

李慧敏,于玉楼,唐贺,等. 利用心电植入子遥感技术测定并比较不同全麻药对大鼠心电活动的影响[J]. 中国实验动物学报, 2020, 28(1): 89-95.

Li HM, Yu YL, Tang H, et al. Comparison of different anesthetics on rat heart rates using a cardiac electrical implant [J]. Acta Lab Anim Sci Sin, 2020, 28(1): 89-95.

Doi:10.3969/j.issn.1005-4847.2020.01.013

# 利用心电植入子遥感技术测定并比较不同全麻药对大鼠心电活动的影响

李慧敏<sup>1#</sup>, 于玉楼<sup>2#</sup>, 唐贺<sup>2</sup>, 赵冉<sup>2</sup>, 董紫姗<sup>2</sup>, 王瀚冬<sup>3</sup>, 杨晶<sup>4</sup>, 王川<sup>2\*</sup>

(1. 河北省圣禄嘉妇产医院麻醉科, 石家庄 050000; 2. 河北医科大学药理学教研室, 石家庄 050017; 3. 河北医科大学基础医学院, 石家庄 050017; 4. 河北医科大学生理学教研室, 石家庄 050017)

**【摘要】** 目的 利用心电植入子比较五种全麻药对SD大鼠心率的影响。方法 利用心电植入子测定五种全麻药对大鼠120 min内的麻醉效果、心率及心电图变化情况;腹腔注射异丙肾上腺素(0.025 mg/mL),比较五种全麻药对异丙肾上腺素提高大鼠心电活动的影响。结果 异氟醚和丙泊酚起效快,麻醉稳定,心率变化较小;依托咪酯和氯胺酮起效较快,但持续时间较短;戊巴比妥钠起效慢,麻醉时间长,苏醒慢,心脏抑制作用明显。2%异氟醚和氯胺酮对心率影响较小,其余三种麻醉药均可明显降低异丙肾上腺素对心率的加快作用。结论 异氟醚和丙泊酚对SD大鼠麻醉效果最好,心率影响较小,其中异氟醚对异丙肾上腺素引起的心率加快影响最小,更适用于麻醉操作以及对一些心血管活性药的心率作用研究。

**【关键词】** 麻醉药;心率;心电植入子遥感技术;大鼠

**【中图分类号】** Q95-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1005-4847(2020)01-0089-07

## Comparison of different anesthetics on rat heart rates using a cardiac electrical implant

LI Huimin<sup>1#</sup>, YU Yulou<sup>2#</sup>, TANG He<sup>2</sup>, ZHAO Ran<sup>2</sup>, DONG Zishan<sup>2</sup>, WANG Handong<sup>3</sup>, YANG Jing<sup>4</sup>, WANG Chuan<sup>2\*</sup>

(1. Department of Anesthesiology, Shenglujia Obstetrics and Gynecology Hospital, Shijiazhuang 050000, China.

2. Department of Pharmacology, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017. 3. College of Basic Medicine, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017. 4. Department of Physiology, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017)

Corresponding author: WANG Chuan. E-mail: wangchuan@hebm.edu.cn

**【Abstract】 Objective** To observe the effects of five general anesthetics on cardiac electrical activity using a cardiac electrical implant in rats. **Methods** The anesthetic effect and cardiac electrical activity changes caused by five general anesthetics in rats were measured within 120 min before and after anesthesia using a cardiac electrical implant. Isoproterenol (0.025 mg/mL) was administered to observe and compare the effects of the anesthetics on cardiac electrical

**【基金项目】**国家自然科学基金资助项目(31171097,81770407),河北省自然科学基金资助项目(H2017206262, C2018206277),河北省高等学校科学技术研究项目(ZD2015007, ZD2016002),河北省高层次人才资助项目(A2017005070),河北医科大学大学生创新性实验计划项目(USIP2018048)。

Funded by National Nature Science Foundation of China (31171097, 81770407), Hebei Natural Science Foundation (H2017206262, C2018206277), Science and Technology Research of Hebei Higher Education (ZD2015007, ZD2016002), Hebei High-level Professionals Foundation (A2017005070), College Students Innovative Pilot Projects of Hebei Medical University (USIP2018048).

