

经食道-胸壁电刺激建立兔心脏骤停模型

黄国庆¹, 詹蔚¹, 熊艳¹, 文明祥¹, 邓宇斌², 李颖庆¹, 廖晓星^{1*}

(中山大学 1.附属第一医院急诊科, 2.中山医学院病理生理教研室, 广东 广州 510080)

摘要:【目的】建立一种更为简单、便捷、成功率高的兔心脏骤停模型。【方法】经食道插入食道调搏电极至心脏水平, 在心前区心搏最明显处皮下插入针灸针形成电流回路, 用恒定 35mA 交流电诱发心脏骤停, 无干预观察 5 min 后进行心肺复苏。分别记录 15 只新西兰大白兔达到心脏骤停标准的时间、停止刺激时的心律、复苏开始前的心律、心肺复苏时间、除颤次数、给药次数、自主循环恢复率、自主循环恢复后机械通气时间、自主循环恢复后生存时间及 72 h 生存率。【结果】本实验中的 15 只兔全部诱发心脏骤停成功。从有效电刺激开始到成功诱发心脏骤停的时间为 (26 ± 10) s。电刺激结束时室颤发生率为 100%(15/15), 无心脏停搏及无脉性电活动发生, 在无干预观察期内无自动复律现象。在心肺复苏开始时心电图表现为室颤的比例为 73.3%(11/15), 无脉性电活动的比例为 26.7%(4/15)。心肺复苏用时 (200 ± 136) s, 除颤次数 (1.00 ± 0.76) 次, 静脉注射肾上腺素次数 (2.40 ± 1.12) 次, 自主循环恢复率 93.3%(14/15), 自主循环恢复后机械通气时间 (40 ± 17) min。自主循环恢复后 0~6 h 死亡率为 6.7%(1/15), 6~24 h 内死亡率 60%(9/15), 24~72 h 时存活率为 26.6%(4/15)。【结论】经食道-胸壁定流电刺激方式诱发兔心脏骤停模型操作简单、重复性好、复苏成功率高, 并发症少, 是一个较为理想的研究心肺脑复苏的模型。

关键词: 心脏骤停; 心肺复苏; 电刺激; 室颤; 动物模型; 兔

中图分类号: R-332

文献标志码: A

文章编号: 1672-3554(2012)02-0245-06

Ventricular Fibrillation Induced by Transoesophageal-chest Wall Electrode: A Simpler Cardiac Arrest Model in Rabbits

HUANG Guo-qing¹, ZHAN Wei¹, XIONG Yan¹, WEN Ming-xiang¹, DENG Yu-bin², LI Ying-qing¹, LIAO Xiao-xing^{1*}

(1.Department of Emergency, First Affiliated Hospital, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510080, China; 2.Department of Pathophysiology, Zhongshan School of Medicine, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

Abstract: 【Objective】To establish a simple, stable and high success rate cardiac arrest (CA) model in rabbits. 【Methods】Cardiac ventricular fibrillation (VF) was induced in 15 New Zealand rabbits by transoesophageal-chest wall electrode with 35mA alternating current. Five minutes after onset of CA, conventional cardiopulmonary resuscitation (CPR) was initiated. The time spent on inducing cardiac arrest, the cardiac rhythm when the electric stimulation was stopped, the cardiac rhythm when the CPR was started, the time spent on CPR, the defibrillation frequency, the administration frequency, the rate of restoration of spontaneous circulation (ROSC), the mechanical ventilation time after ROSC, the life time after ROSC and the 72 h survival rate of 15 rabbits were recorded respectively. 【Results】All of 15 rabbits were successfully induced cardiac arrest. The inducing time was 26.47 ± 10.36 s. When the electric stimulation was stopped, all cardiac rhythm was ventricular fibrillation (15/15), no pulseless electrical activity and asystole occurred. During the observation of nonintervention, no automatic cardioversion phenomenon occurred. When the CPR was started, electrocardiogram indicated VF occurred in 73.3% of the rabbits (11/15) and pulseless electrical activity occurred in 26.7% of the rabbits (4/15). The time spent on CPR was 200.07 ± 136.00 s. The defibrillation frequency was 1.00 ± 0.76 . The frequency of intravenous injection of adrenaline was 2.40 ± 1.12 . The rate of ROSC was 93.3% (14/15). The mechanical ventilation time after ROSC was 40.46 ± 17.05 min. The death rate within 6h after ROSC was 6.7% (1/15) and the 72h survival rate was 26.6% (4/15). 【Conclusion】The model of cardiac arrest in rabbits induced by transoesophageal-chest wall electric stimulation is very simple operation, and has a stable result and high success rate. It is a ideal animal model for cardiopulmonary resuscitation study.

