

## 家兔高钾血症病理模型的建立

陈媛, 朱玮亚, 李维礁, 张莉, 王晓晴

(昆明医科大学海源学院机能实验室, 云南昆明 650106)

**[摘要]** **目的** 选用高钾血症时 ECG 的特征性改变, 探索家兔高钾血症模型制作. **方法** 静脉滴注 3%KCl, 分别以 ECG 出现宽大畸形 QRS 波即刻停止输钾, ECG 出现宽大畸形 QRS 波后调整输钾速度以维持宽大畸形 QRS 波 30 min 和 ECG 出现 P 波低平、T 波高尖且 QRS 波增宽后调整输钾速度以维持 P 波低平、T 波高尖且 QRS 波增宽 30 min, 3 种方案复制家兔高钾血症模型, 同步监测家兔心率、血压、尿量、血清钾等指标. 以停止输钾 30 min 后家兔血清钾仍保持在 5.1 mol/L 以上作为高钾血症模型制作成功的标准. **结果** 维持 QRS 波宽大畸形 30 min 组和维持 P 波低平、T 波高尖且 QRS 波增宽 30 min 组能复制稳定的高钾血症模型, 而 ECG 出现宽大畸形 QRS 波即刻停止输钾组, 血清钾在停止输钾 30 min 内恢复正常. **结论** 维持 QRS 波宽大畸形 30 min 组和维持 P 波低平、T 波高尖且 QRS 波增宽 30 min 组能复制稳定的高钾血症模型.

**[关键词]** 家兔; 高钾血症; 模型复制; 心电图观察

**[中图分类号]** R589.4; R-332 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2095-610X (2014) 01-0032-05

## Establishment of Hyperkalemia Model in Rabbits

CHEN Yuan, ZHU Wei - ya, LI Wei - jiao, ZHANG Li, WANG Xiao - qing

(Functional Laboratory, Haiyuan College, Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650106, China)

**[Abstract]** **Objective** According to the special changes of ECG in hyperkalemia animals, explore a method to reproduce a rabbits model for hyperkalemia. **Methods** Three programs were applied by intravenous drip of 3% KCl to reproduce the hyperkalemia model. In the first program, once the wide and deformed QRS complex occurred, the potassium drip should be stopped immediately. In the second program, the wide and deformed QRS complex was kept for 30 min by adjusting the speed of potassium infusion. In the third program, once low and flat P wave and peaked T wave appeared, immediately adjusted the speed of potassium infusion in order to keep for 30 min. And HR, BP, urine output and serum potassium were monitored simultaneously. Hyperkalemia is defined as serum potassium  $\geq 5.1$  mol/L. The successful hyperkalemia model should keep serum potassium  $\geq 5.1$  mol/L after ceasing potassium given 30 min. **Results** The second and third programs could reproduce a hyperkalemia model successfully. The serum potassium returned to normal within 30 min after stopping potassium given in the first program. **Conclusion** The method which keep low and flat P wave and peaked T wave for 30 min and keep the wide and deformed QRS complex 30 min could reproduce the hyperkalemia model successfully.

**[Key words]** Rabbit; Hyperkalemia; Reproduce model; Electrocardiogram observation

K<sup>+</sup> 是体内最重要的无机阳离子之一, 其中 98% 分布于细胞内液, 1.4% 分布于细胞外液, K<sup>+</sup> 的这种细胞膜内外巨大的浓度差是可兴奋细胞生物电现象产生的基础; 因此, 任何使细胞内外钾离子分布异常的因素, 都将给机体在神经 - 肌肉

系统、循环系统、中枢神经系统、消化系统等方面造成多种损害. 其中对心脏功能的损害尤为严重: 使心肌兴奋性异常、传导阻滞、自律性下降、收缩力低下、心输出量下降, 严重时往往因严重的传导阻滞而发生心脏骤停<sup>[1]</sup>. 文献报道高钾血症时心肌