**【作者简介】**李慧敏(1974—)女,主治医师,硕士,研究方向:麻醉药的选择与应用。Email: yly528408@163.com;

于玉楼(1993—)女,博士研究生,研究方向:心血管药理学。Email: 2418621062@qq.com。

#共同第一作者

**【通信作者】**王川(1971—)男,教授,博士,博士生导师,研究方向:心血管药理学。Email: wangchuan@hebm.edu.cn

activity in rats. **Results** Isoflurane and propofol acted quickly with stable anesthesia, fast recovery and minimal heart rate variations. Etomidate and ketamine acted quickly, but the anesthesia lasted a shorter time. Pentobarbital sodium acted slowly, and the anesthesia lasted longer, with a slow recovery and obvious inhibition of cardiac function. Propofol, etomidate, and pentobarbital sodium significantly reduced the effect of isoproterenol on the heart rate. **Conclusions** Isoflurane and propofol have the best anesthetic effect on the rats and least affected the heart rate. Isoflurane has the least effect on the isoproterenol-enhanced heart rate, suggesting that isoflurane is better suited for anesthetic operations and studying the effects of some cardiovascular active drugs on the heart rate.

**【Keywords】** anesthetic; heart rate; dynamic telemetry technique of the cardiac electrical implanter; rat

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

大小鼠是目前基础医学研究中最常用的动物,对这些动物选用合适的全麻药、适当的剂量以及最大可能地降低对动物其它方面的影响,是许多实验成功的关键。根据先前的实验发现多种全麻药对动物实验的心率等心电活动均有不同程度的影响,进而干扰在麻醉动物中所预期观察的效果<sup>[1-3]</sup>。故根据不同的实验动物选用合适的全麻药,最大限度减小对动物心电活动影响一直是基础医学研究,尤其是心脏电生理领域十分关注的问题,但目前对此问题进行全面系统评价的研究十分缺乏。

由于大鼠心率快、波形不同于人的心电图、清醒状态时肢体活动产生的肌电干扰较多等都可给心电图的稳定描记带来影响,因而探索大鼠心电活动的观察记录方法、相关影响因素及可能的应用一直受到生物医学研究领域的重视。前期报道中麻醉药对动物实验都具有一定的局限性:国内研究报道在传统方法中,清醒状态下大小鼠心电图描记法一般采用橡皮筋捆绑固定四肢,同时将电极分别插入大小鼠四肢皮下,再连接导联线进行心电图描记,这样的疼痛刺激难免引发较高水平儿茶酚胺的释放,影响心电图的记录<sup>[4-5]</sup>。

为了得到更准确、更稳定、更科学的实验结果,需连续长时间的在清醒无束缚的条件下测量大小动物的生理参数,心电植入子遥测系统使其成为可能<sup>[6]</sup>。植入子是植入在动物体内的微型设备,它担负传感器,放大器,数字转换,无线发射的功能。心电植入子动态遥感监测系统能客观、标准、准确地记录大小鼠在自由无刺激状态下的心电变化,可减少肌电对动物心电活动测定的干扰,更直观地反映出大小鼠在清醒静息、麻醉状态及心血管药物状态下的动态心电指标变化情况<sup>[7]</sup>。

本实验通过利用心电植入子遥感技术,采用目前国内外基础医学实验中最常用的五种全麻药,分

别观测其对 SD 大鼠的有效麻醉剂量、时程,并实时遥测 SD 大鼠在清醒及不同麻药下的心率及心电活动的改变,比较五种全麻药对 SD 大鼠心电活动的影响,明确对 SD 大鼠心电活动影响最小的麻醉药与剂量,从而为不同动物的全麻药选择上提供重要的实验资料和线索。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 实验动物

48 只健康清洁级雄性 SD 大鼠,8 周龄,体重(220 ± 15) g,来源于河北医科大学实验动物中心【SCXK(冀)2018-004】。饲养于河北医科大学新药安全评价研究中心【SYXK(冀)2018-005】。饲养期间动物自由饮水,饲喂普通维持饲料由北京科澳协力有限公司提供,饲养条件:昼夜各半循环照明,相对湿度 40% ~ 70%,温度 22~26℃。所有动物饲养管理和实验操作均符合动物实验伦理学要求(审批号:LACUC-Hebmu-PD-201720)。

#### 1.1.2 试剂与仪器

异氟醚(Isoflurane,山东科源制药有限公司),丙泊酚(Propofol injection,西安力邦制药有限公司),依托咪酯(Etomidate Fat Emulsion injection,江苏恩华药业),咪达唑仑+氯胺酮(Midazolam + ketamine,江苏恩华药业),戊巴比妥钠(Pentobarbital sodium salt,德国进口分装),盐酸异丙肾上腺素(Isoprenaline,上海禾丰制药有限公司),植入子(TA10EA-F20,DSI 公司,美国),植入式生理信号遥测系统(DSI 公司,美国)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 动物分组及给药

将 40 只 SD 大鼠随机各均分为 5 组:异氟醚组(I 组)、异丙酚组(Pr 组)、依托咪酯组(E 组)、咪达唑仑-氯胺酮组(MK 组)和戊巴比妥钠组(PS 组),