Key words: cardiac arrest; cardiopulmonary resuscitation; electrical stimulation; ventricular fibrillation; animal model; rabbit

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2012, 33(2): 245-250]

收稿日期: 2011-09-26

基金项目: 中山大学青年教师基金(80000-3171914)

作者简介: 黄国庆, 在读博士, E-mail: hgg97@126.com; * 通信作者: 廖晓星, 博士, 博士生导师, 教授, E-mail: liaowens@163.com

心搏骤停(cardical arrest, CA)是严重威胁人们生命安全的一种急症。自 20 世纪 60 年代推广“标准化”的心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)技术及近年随“生存链(chain of survival)”等复苏理念在院前急救的广泛应用,2009 年公布的多中心调查数据^[1]显示院外 CA 患者复苏后自主循环恢复 (restoration of spontaneous circulation,ROSC)率在室颤患者达 49.7%,在电机械分离患者达 35.1%,室颤患者院外复苏后一月存活率可达 30%以上,但其中约 50%的病人伴有中到重度的神经功能障碍。故如何进一步提高复苏成功率尤其是脑复苏成功率仍是急诊医学领域的研究重点和难点。为此,建立相似于人类心脏骤停的动物模型来研究心肺脑复苏过程中机体的病理生理变化,探索新的治疗方法和完善现有的心肺脑复苏指南是非常必要的。迄今为止,已建立了心内膜电刺激、窒息、阻断心脏血管、药物注射、重物挤压、放血等多种诱导心脏骤停模型的方法,但这些模型中有些技术操作难度较大,有些则仅针对某一特殊的临床情况,还有些影响因素复杂,难以控制^[2]。因此,仍有必要探索更为便捷、高效的心脏骤停动物模型。

1 材料与方法

1.1 实验对象

动物实验遵照 2006 年版《关于善待实验动物的指导性意见》^[3]的要求进行,并获得中山大学动物伦理委员会的批准。选用健康新西兰大白兔 15 只,性别不限,实验动物一般情况见表 1。由中山大学实验动物中心提供,分笼饲养。体质量使用君宇高精度电子秤(JY08 型,广州市君宇家用电子衡器有限公司)精确称量,使用探针式温度计(倍尔康 DT-001 型数字温度计,广州番禺金鑫宝电子有限公司生产)测量直肠温度,呼吸,心率和耳动脉血压的数据来自心电和血压监护 (BL-420s 生物机能实验系统,成都泰盟科技有限公司生产)的数据采集结果。

1.2 实验流程

1.2.1 动物准备 动物购进后在 SPF 级动物房饲养一周,实验前晚禁食不禁水。动物麻醉:戊巴比妥钠(sigma 公司,德国)30 mg/kg,由耳缘静脉注入,此后每小时 10 ~ 15 mg/kg 持续泵入维持麻醉

表 1 实验兔一般情况

Table 1 General conditions of experimental rabbits

Items	Range	$\bar{x} \pm s$
m/kg	2.06 ~ 2.40	2.19 ± 0.11
T/°C	39.60 ~ 40.5	40.09 ± 0.27
RR/min ⁻¹	30 ~ 70	51 ± 14
HR/min ⁻¹	246 ~ 348	302 ± 34
SP/mmHg	66 ~ 107	83 ± 13
DP/mmHg	52 ~ 90	69 ± 13
MAP/mmHg	57 ~ 95	74 ± 12