**[基金项目]** 昆明医科大学海源学院精品课程建设项目 (200837)

**[作者简介]** 陈媛 (1984 ~), 女, 云南昆明市人, 硕士研究生, 实验师, 主要从事机能实验教学及实验室管理工作.

**[通讯作者]** 王晓晴. E-mail: wxqing\_000@163.com

纤维收缩性坏死, 肌丝结构不清, 可见大、小收缩带, 线粒体数量增多、肿胀, 线粒体脊增加<sup>[2]</sup>。

机体  $K^+$  代谢能力非常强大, 即使  $K^+$  的摄入量超过正常摄入量的 10 倍, 机体仍可维持血清钾于正常范围。临床上导致高钾血症的原因主要有: (1)  $K^+$  摄入过多, 如: 输入库存较久的血液或发生溶血反应, 由于细胞膜内外  $K^+$  的平衡需要 15 h 左右, 因此, 短时间内血清钾浓度的升高可发生致命的高钾血症; (2) 肾脏排钾功能低下, 主要见于急、慢性肾功能不全; (3) 肾上腺皮质激素水平低下; (4) 长期使用潴钾利尿剂等<sup>[3]</sup>。所以, 及时地诊断高钾血症和采取有效的治疗方法一直是病理生理学研究的热点问题之一, 也是近年来综合机能实验改革的重点课题<sup>[4]</sup>。而复制稳定的高钾血症动物模型是提升该实验综合性的基础。即: 怎样使家兔在停止输钾后相当长的时间内仍保持高钾状态是本实验的目的。近年来, 临床上有多篇论文报道探讨心电图在诊断高钾血症中的临床价值<sup>[5]</sup>, 高钾血症及高钾血症的病变程度与心电图表现之间的确存在着有诊断价值的对应关系, 这与我们的实验结果完全相符; 随着家兔血清钾浓度增高, 心电图依次出现 P 波低平甚至消失, T 波高尖, QRS 波振幅降低, 间期增宽, S 波变深变宽, 严重时和 T 波相连成正弦波, 此时, 心室停搏或室颤已迫在眉睫。因此, 本实验以 ECG 出现宽大畸形 QRS 波和 ECG 出现 P 波低平、消失, T 波高尖作为控制输钾速度的两级指标, 探讨如何建立家兔稳定的高钾血症病理模型, 对临床诊断和治疗具有十分重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 实验动物** 成年健康家兔 30 只, 体重 2.0 ~ 2.5 kg, 雌雄不拘, 随机分为 3 组, 每组 10 只。(实验动物由昆明市艾尼莫实验动物养殖中心, 证号: SCXK2005-001, 实验最终使用的家兔为 38 只)。

**1.1.2 主要实验药品** 25% 乌拉坦 (湖北建国化工有限公司)、3% KCl (自配)。

**1.1.3 仪器设备** MedLab 生物信号采集处理系统 (南京美易科技有限公司); 6400-A 火焰光度分析仪 (上海沪天仪表有限责任公司); 80-2 离心机 (金坛市文华仪器有限公司); BM210 生物显微镜 (厦门麦克奥迪公司); 大动物手术器械一套。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 高钾血症模型的复制** 记录家兔正常动脉血压、心电图 (电极连接, 按右前肢 - 红), 左后肢 - 黄, 右后肢 - 黑)、3 min 尿量, 同时动脉插管取血 2 mL (1/3 试管), 3 000 r/min 离心 5 min, 测定实验前正常血清钾浓度。然后耳缘静脉输注 3% KCl 16 ~ 18 滴 /min (统一用 6# 头皮针), 观察记录心电图。然后分为 3 组: (1) 组一: 心电图出现宽大畸形 QRS 波时, 立即停止输钾, 测血清钾; 停止输钾 30 min 后再测血清钾<sup>[6]</sup>。(2) 组二: 心电图出现 P 波消失、T 波高尖且 QRS 波增宽时测血清钾, 立即调慢滴钾速度, 以维持 P 波消失、T 波高尖且 QRS 波增宽 30 min 后停止输钾, 停止输钾 30 min 后测血清钾; (3) 组三: 心电图出现宽大畸形 QRS 波时测血清钾, 立即调慢滴钾速度, 以维持宽大畸形 QRS 波 30 min 后停止输钾, 停止输钾 30 min 后测血清钾。

