

## 实验 12 家兔呼吸运动的调节

### [实验目的与要求]

1. 学习记录家兔呼吸运动曲线的方法
2. 观察缺氧、二氧化碳和血中酸性物质增多等血液理化因素改变对呼吸运动的影响
3. 了解肺牵张反射（黑-伯氏反射）对呼吸运动的调节作用以及迷走神经在此反射中的作用

### [实验原理]

正常肺的通气是由呼吸肌的节律性收缩来完成的，而节律性呼吸运动是由于呼吸中枢不断地发放节律性冲动所致。呼吸中枢通过膈神经和肋间神经的紧张性活动，引起呼吸肌的舒缩活动，从而产生呼吸运动。随着机体代谢需要的变化，通过相应的调节机制，引起呼吸节律产生适应性改变，进而引起肺通气量发生改变以维持血中  $O_2$  和  $CO_2$  含量于正常水平。因此，体内各种刺激可以直接作用于呼吸中枢和（或）通过外周感受器反射性地影响呼吸运动。肺牵张反射是保证呼吸运动节律的机制之一，血液中的  $O_2$ 、 $CO_2$  和  $H^+$  浓度的改变刺激中枢和外周化学感受器，产生反射性调节活动，是维持血液气体成分稳定的重要机制。

本实验中对家兔进行气管插管，使呼出气的一部分流经连接于生理信号采集处理系统的呼吸流量换能器来记录呼吸运动，通过切断迷走神经和施予各种因素，观察呼吸曲线的变化。

### [实验对象与器材]

家兔、哺乳动物手术器械一套、兔手术台、Y 型气管插管、注射器（5 ml、20 ml 各一只）、150 cm 长的橡胶管两根、呼吸流量换能器、张力换能器、RM6240E 多道生理信号采集处理系统、保护电极、万能滑轮、25%氨基甲酸乙酯溶液、 $CO_2$  气囊、钠石灰瓶（一端连接装有空气的气囊）、3%乳酸溶液、10% $NaHCO_3$ 、生理盐水、台氏液、纱布、棉线

### [实验方法与步骤]

1. 麻醉、固定：取一只动物，称重，放于兔保定器中。由耳缘静脉缓慢注入 25%氨基甲酸乙酯（1g / kg 体重），待动物麻醉后，仰卧固定于兔手术台上。

2. 手术操作：剪去颈前部兔毛，沿颈部正中切开皮肤 5~6 cm，用止血钳钝性分离软组织及颈部肌肉，暴露气管，用止血钳分离气管，在环状软骨下 1cm 作倒“T”形切口并插入气管插管，用粗棉线结扎固定。找到气管两侧与之平行的颈动脉鞘，用玻璃分针分离出两侧颈迷走神经，穿线备用。手术完毕后，用温热生理盐水纱布覆盖颈部手术伤口部位。

#### 3. 记录呼吸运动

1) 通过呼吸流量换能器与气管插管连接描记呼吸运动：将气管插管的一侧支管管连接呼吸流量换能器，换能器信号输出端连记录系统 1 通道，气管插管另一侧支管暴露于大气。

2) 用记录膈肌运动的方法描记呼吸运动：切开胸骨下端剑突部位的皮肤，再沿腹白线切开 2cm 左右，打开腹腔。细心分离剑突表面组织，暴露出剑突软骨与胸骨柄，使剑突完全游离，剪断剑突骨柄，此时应保留附于其下方的膈肌组织，使之完好无损。此时可观察到剑突软骨完全跟随膈肌的收缩而自由移动。用长线穿过剑突软骨并结扎或用一穿线的铁夹挂住软骨，线的另一端通过万能滑轮连接于张力换能器和记录系统。

