

兰州大学

# 毕 业 论 文

(本 科 生)

论文题目（中文） 工频电磁场下 B 族维生素对小鼠空间  
记忆和死亡率的影响

论文题目（外文） EFFECTS OF B VITAMINS ON  
SPATIAL MEMORY AND  
MORTALITY IN MICE EXPOSED  
TO POWER FREQUENCY  
ELECTROMAGNETIC FIELDS

学 生 姓 名 赵晟凯

导师姓名、职称 王建林 教授

学生所属学院 生命科学学院

专 业 生物科学

年 级 2016

兰州大学教务处

## 工频电磁场下 B 族维生素对小鼠空间记忆和死亡率的影响

### 摘 要

随着生活水平的提高,人们更加注重自身健康,近些年发生了许多由于误解而抵制变电站修建的事件,本实验旨在研究一定强度工频电磁场是否会造成危害,和 B 族维生素可能起到的保护作用。主要通过 在  $100\pm 10\ \mu\text{T}$  工频电磁场下饲养小鼠,设置喂食 B 族维生素的实验组,并设置对照,通过 Morris 水迷宫实验进行小鼠空间记忆学习能力的测试,实验未见工频电磁场对小鼠的空间记忆学习能力造成明显的影响,但发现喂食 B 族维生素的小鼠空间学习记忆成绩变化趋势相对较为稳定。

**关键词:** 工频电磁场; B 族维生素; Morris 水迷宫

# EFFECTS OF B VITAMINS ON SPATIAL MEMORY AND MORTALITY IN MICE EXPOSED TO POWER FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS

## Abstract

With the improvement of living standard, people pay more attention to their own health. In recent years, there have been many incidents of resistance to the construction of substation due to misunderstanding. This experiment aims to study whether certain intensity of power-frequency electromagnetic field can cause harm, and the possible protective effect of B vitamins. The mice were kept under  $100 \pm 10 \mu\text{T}$  of power-frequency electromagnetic field and fed with B vitamins in the experimental group, and the control group was set. The spatial memory learning ability in mice was tested by Morris water maze experiment. No significant influence of power-frequency electromagnetic field to spatial memory learning ability in mice was observed in the experiment. However, it was found that the variation trend of spatial memory performance of mice fed B vitamins was relatively stable.

**Keywords:** Power frequency electromagnetic field; Vitamin B; Morris water maze

目 录

中文摘要.....I

英文摘要.....II

第一章 引言.....1

第二章 材料及方法.....2

    1. 实验材料.....2

    2. 实验仪器.....2

    3. 工频电磁场发生器工作原理及制作.....2

    4. 小鼠饲养及处理.....5

    5. Morris 水迷宫实验.....5

第三章 结果.....8

    1. 实验动物死亡统计.....8

    2. Morris 水迷宫结果统计分析.....8

第四章 讨论.....11

参考文献.....13

致 谢.....14

## 一、引言

根据 WHO 对极低频电磁场长时间暴露风险的关注和给出的相关研究建议<sup>[1]</sup>，并且随着电器在人们生活中的使用密度越来越高，人们也越来越多地暴露在电磁场的影响之中。为此各地发生了许多有关居民抗议修建变电站的新闻，然而变电站的修建对于该地区居民的用电保障有着极其重要的意义，盲目的抵制修建变电站，最终受害的还是当地居民。此外从事电力行业等相关的人群每天也不可避免的会暴露在一定强度的电磁场下。有研究<sup>[2]</sup>显示，B 族维生素，特别是维生素 B<sub>6</sub>、B<sub>12</sub> 可以保护神经元免受特定的伤害<sup>[3]</sup>。因此为了一定程度解答大众的担忧，并为相关从业人员提供一些相关的建议设计了相关实验来验证工频电磁场（工频电磁场：由电器产生的电磁场，常见的均为 50Hz 交流电所产生属于极低频电磁场。）是否会对生物大脑活动产生影响，并添加 B 族维生素作为实验变量，旨在探明在国家安全标准阈值磁场下工频电磁场是否会对小鼠的空间学习记忆能力产生影响，同时研究 B 族维生素是否对其能起到保护作用。本实验利用英国心理学家 Morris 于 1981 年所设计的 Morris 水迷宫（MWM）研究小鼠空间学习记忆能力<sup>[4]</sup>，该方法有较为广泛的实验与理论基础，故采用该装置进行实验作为评估小鼠受工频磁场及 B 族维生素影响的判断依据。

## 二、材料及方法

### 1. 实验材料

选用出生 3-4 周的昆明种小白鼠和汤臣倍健产 B 族维生素片(功效成分见下表);

表 1. 汤臣倍健产 B 族维生素片功效成分及含量

项目	每 500mg 含量	项目	每 500mg 含量
维生素 B1	1.5mg	烟酰胺	9.0mg
维生素 B2	1.5mg	叶酸	190.0 $\mu$ g
维生素 B6	1.5mg	生物素	20.0 $\mu$ g
维生素 B12	2.2 $\mu$ g	泛酸	4.0mg