每组各 8 只。大鼠异氟醚吸入麻醉,其余全麻药均分别腹腔低、高剂量腹腔注射给药。异氟醚组先将 SD 大鼠置于麻醉诱导箱中诱导麻醉,进气端以纯氧为载体连接异氟醚挥发罐,吸入浓度为 2%,氧气流量 2 L/min,诱导完毕后用自制大鼠面罩持续吸入高低浓度 2% 与 1.5% 异氟醚进行维持麻醉。丙泊酚组腹腔注射 60 mg/kg 和 70 mg/kg 低高两剂量;依托咪酯组 20 mg/kg、30 mg/kg;咪达唑仑-氯胺酮复合组 70 mg/kg (氯胺酮 75 mg/kg+咪达唑仑 5 mg);1% 戊巴比妥钠组 0.06 mL/10 g、0.1 mL/10 g;异丙肾上腺素 0.025 mg/mL 腹腔注射。

### 1.2.2 心电植入子置入术

预先将手术器械高压灭菌,心电植入子用 2% 戊二醛浸泡 12 h 消毒,后用 0.9% 生理盐水浸泡处理。SD 大鼠吸入异氟醚诱导麻醉后置于手术台并持续吸入 1.5% 异氟醚,大鼠手术区域备皮,消毒铺巾,分层次开腹,将心电植入子植入腹腔并固定,并分别将植入子的红色电极从腹腔穿过埋置大鼠左肋弓下缘皮下,白色电极埋置鼠右第二三肋间皮下固定。接收器与心电植入子一一对应,内置十字形天线,从而接收塑料笼或铁笼内的信号。生理信号被植入子采集到并转换成相应的电信号后用无线电发射出来,由饲养笼下方的接收器接收到并传递给数据转换器,完成数据转换后送入中央处理器进行数据处理。然后逐层关腹术毕,手术完毕动物清醒后正常进水、进食。

### 1.2.3 心电图记录

各组 SD 大鼠分别给予相应高、低两个剂量不同的全麻药,并开始计时,记录大鼠翻正反射消失进入麻醉期至翻正反射恢复的时间。传感器遥感测定观察大鼠清醒状态下心率及心电活动变化,并

以大鼠清醒状态下的心电图作为 0 min 观察值,观测记录给药后 5、10、15、20、30、60、90 和 120 min 时大鼠麻醉诱导期、维持期、恢复期的心率、心电图变化情况,并进行数据统计学分析。

### 1.3 统计学分析

数据分析与图像处理使用 Adobe Illustrator 10, Origin 7.5 和 SPSS 21.0 软件处理。实验数据以均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,两组间数据比较采用独立样本 *t* 检验,以  $P < 0.05$  为差异有显著性。

## 2 结果

### 2.1 麻醉药对 SD 大鼠麻醉效果观测

各组 SD 大鼠给予相应全麻药后,麻醉起效先后顺序为丙泊酚>异氟醚>依托咪酯>氯胺酮>戊巴比妥钠。给予大鼠 2% 异氟醚和丙泊酚 70 mg/kg 进入麻醉期时间分别为(1.80 ± 1.20)、(1.15 ± 0.75) min,麻醉持续时间分别为(45.40 ± 21.25)、(38.10 ± 16.20) min,两组起效最快、麻醉期维持稳定,可根据手术时间灵活调整麻醉期,且苏醒较快,可控性强;给与依托咪酯 30 mg/kg 和咪达唑仑-氯胺酮复合组 70 mg/kg 后大鼠进入麻醉期时间分别为(1.98 ± 1.37)、(2.10 ± 1.05) min,起效时间较快,但麻醉维持时间较短,分别为(32.89 ± 12.25)、(22.33 ± 11.74) min。依托咪酯麻醉维持一般少于 40 min,且偶有肢体抖动现象;而 1% 戊巴比妥钠起效最慢,大鼠进入麻醉期所需时间最长(4.18 ± 1.23) min,麻醉较深,且麻醉期持续时间长(165.20 ± 58.30) min,恢复较慢,在手术过程中动物挣扎的情况较多见,难以达到理想麻醉效果且麻醉期超长,可控性较差,死亡率高、副作用大(表 1)。

表 1 五种全麻药对大鼠麻醉时间观测

Table 1 Observation on anesthesia time of five general anesthetics in rats

麻醉药 Anesthetics	麻醉诱导期 (min) Anaesthetic induction (min)	麻醉持续期 (min) Duration of anesthesia (min)
异氟醚 Isoflurane	1.80 ± 1.20	45.40 ± 21.25
丙泊酚 Propofol	1.15 ± 0.75	38.10 ± 16.20
依托咪酯 Etomidate	1.98 ± 1.37	32.89 ± 12.25
咪达-氯胺酮 Midazolam+ ketamine	2.10 ± 1.05	22.33 ± 11.74
戊巴比妥钠 Pentobarbital sodium salt	4.18 ± 1.23	165.20 ± 58.30