RR;Respiratory rate;HR;Heart rate;SP;Systolic pressure;DP: Diastolic pressure;MAP;Mean arterial pressure

直至电致颤完成。麻醉成功后,动物平卧,四肢固定于操作台上,胸前区及双侧耳背备皮,24G 密闭式静脉留置针(BD Intima II™ 兢玛™,苏州碧迪医疗器械有限公司生产)穿刺右侧耳缘静脉,建立输液通道用于给药。并用 22G 密闭式静脉留置针穿刺左侧耳动脉,做为测压通道。接多导监护仪(成都泰盟 BL-420 s)行常规 II 导联心电监护,胸带呼吸换能器监护呼吸,耳动脉留置针接高敏压力换能器监测有创动脉压。

1.2.2 气管插管 采用盲探插管法:麻醉后取仰卧位固定于手术台面,颈部自然屈曲,将 3.0 号气管插管无菌石蜡油润滑后置入导引铜丝(φ2 mm),前端弯曲度与兔颈部屈曲角度类似(约 75°角),自兔口角缓慢置入,在甲状软骨上方打及导管前端时,侧耳感受导管气流,在导管气流最明显部位取吸气相轻柔插入导管。插管深度:导管远端到门齿的距离为 11 cm。

1.2.3 动静脉穿刺置管与监护 经肢体导联进行心电监护;右侧耳缘静脉穿刺置入 24G 密闭式静脉留置针建立输液通道,用于给药和生命体征维护;左侧耳动脉穿刺置入 22G 密闭式静脉留置针,连接三通开关,一端连接含有肝素(5 IU/mL)抗凝的生理盐水注射器防止血液凝固,另一端经换能器与 BL-420 s 生物机能实验系统的生理监护记录仪相连监测血压变化。

1.2.4 置入刺激电极 胸部备皮后于心前区心尖搏动最明显处皮下插入 30G (φ0.30 mm × 25 mm)一次性使用无菌针灸针(环球牌,苏州针灸用品有限公司生产),食道内置入食道调搏电极,电极金属环位置距门牙 16 cm。分别连接自制电刺激器正

负极(图1)。

1.2.5 诱导心脏骤停 心脏骤停的判断标准^[4]:

①电刺激后动脉收缩压逐渐下降至 25 mmHg 以

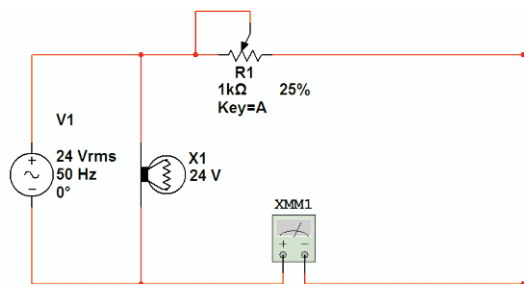


图1 刺激器电路图

Fig.1 Stimulator circuit

V1: 24 V Alternating current power supply; R1: 1 kΩ adjustable

下;②血压监测的动脉搏动波形消失;③停止电刺激后心电图监护示心电图波形为室颤、无脉性电活动(判断标准为心电图监护心律可表现为室上性或室性节律但血压监测无相应的动脉搏动波形)或心脏停搏。使用自制交流电刺激器对兔进行恒流电刺激,频率 50 Hz,电流 35 mA,持续刺激 60 s 仍达不到心脏骤停标准的,停止电刺激,判断为诱导失败,待自行复律循环稳定后归笼继续饲养隔日实验。心脏骤停时间以电刺激后血压降至 25 mmHg 以下并动脉搏动波形消失时开始计算,降至目标值后计时持续电刺激 60 s。无干预观察时间 5 min,观察期间恢复自主心律且收缩压大于 25 mmHg 者计为诱导心脏骤停失败。