**1.2.2 实验组心电图** 家兔正常心电图 (图 1)。高钾血症对心脏活动最严重的影响是传导阻滞, 血清钾浓度升高, 可导致细胞膜内外钾浓度差减小, 静息电位水平上移, 膜电位极化状态削弱, 动作电位 0 期去极化速度和幅度减小, 心肌传导性下降, 可发生窦房结、心房内、房室间、心室内传导阻滞, 当血清钾浓度升高达 7 ~ 9 mmol/L 时, 由于静息电位过小, 电压依赖性钠通道处于备用状态的数量明显减少, 甚至完全失活, 0 期去极化要靠钙离子内流完成时, 心肌传导性将严重受阻, 表现为 P-R 间期延长和宽大畸形的 QRS 波形等<sup>[7]</sup>。同时细胞膜外高钾可导致膜对  $K^+$  通透性增大, 自律细胞复极化 4 期钾外流增强、钠内流相对减缓, 自动去极化减慢, 因此自律性下降。细胞外高钾、细胞膜对钾通透性增高还可导致复极化 3 期加速, 复极化时程缩短, 结果出现高尖 T 波, 既所谓 T 波的帐篷样改变<sup>[8]</sup> (图 2), 这是高钾血症心电图中具有特征性诊断价值的指标, 临床上心电图早已成为一项常规检查, 通过心电图的特征性改变, 还可以折射出血清钾的异常, 也不失为一项有临床价值的诊断途径, 既简便又有效。心肌细胞中心房肌对高钾尤为敏感<sup>[9]</sup>, 因此, 高钾动物模型制作过程中, 较早出现的心电图改变是 P 波变宽、低平甚至消失, 继而 QRS 波逐渐增宽, 而且 QRS 波形增宽的程度与高钾血症的严重程度成正变关系, 随着血清钾浓度的升高, 心室内传导阻滞逐渐严重, QRS 波愈发宽大畸形, S-T 间期缩短甚至消失, 最终 QRS 波和 T 波融合形成正弦波, 此时心脏停骤迫在眉

睫<sup>[8]</sup> (图 3)。

血清钾浓度与心电图异常改变之间存在着程度对应关系,可以让笔者通过高钾血症不同发展阶段心电图的特征性改变去推测高钾血症的发病程度和血清钾浓度范围(因为试验中不可能实时的测定频繁测钾)。实验中血清钾测定的结果也较好地证明了这一点:组二维持 P 波消失、T 波高尖且 QRS 波增宽 30 min 后,血清钾浓度为 (7.925 ± 1.810) mmol/L;组三维持宽大畸形 QRS 波 30 min 后,血清钾浓度为 (8.013 ± 2.098) mmol/L。选用上述两个指标制作高钾血症模型,停止输钾 30 min 后,组二血清钾浓度仍维持在 (5.300 ± 0.913) mmol/L;组三仍维持在 (6.162 ± 1.255) mmol/L,即:家兔血清钾仍维持在高钾状态,而对照组(组一)已恢复至正常血清钾水平 (3.863 ± 0.756) mmol/L。说明用心电图特征性改变为监测指标,调控输钾速度以维持既定的心电图改变 30 min 能制作稳定的高钾血症模型。

1.3 观察指标

心电图;肾脏切片;动脉收缩压、舒张压、平均动脉压;心率;尿量;血清钾浓度。

1.4 统计学处理

运用 SPSS 软件包进行统计学分析,数据以均值 ± 标准差来表示,组间差异采用方差分析进行处理, P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3 个实验组实验前后血清钾浓度变化