### 2.2 麻醉药对 SD 大鼠的心率影响监测

为检测五种全麻药对 SD 大鼠心电活动的影响,我们将各组 SD 大鼠给与相应全麻药后,利用心电植入子动态遥感监测各组给药后 0、5、10、15、20 和 30 min 时 SD 大鼠麻醉期的心率和心电图的变化。结果

如表 2 所示,先 2% 异氟醚麻醉诱导,以 1.5% 浓度维持麻醉稳定,在麻醉观测前期 30 min 内大鼠心率变化幅度较小,未见明显的加快或减慢变化,与清醒状态下的心率最为接近,对心电活动无明显影响。腹腔注射丙泊酚 70 mg/kg 后 SD 大鼠在麻醉观测前期

20 min 内心率无明显变化,同时也接近于清醒状态下的心率水平,但随着麻醉时间的延长,心率有轻度减慢趋势,呈现轻度心脏抑制作用。给予氯胺酮后大鼠心率明显增快,心率变化波动较大,但与咪达唑仑合

用后可以减轻心率增快;给予依托咪酯和戊巴比妥钠后在前 20 min 内心率影响不明显,但随着麻醉时间的延长,心率逐渐出现下降的趋势,呈明显心脏抑制现象,且以 30 min 时抑制作用最明显。

表 2 五种全麻药对大鼠心率的影响

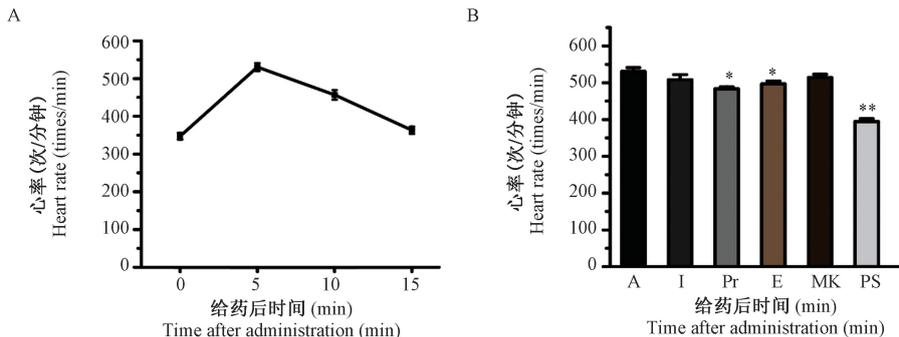
Table 2 Effects of five kinds of anesthetics on heart rate of rat

组别 Groups	给药后时间(min) Time after administration(min)					
	0	5	10	15	20	30
异氟醚 Isoflurane	363.6 ± 23.7	352.9 ± 29.1	361.4 ± 31.5	342.9 ± 27.2	368.2 ± 21.6	359.7 ± 25.3
丙泊酚 Propofol	375.0 ± 25.6	382.5 ± 22.8	378.7 ± 23.6	363.2 ± 29.6	358.8 ± 21.9	352.1 ± 21.4
依托咪酯 Etomidate	389.7 ± 30.2	396.6 ± 34.5	377.8 ± 29.3	392.3 ± 28.6	385.3 ± 33.5	353.6 ± 38.3
咪达唑仑 Midazolam+ ketamine	387.9 ± 30.4	442.8 ± 46.3	428.6 ± 40.4	411.7 ± 42.5	456.6 ± 52.0	391.7 ± 44.9
戊巴比妥钠 Pentobarbital sodium salt	386.8 ± 33.9	370.0 ± 44.5	380.6 ± 52.5	372.6 ± 55.9	381.2 ± 50.9	345.9 ± 42.0

### 2.3 观察五种麻醉药对异丙肾上腺素加快大鼠心率的影响

为进一步检测五种麻醉药对 SD 大鼠心电活动的影响,首先将清醒大鼠腹腔注射异丙肾上腺素(0.025 mg/mL),然后相应给与五种麻醉药,利用心电图植入子技术遥感检测五种全麻药对异丙肾上腺素提高 SD 大鼠心率作用的影响。如图 1A 所示,SD 大鼠单纯腹腔注射异丙肾上腺素后可显著兴奋心脏,5 min 内心率明显增快,并于 5 min 时其加快心率的作用达到峰值(530.65 ± 10.61),15 min 左右心率基本恢复正常水平(363.22 ± 9.88)。接下来分别检测了在 5 种不同的麻醉药存在时,异丙肾上腺素对大鼠心率的影响,即预先 10 min 给予不同的麻醉药后,再给予异丙肾上腺素(0.025 mg/mL),分