1.2.6 心肺复苏及复苏后处理 心脏骤停 5 min 后,参照 Utstein 模式进行心肺复苏。胸外按压:使用本实验室研制的小动物心肺复苏胸外按压机进行胸外按压,频率为 200 次/min,按压深度为胸廓前后径的 1/3,按压:放松比为 1:1。机械通气:使用小动物呼吸机 (RODENT VENTILATOR 683, Harvard Apparatus, Inc. USA)予以间歇正压通气,参数设定频率为 60 次/min,潮气量 10 mL/kg,吸入氧浓度为 21%。药物:在复苏开始后立即予以肾上腺素 2 μg/100 g,必要时间隔 2 min 重复应用,在 2 min 按压周期后,缓慢静脉注射 50 g/L 碳酸氢钠 5 mL,复苏成功后 10 min 内泵入碳酸氢钠 10 mL。除颤:复苏 2 min 后,若心电图监护波形为室颤,则给予直流电单相波 20J 除颤,如果无效则继

续复苏,2 min 后相同能量重复除颤。自主循环恢复的指标:恢复室上性心律,平均动脉压 ≥ 60 mmHg 并且维持 10 min 以上。动物经上述程序抢救 15 min 自主循环未能恢复者为复苏失败。成功恢复自主循环的动物复苏后连续进行心电图和血流动力学监测 4 h,在此期间,除自主呼吸微弱者继续予以机械通气外不予任何治疗,每隔 15 min 评估呼吸情况,决定是否继续机械通气,4 h 后不管呼吸强弱均停止机械通气,拔除气管插管,独笼饲养,ROSC 后 12 h 仍昏迷不能进食的给予 50 g/L 葡萄糖盐水 3 mL/h 微量泵持续泵入,可自主进食进饮后则停止静脉输液,观察复苏后存活时间,终点为 72 h(图 2)。观察终点仍存活的动物予以过量麻醉方式处死。所有动物常规解剖尸检,观察是否有与建立模型操作相关的损伤。

1.2.7 统计学分析 采用 SPSS13.0 软件包进行统计分析,计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示。自主循环恢复后机械通气时间的计算从停止胸外按压开始计时至停用呼吸机,对于在死亡前仍使用呼吸机者计算至确定死亡时。

2 结果

2.1 建立兔心脏骤停模型结果

本实验中的 15 只兔全部诱发心脏骤停成功。在电刺激开始后,动脉血压逐渐下降到 25 mmHg 以下,搏动波形消失(图 3A)。从有效电刺激开始到成功诱发心脏骤停的时间为 (26 ± 10) s。电刺激结束时室颤发生率为 100%(15/15)(图 3B),无无脉性电活动及心脏停搏发生。在无干预观察期间无自动复律现象。5 例室颤转为无脉性电活动(图 3C),其中 1 例又由无脉性电活动自行转为室颤(图 3D),在心肺复苏开始时心电图表现为室颤的比例为 73.3%(11/15),无脉性电活动的比例为 26.7%(4/15),开始复苏后出现动脉压波形,并逐步上升(图 3E,F)。心电图、动脉压监测结果均符合临床心脏骤停复苏过程。ROSC 兔心肺复苏用时 (200 ± 136) s,自主循环恢复时间(restoration of spontaneous circulation time, ROST) (500 ± 136) s,除颤次数 (1.00 ± 0.76) 次,静脉注射肾上腺素次数 (2.40 ± 1.12) 次,自主循环恢复率 93.3%(14/15),自主循环恢复后机械通气时间 (40 ± 17) min。自主循环恢复后 0~6 h 死亡率为 6.7%(1/15),6~24 h