结果显示,实验前各组血清钾浓度差异无统计学意义 (P > 0.05),停止输钾 30 min 后,组二、组

三的血清钾浓度与组一相比有统计学意义 (P < 0.05);3 个组实验前后的血清钾浓度比较均有统计学意义 (P < 0.05),见表 1。

2.2 3 个实验组与正常肾脏切片的显微镜观察对比

与家兔正常肾脏切片比较(图 4A),组一肾小球轻度肿胀,内皮细胞轻度增生,肾小管上皮细胞轻度肿胀(图 4B);组二肾小球肿胀,内皮细胞增生,肾小球囊腔明显缩小,肾小管上皮细胞肿胀,管腔明显狭窄(图 4C);组三肾小球高度肿胀,内皮细胞增生,肾小球囊腔狭窄,肾小管上皮细胞高度肿胀,肾小管界限不清,管腔狭窄闭塞(图 4D)。

2.3 3 个实验组实验前后血压、心率及尿量的变化

3 个实验组均在初次出现相应心电图改变时,出现血压(收缩压/舒张压)、心率的不同程度下降,脉压差减小,心输出量下降;尿量一过性增多甚至达正常的 4 倍以上,这是由于肾脏泌 K<sup>+</sup> 功能增强,小管液中溶质浓度升高,渗透性利尿增强,导致尿量增多。组二、组三在维持输钾的 30 min 内,家兔血压,尿量锐减,尤其是组三,有 30% 的家兔无尿,从肾脏切片的显微镜观察可以看出,3 个实验组家兔肾脏形态学的改变组一最轻、组二次之、组 3 最重。停止输钾 30 min 后,3 个实验组家兔的血压(收缩压/舒张压)、心率均有所恢复,组一基本上恢复至输钾前的水平,组二、组三与输钾前比较均下降,但比维持相应心电图改变时高。组一家兔尿量恢复至输钾前正常水平;组二、组 3 家兔尿量均有不同程度的恢复,和输钾前比较均下降,见表 2。