别检测给药后各组 SD 大鼠 5 min 时心率的变化情况,并与清醒大鼠给与异丙肾上腺素后 5 min 时的心率比较。如图 1B 所示,2%异氟醚和 70 mg/kg 咪达唑仑-氯胺酮在腹腔注射异丙肾上腺素后,5 分钟时心率分别为(508.26 ± 13.81)、(513.85 ± 9.37),对异丙肾上腺素提高大鼠心率的影响最小,对 SD 大鼠的心电活动抑制作用较轻( $P > 0.05$ );丙泊酚和依托咪酯给予异丙肾上腺素后可轻度降低异丙肾上腺素对大鼠心率的兴奋作用,5 min 时心率分别为(483.43 ± 5.74)、(496.64 ± 8.30),表现为轻度的心脏抑制现象( $P < 0.05$ );而 1%戊巴比妥钠随着麻醉时间的延长可显著降低异丙肾上腺素对心率的影响(394.85 ± 7.57),对心脏的抑制作用最明显,各组心电图记录如图 2 所示。

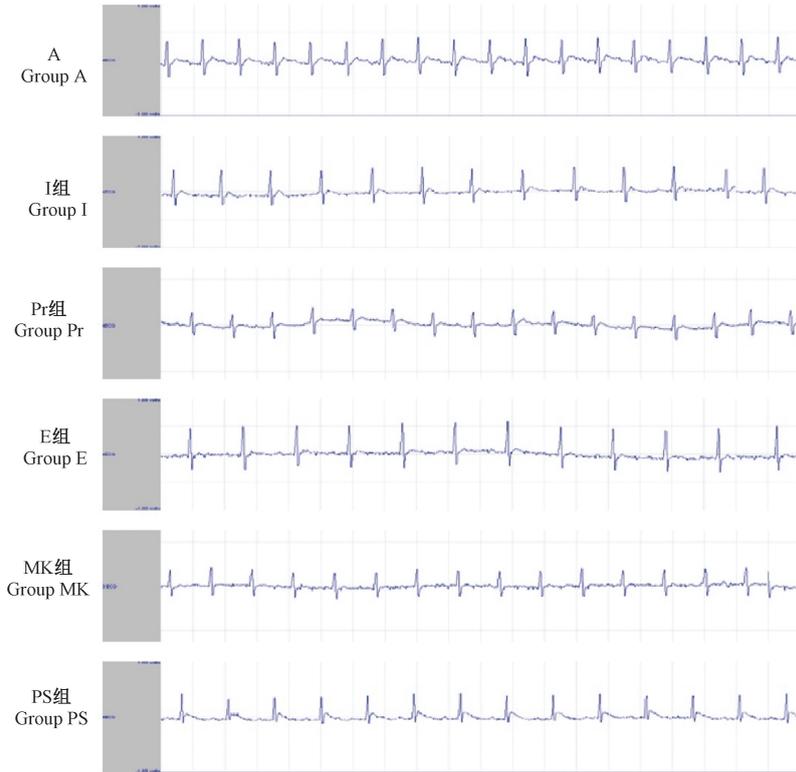


注:A: 清醒;I: 异氟醚;Pr: 异丙酚;E: 依托咪酯;MK: 咪达唑仑-氯胺酮;PS: 戊巴比妥钠。与 A 组相比, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ 。

图 1 异丙肾上腺素注射 5 min 后 5 种全麻药对大鼠心率的影响

Note. A, Awake; I, Isoflurane; Pr, Propofol; E, Etomidate; MK, Midazolam+Ketamine; PS, Pentobarbital sodium salt. Compared with group A, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ .

Figure 1 Effects of five kinds of general anesthetics on heart rate of rats 5 min after isoproterenol injection



注:A: 清醒;I:异氟醚;Pr:异丙酚;E:依托咪酯;MK:咪达唑仑-氯胺酮;PS:戊巴比妥钠。

图2 异丙肾上腺素注射 5 min 后各组心电图记录情况

Note. A, Awake. I, Isoflurane. Pr, Propofol. E, Etomidate. MK, Midazolam+Ketamine. PS, Pentobarbital sodium salt.