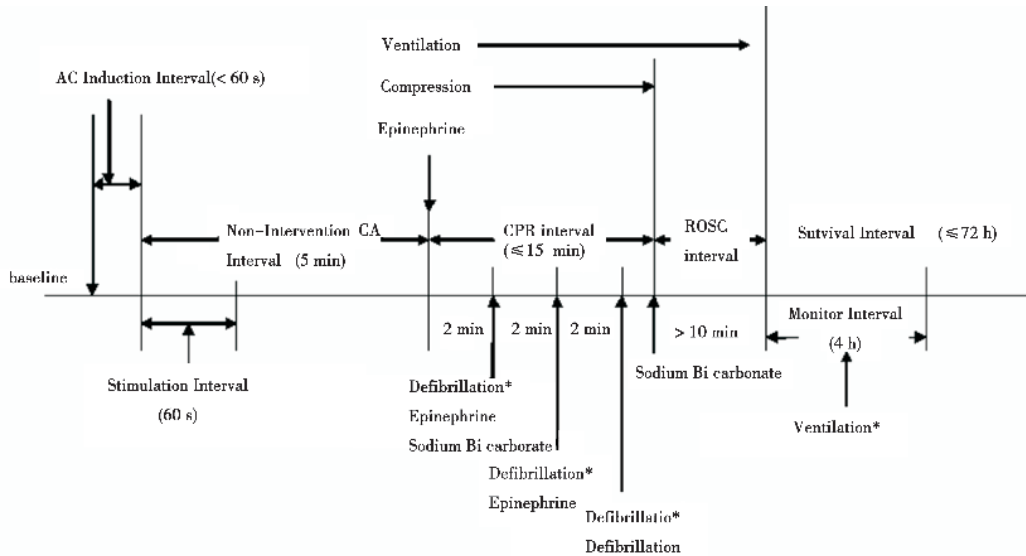


图 2 兔心脏骤停模型实验流程图

Fig.2 Procedure of experimental cardiac arrest in rabbits

* means to defibrillate only when the ECG shows VF.

