日期:2025-01-24)

(责任编辑:保健媛 李银平)