#### 3. 观察项目

- 1) 正常呼吸曲线：

打开程序，从“实验”中找到“呼吸”，选择“呼吸运动调节”实验，记录正常呼吸运动曲线。观察吸气相、呼气相在呼吸曲线上的表现形式，注意呼吸幅度和频率。

2) 增加吸入气中的  $\text{CO}_2$  浓度：将装有  $\text{CO}_2$  的气囊管口通过一细塑料管或玻璃管与气管插管的游离侧支管一起用小烧杯罩住，松开气囊（吸入气中含较多的  $\text{CO}_2$ ，避免气囊内气体直接冲击气道，影响描记结果）的夹子，使部分  $\text{CO}_2$  随吸气进入气管。气体流速不宜过急，以免明显影响呼吸运动。此时观察高浓度  $\text{CO}_2$  对呼吸运动的影响。去掉气囊和烧杯，观察呼吸曲线恢复正常的过程（如无  $\text{CO}_2$  气体，可用“肺泡气”吹入气囊代替）。

3) 缺氧：将一个空的气囊吸进少量空气，中间经一个钠石灰瓶连至气管插管的游离侧支管，让动物呼吸气囊内的少量空气。此时，动物呼出的  $\text{CO}_2$  可被瓶中的钠石灰吸收。随着呼吸的进行，气囊中的  $\text{O}_2$  越来越少，动物逐渐处于缺氧状态。观察此时呼吸运动有何变化？去掉上述条件，观察呼吸恢复正常的过程。

还可连接充有  $\text{N}_2$  气囊的粗针头插入气管插管的游离侧支管内，挤压气囊，注入  $\text{N}_2$ ，观察此时的呼吸曲线变化。移开气囊和烧杯，观察呼吸运动的恢复过程。

4) 增大无效腔：将两个 150 cm 长的橡胶管同时连接于气管插管的游离侧支管和呼吸流量换能器的游离端，让动物经此长管进行呼吸，观察此时呼吸运动的变化。发生明显变化后，去掉橡胶管，观察呼吸恢复过程。

5) 血液中  $\text{H}^+$  浓度升高时的效应：用 5ml 注射器，由耳缘静脉注入 3% 乳酸溶液 2 ml，使血液 PH 值降低，观察此时呼吸运动的变化及恢复过程。如变化不明显，可重复注射一次。

6) 血液中  $\text{H}^+$  浓度降低时的效应：用 5ml 注射器，由耳缘静脉较快地注入 3~5 ml 10%  $\text{NaHCO}_3$ ，使血液 PH 值升高，观察此时呼吸运动的变化及恢复过程。

7) 迷走神经在呼吸运动调节中的作用：先描记一段正常的呼吸曲线，切断一侧迷走神经，观察呼吸运动有何变化；计算呼吸频率的百分数。再切断另一侧迷走神经，观察呼吸运动又有何变化。在此基础上，观察以适当强度和频率电刺激一侧迷走神经中枢端所致的呼吸运动的变化。

8) 肺牵张反射作用：先描记一段正常的呼吸运动曲线，然后把预先抽取 20 ml 空气的注射器连接在气管插管的游离侧支管上。待呼吸平稳后，看准吸气末，徐徐向肺内注入 20ml 空气，与此同时夹闭另一侧支管，使肺保持在持续扩张状态。注意观察呼吸节律的变化和呼吸运动的状态，即是否暂时停止在呼气状态。实验后立即打开夹闭的侧支管，等待呼吸恢复正常。如上，于呼气末用注射器抽取肺内气体 20ml，使肺保持在塌陷状态，观察呼吸的状态有何区别？是否暂时停止在吸气状态，然后立即打开夹闭的侧支管，观察记录呼吸恢复过程。此步用张力换能器法，选做。

### [注意事项]

1. 插管前应注意检查插管口是否光滑通畅。插管时动作应轻巧，避免伤及气管粘膜造成出血而堵塞插管，使动物窒息。
2. 手术过程中，应避免伤及主要血管（如：颈总动脉、颈外静脉等），以防出血。
3. 每一项目均应有正常呼吸曲线作为前后对照。为便于自身对照及互相对照，气管插管的游离侧支管口径应自始至终保持一致。
4. 吸入  $\text{N}_2$  应轻缓，以免全部吸入  $\text{N}_2$  而造成窒息。
5. 耳缘静脉注射乳酸溶液时速度要慢，总剂量不可超过 3ml，以防动物挣扎或酸中毒死亡。
6. 观察肺牵张反射的作用时，注气与抽气时间限于三个呼吸节律的时间。
7. 游离剑突后剪断剑突骨柄时，不能剪得太深，以免造成气胸或剪断下面附着的膈肌。