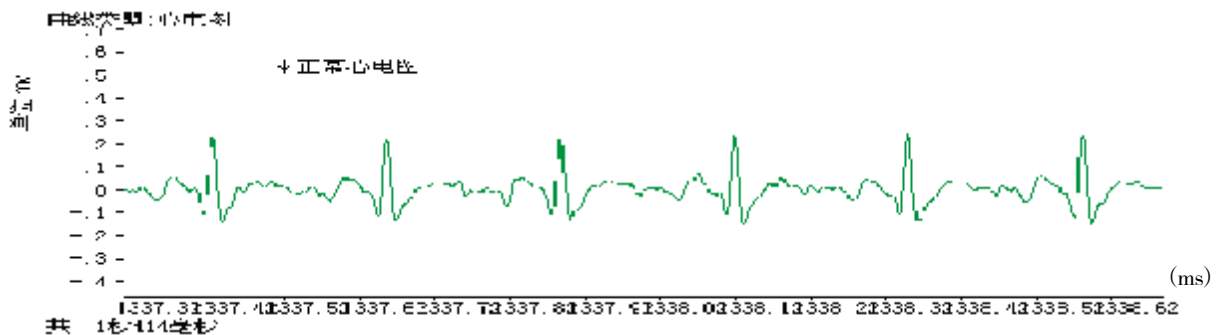


图 1 家兔正常心电图  
Fig. 1 The normal electrocardiogram of rabbit

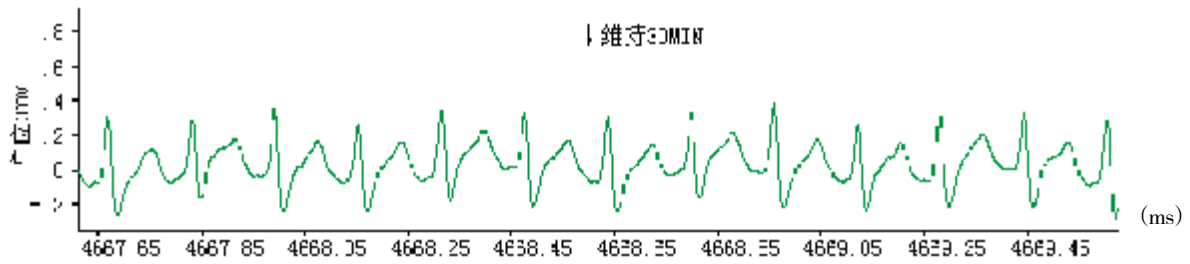


图 2 P 波消失、T 波高尖且 QRS 波增宽

Fig. 2 Absence of P wave, peaked T wave, and broadening QRS wave

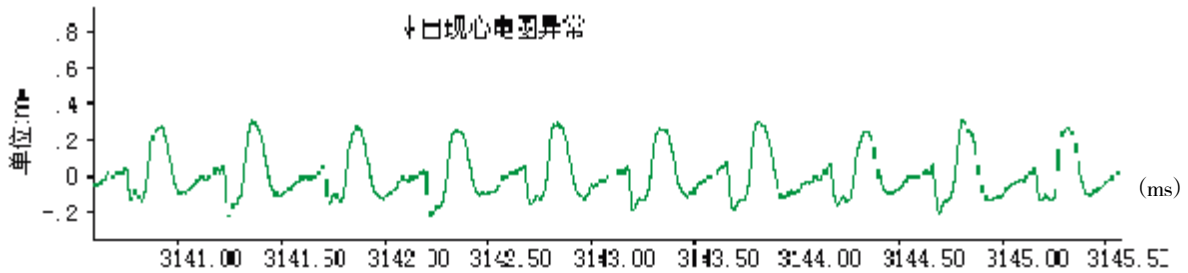


图 3 QRS 波的宽大畸形

Fig. 3 Wide and deformed QRS wave

表 1 3 个实验组组间血清钾浓度的变化  $[(\bar{x} \pm s), \text{mmol/L}]$

Tab. 1 The changes of serum potassium in three groups  $[(\bar{x} \pm s), \text{mmol/L}]$

组 别	n	输钾前 (正常)	出现相应的 ECG 改变时	停止输钾 30 min
组一	10	2.575 ± 0.377 0	7.812 ± 0.758 6	3.863 ± 0.755 8 <sup>△</sup>
组二	10	2.513 ± 0.482 4	7.925 ± 1.810 1	5.300 ± 0.913 4 <sup>△</sup>
组三	10	2.825 ± 0.902 0	8.013 ± 2.098 1	6.162 ± 1.254 6 <sup>△</sup>

与组一比较, \* $P < 0.05$ ; 各组停止输钾 30 min 与正常比较, <sup>△</sup> $P < 0.05$ ; (注: 通过对 75 只家兔正常血清钾数据统计分析, 家兔正常血清钾值为 1.88 ~ 4.61 mmol/L) .