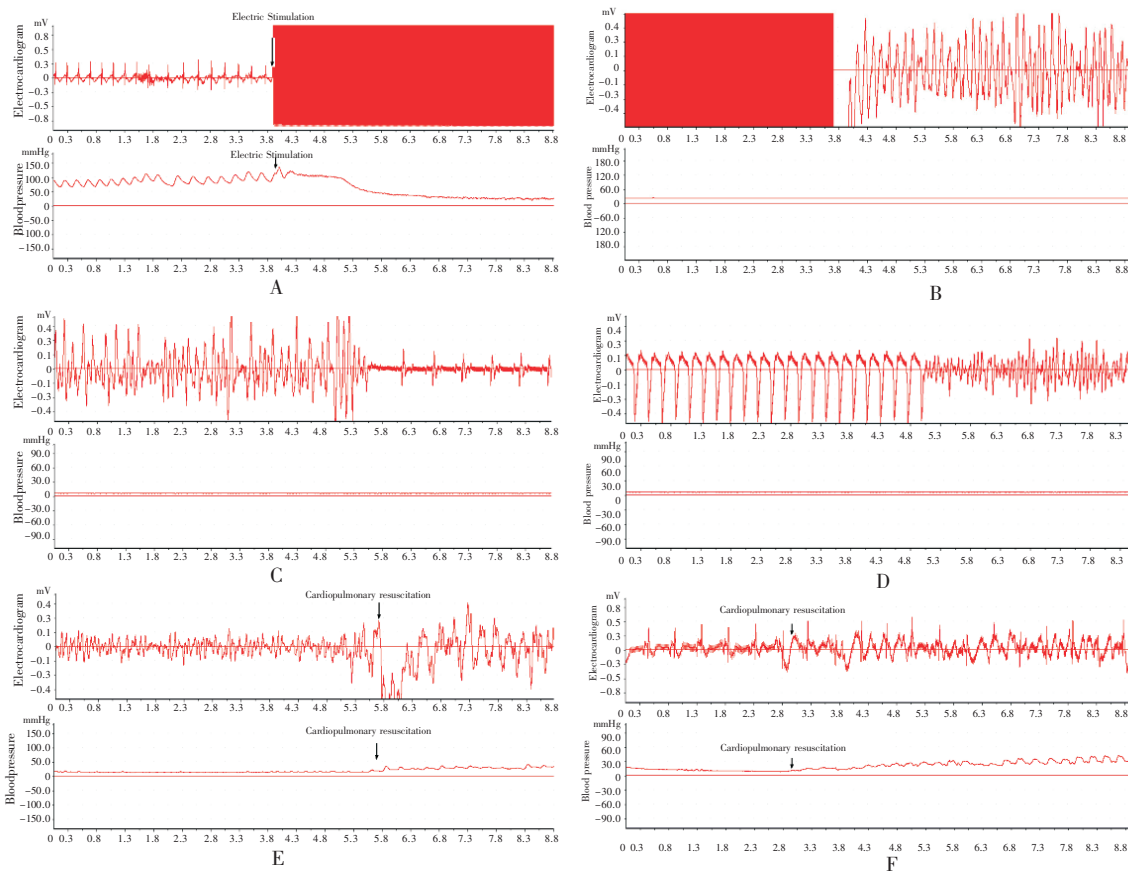


图 3 致颤复苏过程中的心电图和血压波形变化

Fig.3 The ECG and blood pressure waveform during induced cardiac arrest and CPR

A: After the onset of electrical stimulation, the arterial blood pressure dropped below 25 mmHg swiftly and the artery pulse waveform disappeared; B: The ECG After electrical stimulation stopped ECG showed ventricular fibrillation and blood pressure waveform disappeared; C: Ventricular fibrillation converted to pulseless electrical activity in the period of observation with nonintervention; D: Pulseless electrical activity converted to ventricular fibrillation in the period of observation with nonintervention; E: The ECG showed a small ventricular fibrillation waves and blood pressure waveforms increased after CPR; F: The ECG showed pulseless electrical activity and blood pressure waveforms increased after CPR.

内死亡率 60% (9/15), 24 ~ 72 h 时存活率为 26.6% (4/15)。

2.2 建模相关并发症

本模型在电刺激后均会出现短时间明显全身抽搐, 在达到心搏骤停指标前抽搐即会自行终止。实验中有 2 例尸体解剖发现有双侧肺叶挫伤, 均为经历较长时间复苏, 考虑与胸外按压时间久后按压部位移位, 胸廓弹性下降有关。所有动物心脏表面均未见明显损伤, 也无心包积血现象发生。

3 讨论

本研究选用兔作为研究心肺脑复苏的对象, 是考虑到其具有大动物模型方便监测, 利于药物干预、定点采血同时又操作简单、价廉的优点。按照既往的研究经验, 我们采取了经耳动脉穿刺置管测有创血压及盲探气管插管的方式^[5], 避免了股动脉穿刺及气管切开等有创操作对动物机体的影响, 减少了对 CA 模型本身复苏后炎症反应的干扰。

临床上, 心源性猝死主要由恶性心律失常所致, 其中 75% ~ 80% 的心脏骤停患者首先记录到的心律失常是心室颤动^[6], 因此电刺激致颤的可较好地模拟临床上室颤导致心搏骤停的病理生理过程, 故目前在心肺脑复苏基础研究领域使用较为广泛, 但具体电刺激方式各个模型存在很大差异。从经典的用右心导管电极刺激心内膜致颤^[7-8]到开胸心外膜致颤^[9]以及本实验室前期的针灸针心外膜致颤^[5,10], 电刺激致颤模型不断向微创、简便、高效方向发展。但以上各种方式均存在着手术创伤或者针灸电极直接进入胸腔所导致的机械损伤及电刺激时的接触点灼伤的弊端。电刺激时, 理论上是希望利用电流对心脏窦房结自主电活动的干扰来实现诱发室颤, 但直接接触心脏的刺激往往会造成接触点的电灼伤而不仅是电干扰, 从而造成严重的心肌损伤和复苏后低心排, 影响复苏成功率^[5]。对于电刺激参数, 各个研究也不相同, 多数都是定压电刺激^[5,11-13]。实际上, 电刺激对机体的影响决定因素在于电流而非电压, 尤其是在不同的刺激方式下, 电流回路上的机体电阻差异很大, 从而对机体造成的影响也差异很大。本模型综合考虑了刺激的机械损伤和电流灼伤因素, 选择了食道-胸壁刺激这样的模式, 而且采取定流刺