### [思考题]

1. 分析各项实验结果，缺  $O_2$  及  $CO_2$  增多时对呼吸的影响机制有何不同。
2. 迷走神经在节律性呼吸运动中起何作用。
3. 增加无效腔影响呼吸运动的机制是什么？
4. 血液中酸性/碱性物质增多对呼吸运动有何调节作用？

#### [附注]

##### (一) 肺牵张反射

1868 年 Breuer 和 Hering 发现，在麻醉动物肺充气或肺扩张，则抑制吸气；肺放气或肺缩小，则引起吸气。切断迷走神经，上述反应消失，所以是反射性反应。由肺扩张或肺缩小引起的吸气抑制或兴奋的反射为黑-伯反射 (Hering-Breuer reflex) 或肺牵张反射。它包含两种成分：肺扩张反射和肺缩小反射。

##### 1. 肺扩张反射

肺充气或扩张时抑制吸气的反射。感受器位于从气管到细支气管的平滑肌中，是牵张感受器，阈值低，适应慢。当肺扩张牵拉呼吸道，使之也扩张时，感受器兴奋，冲动经迷走神经走神经粗纤维传入延髓。在延髓内通过一定的神经联系使吸气切断机制兴奋，切断吸气，转入呼气。这样便加速了吸气和呼气的交替，使呼吸频率增加。所以切断迷走神经后，吸气延长、加深，呼吸变得深而慢。

有人比较了 8 种动物的肺扩张反射，发现有种属差异，兔的最强，人的最弱。在人体，当潮气量增加至 800ml 以上时，才能引起肺扩张反射，可能是由于人体肺扩张反射的中枢阈值较高所致。所以，平静呼吸时，肺扩张反射不参与人的呼吸调节。但在初生婴儿，存在这一反射，大约在出生 4~5 天后，反射就显著减弱。病理情况下，肺顺应性降低，肺扩张时使气道扩张较大，刺激较强，可以引起该反射，使呼吸变浅变快。

##### 2. 肺缩小反射

肺缩小时引起吸气的反射。感受器同样位于气道平滑肌内，但其性质尚不十分清楚。肺缩小反射在较强的缩肺时才出现，它在平静呼吸调节中意义不大，但对阻止呼气过深和肺不张等可能起一定作用。

## 实验 13 消化管的运动及其影响因素

#### [实验目的与要求]

观察在体条件下消化管的运动情况以及神经体液的调控作用

#### [实验原理]

消化管的不同部位，其组织结构各异，运动形式也有差别。在体内，消化管的活动受植物性神经(包括交感和副交感神经)、胃肠壁内神经丛和体液因素的调节和影响。(如图 13-1)

#### [实验对象与器材]

兔（实验前需喂食）、常用手术器械、保护电极、刺激器、注射器、手术台、25%氨基甲酸乙酯、肾上腺素（1mg/ml）、乙酰胆碱（1mg/ml）、阿托品（0.5mg/ml）

### [实验方法与步骤]

1. 家兔称重，用 25%氨基甲酸乙酯经耳缘静脉注射麻醉（1g / kg 体重）后，背位固定于兔手术台上。剪去颈部和腹部的被毛。沿颈部正中线切开皮肤，钝性分离肌肉和结缔组织，找出一侧迷走神经，穿双线备用，自甲状软骨环下 3~4cm 处作气管插管，自气管插管头端剪断气管。将气管连同插管一起拉至一侧，露出食管，以便观察食管的运动。