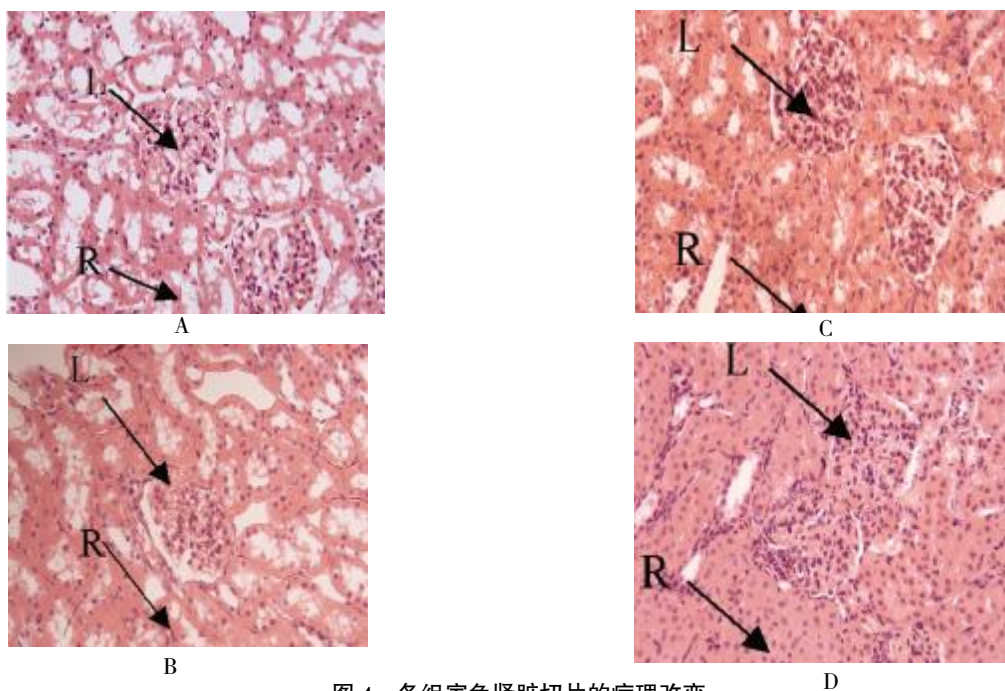


图 4 各组家兔肾脏切片的病理改变

Fig. 4 Histopathological change of renal biopsy in each group

A: 正常对照; B: 组一; C: 组二; D: 组三; L: 肾小球; R: 肾小管.

表 2 3 个实验组实验前后血压、心率及尿量的变化 [n = 10, ( $\bar{x} \pm s$ )]Tab. 2 The changes of blood pressure heart rate and urine output in three groups [n = 10, ( $\bar{x} \pm s$ )]

组别	观察指标	输钾前 (正常)	刚出现相应的 ECG 改变时	维持相应的 ECG 改变 30 min 时	停止输钾 30 min 时
组一	收缩压	131.88 ± 13.79	106.13 ± 16.53		120.00 ± 15.76
	舒张压	102.13 ± 10.77	89.38 ± 15.55		91.75 ± 12.52
	心率	288.38 ± 38.20	250.63 ± 36.88		295.25 ± 28.58
	尿量	5.25 ± 3.91	25.13 ± 19.81		5.13 ± 4.22
组二	收缩压	138.00 ± 14.23	113.25 ± 13.91	110.35 ± 17.83 <sup>△</sup>	120.50 ± 7.23
	舒张压	109.88 ± 11.87	91.50 ± 16.65	87.54 ± 15.71 <sup>△</sup>	89.88 ± 4.97
	心率	303.38 ± 27.29	295.13 ± 35.79	293.16 ± 34.86	307.38 ± 28.21
	尿量	4.60 ± 1.31	24.38 ± 14.63	2.64 ± 4.13 <sup>△</sup>	3.50 ± 2.67
组三	收缩压	126.5 ± 13.80	84.00 ± 22.85	89.13 ± 26.24 <sup>△</sup>	104.63 ± 32.35
	舒张压	103.00 ± 14.35	68.25 ± 19.34	70.14 ± 16.77 <sup>△</sup>	81.00 ± 30.43
	心率	280.63 ± 29.39	242.88 ± 78.01	238.29 ± 76.23 <sup>△</sup>	290.25 ± 15.36
	尿量	5.88 ± 3.64	26.75 ± 21.18	1.76 ± 3.21 <sup>△</sup>	3.75 ± 6.22

注: 收缩压、舒张压:mmHg; 心率: 次/min; 尿量: 滴/3 min.

### 3 讨论

组一, 出现宽大畸形 QRS 波即刻停止输钾组, 在停止输钾 30 min 内, 血清钾恢复至正常范围 (该组共复制 11 个样本, 其中有 1 只家兔在实验过程中死亡); 组二、组三在停止输钾 30 min 后血清钾浓度分别为 (5.300 ± 0.913) mmol/L 和 (6.162 ± 1.255) mmol/L, 均处于高钾状态, 所以组二、组三均能成功复制家兔高钾血症病理模型. 组二, 组三各有优势: 组二复制的家兔高钾血症模型血清钾浓度在停止输钾 30 min 后较组三低, 但相对安全, 便于操作、控制, 适合于操作不够娴熟的实验者 (该组共复制 12 个样本, 有 2 只家兔在实验过程中死亡, 成功率 83%); 组三, 复制的家兔高钾血症模型的血清钾浓度在停止输钾 30 min 后更高, 其模型更稳定. 但因宽大畸形 QRS 波的界定标准范围相对广泛, 故在维持家兔宽大畸形 QRS 波的过程中, 易出现室扑、室颤等<sup>[2]</sup>. 对于学生实验来说, 这种方法具有一定的风险, 如果操作不熟练、滴钾的速度控制不好, 很容易造成家兔死亡, 导致后续实验无法进行. (该组共复制 14 个样本, 有 4 只家兔实验过程中死亡, 成功率 71%) .