激, 这样经过心脏的电流是恒定的, 而刺激电极也未与心脏直接接触, 不会造成心脏的局部电灼伤, 从而保障复苏后的心功能。事实证明, 该兔心搏骤停模型的 5 min 复苏成功率高达 93.3% (14/15), 远远高于此前报道的类似电刺激模型^[5]。由于刺激电极没有直接作用于心脏, 诱导刺激的过程实际上是一个电干扰致颤的过程, 所以诱导时间要比心外膜致颤长, 但是较窒息致颤模型的 10-15 min 却短许多^[14], 可控性也更好。

本模型在具有很高的复苏成功率基础上, 另一显著特点即 5 min 无干预后复苏可造成明显的全身缺血再灌注损伤, 并有很好的重复性。有 66.7% 的兔 (10/15) 在 ROSC 成功后 24 h 内死亡, 过程中无一意识恢复清醒。存活时间大于 24 h 的均存活至 72 h, 但都处于浅昏迷状态, 不能坐立, 呈固定侧卧位, 需要持续人为补液。从生存率及神经功能恢复情况来看, 本模型已经造成了严重的全身缺血再灌注损伤, 能够很好地模拟临床上心搏骤停后患者的实际器官功能尤其是脑功能的损害表现, 并给后期的干预治疗研究提供很好的空间。

由于电流较大, 电流本身对于脑功能的影响也不容忽视。笔者在预实验中将食道电极置于距门齿 10 cm 的位置, 胸部皮下电极置于胸锁关节位置, 用 35 mA 的电流持续刺激 2 min, 观察极端条件下的电刺激对脑神经功能的影响, 结果 3 只兔均能在 6 h 内苏醒, 苏醒时间较单纯麻醉对照组晚, 但 24 h 神经功能即完全恢复正常, 能自主进饮进食, 提示该刺激模式对脑复苏研究没有太大影响。电流刺激对食道粘膜的损伤也不影响兔饮水、进食。对于电流及刺激时间的选择也基于前期预实验的结果。预实验时发现, 该刺激模式电流 30 mA 以下时诱导时间明显延长, 另外在血压下降达标后若刺激仅持续 30 s 所有兔 ($n = 5$) 均可在无干预观察期由室颤自主转复为室上性心律, 故本模型最后选择了用 35 mA 达标后继续刺激 60 s, 避免了室颤后自主复律, 使得致颤时间更为准确, 各实验动物的全身缺血再灌注损伤程度一致性更高, 有利于后期的干预比较。但本模型也存在着一一定的弊端: 首先电刺激会引起严重的全身抽搐, 持续时间 20 s 左右, 直至循环停止肌肉严重缺血缺氧后才自行终止, 这可能会造成横纹肌溶解等并发症; 可能由于持续抽搐, 本模型的酸中

毒程度尤为严重,预实验中在未补碱状态下复苏后 15 min 血气 pH 为 $6.86 \pm 0.05 (n = 3)$,故采用了较为积极的补碱方案,在此补碱方案下复苏后 15 min 血气 pH 为 $7.37 \pm 0.07 (n = 8)$;另外比起心外膜等电刺激致颤方式^[5],本模型诱导时间较长,为 (26.47 ± 10.36) s,但还是明显优于窒息方式^[14]。