Figure 2 ECG recording of each group after 5 mins of isoproterenol injection

### 3 讨论

麻醉药对动物实验往往具有一定的影响,部分麻醉药的应用可明显干扰心血管兴奋药物的药理效应,但系统评价不同麻醉药对动物心电活动影响的研究少见报道。本实验利用心电植入子遥感技术,预先皮下手术植入传感器,系统性动态遥感测定了五种全麻药对 SD 大鼠心电活动的影响,此法显著优于传统测定动物心电活动的方法<sup>[8]</sup>。因此,利用动态遥感技术测定不同麻醉药对大鼠心电活动的影响,对心脏电生理研究以及心血管活性药物评测等领域的医学研究具有重要应用价值,同时为动物不同麻醉选择上提供重要参考。

本研究在观察五种全麻药对 SD 大鼠的麻醉效果中,丙泊酚和异氟醚起效最快。异氟醚是一种目前临床广泛使用的氟化挥发性液态吸入全麻药,因其良好的麻醉功能在临床动物实验中备受青睐<sup>[9]</sup>。李鹏等<sup>[10]</sup>对异氟醚不同麻醉吸入方法比较结果表明,其吸入麻醉可保证准确平稳的麻醉药吸入浓度,3 h 内面罩吸入简便安全,可减少大鼠术后死亡

率。而宋乐等<sup>[9]</sup>采用腹腔注射方式同样观察到较好的麻醉效果。本实验结果表明先以 2% 异氟醚吸入麻醉诱导,后以 1.5% 浓度维持麻醉效果良好,起效快,可控性强,苏醒快,其结果与之前报道一致。同时腹腔注射异丙肾上腺素后对心脏兴奋作用无明显影响,表明其对 SD 大鼠心电活动抑制轻,影响较小,利于 SD 大鼠的心脏电生理研究。

丙泊酚、咪达唑仑作为两种不同类型静脉麻醉药,均具有起效快、麻醉效能强、毒性小等优点<sup>[11]</sup>,二者对心血管的抑制作用一直是近年来研究的热点,但用于 SD 大鼠麻醉对其心电活动影响的研究却很少。丙泊酚麻醉诱导迅速,麻醉深度易控制,安全性高,适合小动物简短手术麻醉<sup>[12]</sup>。刘立等<sup>[13]</sup>研究表明丙泊酚对 Wistar 大鼠麻醉效果较好,心率抑制率显著低于乌拉坦。而石福等<sup>[14]</sup>用丙泊酚和依托咪酯对 SD 大鼠的麻醉效果比较,结果表明丙泊酚麻醉诱导起效快,麻醉稳定,其麻醉持续时间长于依托咪酯。同样在本实验中,丙泊酚 70 mg/kg 腹腔注射对 SD 大鼠麻醉诱导起效最快,效果稳定,麻醉维持时间长于依托咪酯,其结果与

文献报道一致。除轻度降低心率外,整体对 SD 大鼠的正常心率以及异丙肾上腺素提高心率作用的影响均较小,安全性较高。

氯胺酮对循环系统具有兴奋作用<sup>[15]</sup>,本实验结果显示氯胺酮对 SD 大鼠心率影响较大,心率明显增快,虽给予异丙肾上腺素后,氯胺酮组心率接近清醒注射异丙肾上腺素时的心率,但并不能表明氯胺酮对心率无影响,从而表明氯胺酮麻醉浅,而不足以抑制异丙肾上腺素兴奋心脏的作用。但也有研究显示氯胺酮在 5、7 min 后麻醉状态较好,并不影响心功能的评测<sup>[15-16]</sup>,其原因可能与咪达唑仑的合用有关。

依托咪酯的血流动力学稳定性与其不影响压力感受器、外周血管舒缩功能和心肌收缩力有关<sup>[15]</sup>。国外有研究表明 30 mg/kg 依托咪酯麻醉效果好,但影响心功能且小鼠苏醒慢<sup>[17]</sup>。同样,戊巴比妥钠对心率和心肌收缩力均有一定的抑制作用<sup>[18]</sup>,特别是当静脉注射速度过快时,可明显加快心率,使 ST 段移位,T 波倒置<sup>[19]</sup>。但也有报道显示 0.4% 戊巴比妥钠和对小鼠心率无明显影响<sup>[20]</sup>。在本研究中,30 mg/kg 依托咪酯和 1% 戊巴比妥钠随麻醉时间延长均表现出明显的心脏抑制作用,与上述报道结果一致,不利于麻醉动物心电活动研究。

麻醉方法和麻醉药的选择及用量直接关系到动物麻醉的效果<sup>[21]</sup>,麻醉方式常用腹腔注射、尾静脉注射和吸入麻醉。丙泊酚是一种新型快速、短效静脉麻醉药,可短时间内使动物麻醉。Lu 等<sup>[22]</sup>表明,与腹腔注射氯胺酮大鼠相比,丙泊酚预处理可显著减少 FST 大鼠不动时间。面罩吸入异氟醚可免除因腹腔注射刺激因素的影响,麻醉效果显著,保证实验动物的安全性。单一麻醉剂均有各自局限性<sup>[23]</sup>,本实验氯胺酮组合咪达唑仑可减轻对大鼠心脏兴奋,比单一注射氯胺酮心率降低。氯胺酮麻醉大鼠呼吸道分泌物多易窒息,仅适合急性动物实验<sup>[24]</sup>。