家兔对于血清钾浓度升高的敏感性存在较大的个体差异, 表现在出现高钾血症典型心电图改变的时程长短不一. 有的家兔在静脉滴注 3% 的氯化钾 16 ~ 18 滴/min 后, 很快就出现了 QRS 波的宽大畸形, 调慢输钾速度后, 其心电图又很快恢复, 要维持 QRS 波的宽大畸形比较困难, 这一类型的家兔不适用于复制该模型; 有的家兔在静脉滴注 3% 的氯化钾 16 ~ 18 滴/min 后, 心电图的改变随着体

内血清钾浓度的升高而依次出现 P 波低平甚至消失, T 波高尖, QRS 波振幅降低, 间期增宽, S 波变深, 变宽, 这种类型的家兔能够较稳定的维持 P 波消失、T 波高尖、QRS 波间期增宽或者宽大畸形 QRS 波, 所复制的高钾血症模型成功率高. (在 38 个样本中, 除了死亡的 8 个样本外, 还有 3 只家兔属于心电图很快恢复的类型, 占总样本数的 8%. )

实验结果显示, 动物心电图特征性改变与血清钾浓度之间也有相关性, 随着血清钾浓度升高依次出现的 P 波消失、T 波高尖和 QRS 波的宽大畸形是该实验控制静脉滴钾速度的两级指标. 维持以上 2 级心电图异常 30 min 后, 两组实验动物肾实质损伤程度和血清钾浓度呈明显相关, 说明组三动物心脏毒性作用大于组二, 心输出量更少, 造成肾脏缺血、缺氧的程度更加严重, 肾排钾功能更加低下, 因此, 血清钾浓度更高. 也正是有了 30 min 的造模过程, 造成了肾脏形态学的一系列病理学改变, 保证了动物持续高钾的状态.

作为机能实验教学, “家兔高钾血症的心电图观察和治疗”是综合机能实验改革的重要项目, 家兔高钾血症病理模型建立的意义在于它有效地将生理学中关于心脏生物电现象的相关理论与临床高钾血症引起的心电图异常改变的病理生理学机制及临床高钾血症的治疗原则有机地结合, 在教学中减少重复与验证、增加病理生理改变与临床疾病相关性地探索意识, 可早期建立机能实验与临床疾病之间的联系, 增强实验教学效果, 为临床诊断和治疗提供重要的参考指标. 能够深化

(下转第 50 页)

药率与全国基本一致 ( $P > 0.05$ )。虽然本研究仅是对到本中心就诊的病例的研究,但也从一个侧面反映了云南省结核耐药形势不容乐观,必须加强结核病的防治力度。

本研究显示,在不同职业与民族方面,耐药率也无显著性差异,这可能与研究对象主要来源于农民和汉族人群,其它职业人群和民族病例较少等原因有关,但具体原因还有待今后的进一步研究<sup>[10-13]</sup>。

通过本次对云南省的药敏检测结果分析表明,云南省的结核杆菌的耐药率依然处于高水平,提示结核病控制工作依然任重道远。及早发现耐药病人,坚持早期、联合、规律、适量及全程的原则,加强医务人员的责任心,提高患者依从性,提高初治肺结核的治疗成功率,减少耐药菌株发生,对于结核病控制具有十分重要的意义。更重要的是,应把耐药趋势的追踪和耐药监测作为结核病防治规划的重要组成部分,进行定期观察、研究,为制定决策提供科学依据。

#### [参考文献]

- [1] 中国防痨协会基础专业委员会. 结核病诊断实验室检验规程[M]. 北京: 中国教育文化出版社, 2006: 46 - 65.
- [2] WHO/IUATLD. Guidelines for surveillance of drug resistance in tuberculosis [M]. Geneva: WHO, 1997: 2 - 12.
- [3] 郑蓉蓉, 张向东, 黄成基. 875株结核分枝杆菌耐药情况分析[J]. 现代预防医学, 2008, 35(23): 4 697 - 4 698.