经食道电刺激致颤本身并非本模型首创。在大鼠致颤模型中,已有学者使用单纯经食道低压交流电刺激^[11-13]及经食道起搏器电刺激^[15]的方式实现诱发室颤,但其使用的是定电压刺激模式,电压从 12 ~ 36 V 不等,持续刺激时间也不一致。而且经笔者反复尝试,按本模型同样参数的单纯经食道电刺激并不能在兔模型诱发室颤。分析可能是兔心脏体积较大,单纯食道刺激对食道前方的心脏造成的电干扰与大鼠比起来较为微弱,不足以扰乱心脏的电活动而诱发室颤。故选择食道-胸壁这样的刺激方式会更为高效,便捷。总之,经食道-胸壁电刺激诱发兔室颤模型稳定、简单,并发症少,成功率高,而且不仅可用于兔模型,在狗及猪等大动物模型上应也有很好的应用前景,希望能给心肺脑复苏的研究提供一个新的可靠的工具。

参考文献:

- [1] Iwami T, Nichol G, Hiraide A, et al. Continuous improvements in "chain of survival" increased survival after out-of-hospital cardiac arrests: a large-scale population-based study [J]. *Circulation*, 2009, 119(5): 728-734.
- [2] 刘朝霞,李春盛.心肺脑复苏动物模型的评价[J]. *中华急诊医学杂志*, 2009, 18(1): 103-106.
- [3] 中华人民共和国科学技术部. 关于善待实验动物的指导性意见. 2006.
- [4] 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 [J]. *Resuscitation*, 1996, 33(1): 69-84.
- [5] 胡春林,魏红艳,廖晓星等.兔室颤心搏骤停模型的建立[J]. *中华急诊医学杂志*, 2009, 18(9): 943-947.
- [6] Zipes DP, Camm AJ, Borggrefe M, et al. ACC/AHA/ESC 2006 Guidelines for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (writing committee to develop Guidelines for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death): developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association and the Heart Rhythm Society [J]. *Circulation*, 2006, 114(10): e385-484.
- [7] von PI, Weil MH, von PM, et al. Cardiopulmonary resuscitation in the rat [J]. *J Appl Physiol*, 1988, 65(6): 2641-2647.
- [8] 邓义军,蒋龙元,姜胜,等.犬心肺复苏中血清儿茶酚胺浓度的变化[J]. *中山大学学报:医学科学版*, 2003, 11(5): 467-470.
- [9] Yoshioka K, Amino M, Usui K, et al. Nifekalant hydrochloride administration during cardiopulmonary resuscitation improves the transmural dispersion of myocardial repolarization: experimental study in a canine model of cardiopulmonary arrest [J]. *Circ J*, 2006, 70(9): 1200-1207.
- [10] Lin JY, Liao XX, Li H, et al. Model of cardiac arrest in rats by transcutaneous electrical epicardium stimulation [J]. *Resuscitation*, 2010, 81(9): 1197-1204.
- [11] Chen MH, Liu TW, Xie L, et al. A simpler cardiac arrest model in rats [J]. *Am J Emerg Med*, 2007, 25(6): 623-630.
- [12] Popp E, Vogel P, Teschendorf P, et al. Effects of the application of erythropoietin on cerebral recovery after cardiac arrest in rats [J]. *Resuscitation*, 2007, 74(2): 344-351.
- [13] Popp E, Vogel P, Teschendorf P, et al. Vasopressors are essential during cardiopulmonary resuscitation in rats: Is vasopressin superior to adrenaline [J]. *Resuscitation*, 2007, 72(1): 137-144.
- [14] 申颖,刘唐威,陈蒙华,等.猪窒息性心跳骤停动物模型的建立[J]. *广西医科大学学报*, 2008, 25(3): 344-346.
- [15] Chen MH, Liu TW, Xie L, et al. Ventricular fibrillation induced by transoesophageal cardiac pacing: a new model of cardiac arrest in rats [J]. *Resuscitation*, 2007, 74(3): 546-551.

(编辑 孙慧兰)