本实验中因实验条件有限,未能对大鼠部分心功能,如血压、心肌酶等指标以及其他常用全麻药做全面检测,以全面评价各组全麻药对大鼠心电功能的影响,可开展进一步实验研究。

#### 参 考 文 献(References)

[ 1 ] 孙安会,谷捷,吴涛,等. 四种常用实验麻醉药物对大鼠心血管系统的影响[J]. 中国实验动物学报, 2016, 24(2): 120-126.  
Sun AH, Gu J, Wu T, et al. Impact of four anesthetic drugs

commonly used in animal experiments on the cardiovascular system in rats [J]. Acta Lab Anim Sci Sin, 2016, 24(2): 120-126.

- [ 2 ] 李靖,王艳丽,刘恩岐. 四种常用实验动物与人的肝组织形态特征比较[J]. 中国比较医学杂志, 2018, 28(9): 74-77.  
Li J, Wang YL, Liu EQ. Tissue morphological characteristics of liver from four commonly used laboratory animals compared with those of human [J]. Chin J Comp Med, 2018, 28(9): 74-77.
- [ 3 ] 孟永亮,孙彦. 4 种麻醉药物对家兔手术的麻醉效果比较[J]. 中国现代医学杂志, 2018, 28(23): 12-15.  
Meng YL, Sun Y. Comparison of anesthetic effect of Urethane, Sodium pentobarbital, Propofol and Sodium thiopental in rabbits [J]. Chin J Mod Med, 2018, 28(23): 12-15.
- [ 4 ] 王蕾,赵明镜,杨涛,等. 从心电图和超声心动图相关性分析研究心肌梗死后心衰模型的早期评价和筛选方法[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2017, 15(22): 2816-2820.  
Wang L, Zhao MJ, Yang T, et al. Study on the early evaluation and screening method of heart failure model after myocardial infarction from the correlation analysis of electrocardiogram and ultrasonic cardiogram [J]. Chin J Integr Med Card/Cerebrovasc Dis, 2017, 15(22): 2816-2820.
- [ 5 ] 戴淑芳,孙艺平,傅雷,等. 高压氧对急性一氧化碳中毒大鼠心肌超微结构及心电图的影响[J]. 大连医科大学学报, 2018, 40(1): 22-26.  
Dai SF, Sun YP, Fu L, et al. Effects of hyperbaric oxygen therapy on myocardial ultrastructure and electrocardiogram of rats with acute carbon monoxide poisoning [J]. J Dalian Med Univ, 2018, 40(1): 22-26.
- [ 6 ] 卢祺桐,陈敏华,徐聪,等. 应用植入遥测技术对恒河猴部分生理指标的观测[J]. 中国比较医学杂志, 2018, 28(1): 100-107.  
Lu QJ, Chen MH, Xu C, et al. Observation of several physiological indexes of rhesus monkeys by implantable telemetry technology [J]. Chin J Comp Med, 2018, 28(1): 100-107.
- [ 7 ] 曹开进,李自强,贺英菊,等. 植入式遥测技术偶测血压方法探究[J]. 中国病理生理杂志, 2014, 30(11): 2108-2112.  
Cao KJ, Li ZQ, He YJ, et al. Measurement of casual blood pressure by implantable telemetry [J]. Chin J Pathophysiol, 2014, 30(11): 2108-2112.
- [ 8 ] Chu DK, Jordan MC, Kim JK, et al. Comparing isoflurane with tribromoethanol anesthesia for echocardiographic phenotyping of transgenic mice[J]. J Am Assoc Sci, 2006, 45(4): 8-13.
- [ 9 ] 宋乐,朱正华,张西京,等. 大鼠腹腔内注射异氟醚麻醉效应的初步研究[J]. 临床麻醉杂志, 2007, 23(8): 661-663.  
Song L, Zhu ZH, Zhang XJ, et al. Anesthetic effect of intraperitoneal isoflurane in rats[J]. J Clin Anesthesiol, 2007, 23(8): 661-663.
- [ 10 ] 李鹏,易斌,陶国才. 不同异氟醚全凭吸入法麻醉大鼠安全性与实用性比较[J]. 重庆医学, 2010, 39(20): 2715-2718.  
Li P, Yi B, Tao GC. Comparison of security and practicality in rats which accept different means of isoflurane inhalation anesthesia [J]. Chongqing Med, 2010, 39(20): 2715-2718.