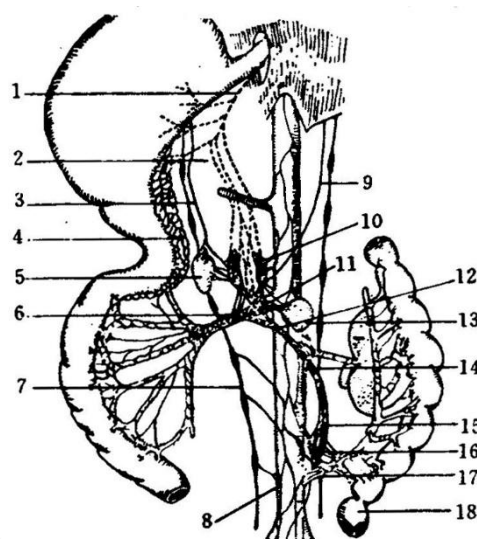


图 13-1 兔腹腔内交感神经

（图片来源：参考文献[3]，第 106 页，图 8—3）

1. 背侧迷走神经干，2. 分布至腹腔的迷走神经支，3. 右侧内脏大神经，4. 胰脏，5. 肾上腺（右侧），6. 肠系膜颅侧（神经）丛，7. 交感（神经）干，8. 腹主动脉，9. 左侧内脏大神经，10. 左侧腹腔神经节，11. 前肠系膜神经节，12. 肠系膜间神经束（颅侧部），13. 肾上腺（左侧），14. 肠系膜间神经束（中间束），15. 肠系膜间神经束（尾侧部），16. 后肠系膜神经节，17. 后肠系膜神经丛，18. 小直肠

### 2. 实验观察

- 1) 观察正常情况下食管有无蠕动。
  - 2) 用中等强度的连续脉冲直接刺激食管，观察有何反应。
  - 3) 刺激迷走神经，观察有无吞咽活动及食管蠕动发生。
  - 4) 将一侧迷走神经剪断，分别刺激其中枢端和外周端，观察食管的反应有何不同。
3. 将腹部的被毛剪去，自剑突沿腹中线切口，剖开腹腔，露出胃和肠。在膈下食管的末端找出迷走神经前支，套上保护电极。在左侧腹后壁肾上腺的上方找出左侧内脏大神经，套上保护电极。观察下列实验项目：
- 1) 观察正常情况下胃和小肠的运动，注意其紧张度（可用手指触胃以测其紧张度）。
  - 2) 用中等强度的连续脉冲刺激膈下迷走神经，观察胃肠运动的变化。
  - 3) 用中等强度的连续脉冲刺激左侧内脏大神经，观察胃肠运动的变化。
  - 4) 由耳缘静脉注射乙酰胆碱 0.2~0.3mg，观察胃肠运动的变化。
  - 5) 在乙酰胆碱作用的基础上，由耳缘静脉注射阿托品 0.5mg，再观察胃肠运动的变化。

### [关键技术]

正确寻找和分离相关神经

**[注意事项]**

1. 为避免腹腔内温度下降及消化管表面干燥影响胃肠运动，应经常用温热的生理盐水湿润。
2. 实验过程中要进行多次注射，应注意保护兔耳缘静脉。可将头皮针插入耳缘静脉，用胶布固定，进行注射。并经常从头皮针注射少量生理盐水，以免针头堵塞。

**[思考题]**

1. 正常情况下，食道、胃、小肠和大肠的运动有哪些形式？
2. 迷走神经和内脏大神经对胃肠运动有什么作用？

**[创新与探索]**

试设计实验，研究迷走神经和内脏大神经分别释放什么神经递质来影响胃肠的运动？可以从受体方面考虑。

**[参考文献]**

- [1] 动物生理学实验.清华大学生物科学与技术系生理教研室
- [2] 张镜如主编.生理学.人民卫生出版社.1998
- [3] 陈其才、严定有、吴政星编著.生理学实验.科学出版社.1995
- [4] 解景田、赵静主编.生理学实验.高等教育出版社.2001
- [5] 陈守良编著.动物生理学.北京大学出版社.1996