- [4] 梅建, 薛桢, 沈鑫, 等. 原发耐药是耐药结核病产生的重要原因[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2006, 29(2): 75 - 78.
- [5] 屠德华. 耐药性结核病的流行病学特征和意义[J]. 中华结核和呼吸杂志, 1998, 20(6): 327 - 328.
- [6] 李琳, 华建昭, 许琳, 等. 云南省结核分枝杆菌地方菌株耐药监测[J]. 实用预防医学, 2006, 13(3): 642 - 643.
- [7] 华建昭, 许琳, 李琳. 云南省结核分枝杆菌耐药性监测研究[J]. 实用预防医学, 2006, 13(4): 911 - 912.
- [8] 全国结核病流行病学抽样调查技术指导组. 2000年全国结核病流行病学抽样调查报告[J]. 中国防痨杂志, 2002, 24(2): 65 - 108.
- [9] ZHAO Y, XU S, WANG L, et al. National survey of drug-resistant tuberculosis in China [J]. N Engl J Med, 2012, 366(23): 2 161 - 2 170.
- [10] 夏乾峰, 文阳安, 涂植光, 钱士匀, 覃西. 靶向巨噬细胞表达抗菌肽PR39基因抗胞内结核分枝杆菌的研究[J]. 海南医学院学报, 2011, 17(3): 292 - 295.
- [11] 张悦宁, 陈慧敏, 邬强. 结核分枝杆菌rmlA基因的生物信息学分析[J]. 海南医学院学报, 2012, 18(2): 145 - 148.
- [12] 蔡群芳, 邬强, 刘珊, 等. 结核分枝杆菌fbpB基因植物表达载体的构建及鉴定[J]. 海南医学院学报, 2012, 18(3): 289 - 291.
- [13] 李晓荣, 华树成. 聚合酶链反应-单链构象多态性技术鉴别结核分枝杆菌利福平耐药基因[J]. 海南医学院学报, 2007, 13(6): 527 - 529.

(2013 - 12 - 09 收稿)

(上接第 36 页)

教学内容, 提高机能学实验的综合性, 增强学生的临床意识。

#### [参考文献]

- [1] 金惠铭, 王建枝主编. 病理生理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 30 - 46.
- [2] 杨黎黎. 以家兔为对象的高钾血症模型的制备方法[J]. 实验科学与技术, 2011, 9(2): 91 - 93.
- [3] 王晓晴, 杨建宇主编. 医学机能学实验教材[M]. 昆明: 云南大学出版社, 2009: 130 - 135.
- [4] 董雅洁, 陈锴峰, 王经纬, 等. 高钾血症实验动物模型的制备及其应用的进展 [J]. 承德医学院学报, 2009, 26(3): 300 - 303.

- [5] 王洋帆, 程军, 曾强志. 心电图对高钾血症的鉴别意义[J]. 中国医学创新, 2009, 6(24): 128 - 129.
- [6] RYAN WONG, RUPALI BANKER, PAUL ARONOWITA. Electrocardiographic changes of severe hyperkalemia [J]. Hospital Medicine, 2011, 6(4): 240 - 243.
- [7] ANJA LEHNHARDT, MARKUS J, KEMPER, et al. Diagnosis and management of hyperkalemia [J]. Pediatr Nephrol, 2011, 26(3): 377 - 384.
- [8] 赵雨晶, 陈雪, 安英, 等. 机能实验中高钾血症实验的改进[J]. 吉林医药学院学报, 2009, 26(3): 210.

(2013 - 12 - 14 收稿)