- [11] 廖新权,刘领汉,谢光平,等. 丙泊酚在小动物麻醉上的应用简介[J]. 广东畜牧兽医科技, 2011, 36(2): 45-46.  
Liao XQ, Liu LH, Xie GP, et al. Application of propofol in small animal anesthesia [J]. Guangdong J Anim Veterin Sci, 2011, 36(2): 45-46.
- [12] 李培德,孙丽盈,侯凤香,等. 小动物静脉麻醉研究进展[J]. 畜牧与兽医, 2010, 42(1): 90-93.  
Li PD, Sun LY, Hou FX, et al. Advances in intravenous anesthesia for small animals [J]. Anim Husband Veterin Med, 2010, 42(1): 90-93.
- [13] 刘立,方成,王加谋,等. 丙泊酚、戊巴比妥钠和乌拉坦对肾移植大鼠麻醉效果的比较[J]. 咸宁学院学报, 2012, 26(4): 277-278.  
Liu L, Fang C, Wang JM, et al. Comparison on anaesthetic effect between propofol, sodium pentobarbital and urethane in rats with kidney transplantation [J]. J Xianning Univ, 2012, 26(4): 277-278.
- [14] 石福,张益,喻田. 丙泊酚和依托咪酯用于雄性SD大鼠麻醉效果的比较[J]. 天津医药, 2016, 44(12): 1440-1442.  
Shi F, Zhang Y, Yu T. Comparison of anesthetic effects between propofol and etomidate in male SD rats [J]. Tianjin Med J, 2016, 44(12): 1440-1442.
- [15] Lairez O, Lonjaret L, Ruiz S, et al. Anesthetic regimen for cardiac function evaluation by echocardiography in mice: comparison between ketamine, etomidate and isoflurane versus conscious state[J]. Lab Anim, 2013, 47(4): 284-290.
- [16] Hart CY, Burnett JC, Redfield MM. Effect of Avertin versus xylazine-ketamine anesthesia on cardiac function in normal mice [J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2001, 281(5): H1938-H1945.
- [17] Tan TP, Gao XM, Krawczynsyn M, et al. Assessment of cardiac function by echocardiography in conscious and anesthetized mice: importance of the autonomic nervous system and disease state[J]. J Cardiovasc Pharmacol, 2003, 42(2): 182-190.
- [18] Mongue-Din H, Salmon A, Fiszman MY, et al. Non-invasive restrained ECG recording in conscious small rodents: a new tool for cardiac electrical activity investigation [J]. Pflugers Arch, 2007, 454(1): 165-171.
- [19] 陈金堂,张静,周昆,等. 六种全身麻醉药对豚鼠心电图的影响[J]. 实验动物科学, 2010, 27(6): 23-25.  
Chen JT, Zhang J, Zhou K, et al. The Effect of six kinds of anesthetics on guinea pig's ECG [J]. Lab Anim Sci, 2010, 27(6): 23-25.
- [20] 刘秋晨,张驰,施春花,等. 不同麻醉药对小鼠缺氧耐受性的影响及机制研究[J]. 中国医药科学, 2013, 9(3): 29-31.  
Liu QC, Zhang C, Shi CH, et al. Study on effect of different anaesthetics on hypoxia tolerance and possible mechanisms in mice [J]. Chin Med Pharm, 2013, 9(3): 29-31.
- [21] 王育明. 洋金花麻醉剂雾化吸入与异氟醚吸入对大鼠麻醉效果的实验研究[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(7): 1625-1626.  
Wang YM. The anaesthesia effects of Jonli atomization inhalation and isoflurane inhalation on in rats [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2013, 24(7): 1625-1626.
- [22] Lu GH, Hidenori K. Simulation of propofol anaesthesia for intracranial decompression using brain hypothermia treatment [J]. Theor Biol Med Model, 2007, 4: 46.
- [23] 詹红微,邱泽文,李慧玲,等. 三种麻醉药物对小鼠麻醉效果的比较[J]. 实验动物科学, 2012, 29(4): 19-24.  
Zhan HW, Qiu ZW, Li HL, et al. Comparison of anesthetic effect of three anesthetics on mice [J]. Lab Anim Sci, 2012, 29(4): 19-24.
- [24] 宋成伟. 三种常用麻醉药物动物实验中麻醉效果观察[J]. 中国医药导刊, 2010, 12(11): 1959-1962.  
Song CW. Observation of anesthetic effect of three general anesthetics in animal experiment [J]. Chin J Med Guide, 2010, 12(11): 1959-1962.

[收稿日期] 2019-07-17