实验室用标准鼠粮; 英雄牌 204 碳素墨水。

### 2. 实验仪器

自制工频电磁场发生器; 高斯表台湾泰仕 TES-1390; 自制 Morris 水迷宫; 标准鼠笼。

### 3. 工频电磁场发生器工作原理及制作

#### 3.1 电磁场生成原理

根据安培定则可知, 通电导体周围会产生以导体为中心的规律磁场, 因而当多条导线按规律紧密排列在绝缘的内管外壁时, 多条导线的磁场产生叠加效应。此外产生的磁场跟电流和线圈匝数成正比例关系, 因而设置两个滑动电阻通过调节干路与支路的阻值大小可以调节两个线圈各自的电流大小, 从而产生了实验所需的电磁场。

### 3.2 工频电磁场发生器总电路示意图

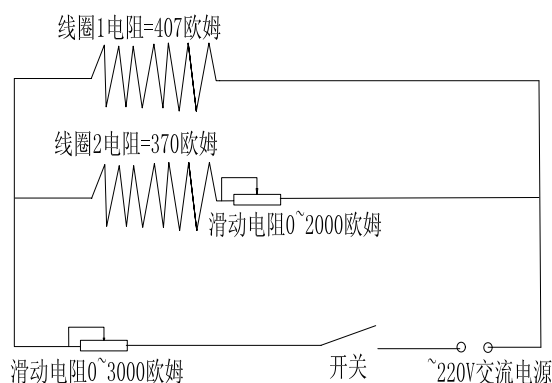


图 1. 工频电磁场发生器总电路示意图

### 3.3 磁场发生线圈

线圈 1：内管 PVC 塑料管 DN315 长度 1m，外部缠绕直径 0.35mm 漆包铜线长度约 2,200m，测定电阻为 407 欧姆，漆包铜线引出线利用压接式端子排引出，外部连线通过端子排连接。内部为放置实验鼠笼 1#、2#。

线圈 2：内管 PVC 塑料管 DN315 长度 1 米，外部缠绕直径 0.35mm 漆包铜线长度约 2,000m，测定电阻为 370 欧姆，漆包铜线引出线利用压接式端子排引出，外部连线通过端子排连接。内部为放置实验鼠笼 4#、5#。



图 2. 线圈内部大体构造图（线圈 1、线圈 2 内部结构大体一致）

### 3.4 线圈外部保护装置

安全保护管套制作：在实验过程中为了防护人员或动物误触线圈，在线圈的

外部加装 PVC 塑料管 DN400 长度 1m，并在安全保护管壁上开 $\phi 10$ 孔，孔距约 50~70mm，以便于线圈散热，内外塑料管之间使用 M8\*65 螺栓连接固定，管壁之间采用聚苯烯保温材料做为垫片，每个管口使用 4 条连接螺栓，具体见照片如下。

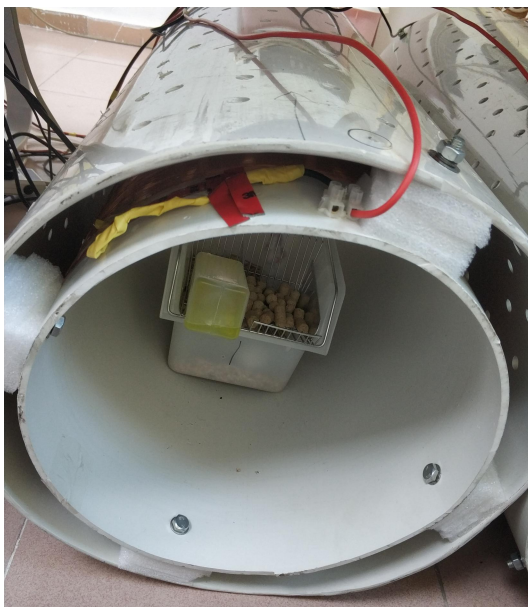


图 3. 线圈外部保护装置（内层为工作线圈及电路，里面放置鼠笼）

### 3.5 配电箱

220V 交流电通入带开关的三孔插座 220V/16A，干路连接大功率负载瓷盘式滑动电阻器 500W 0~3,000 欧姆，通过压接式端子排并联两个线圈，线圈 2 串联大功率负载瓷盘式滑动电阻器 300W 0~2,000 欧姆。

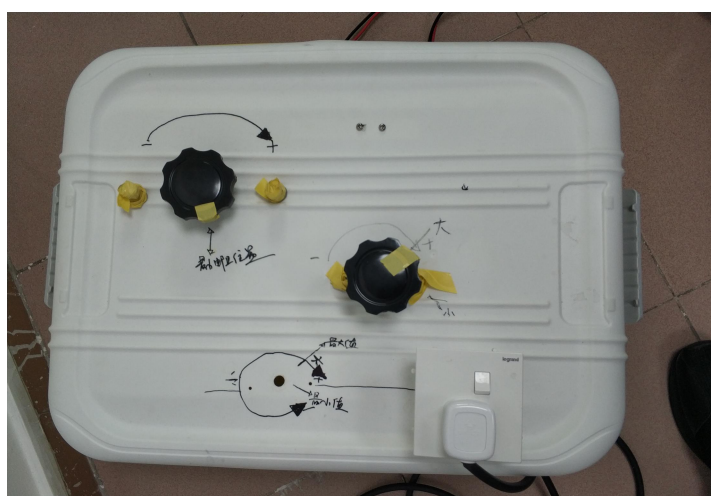


图 4. 配电箱



4.小鼠饲养及处理

实验第 1 天，1~3#笼喂养雌鼠，4~6#笼喂养雄鼠，3#、6#笼每笼饲养 4 只小鼠，1~2#与 4#笼每笼饲养 3 只，5#笼饲养 4 只，每笼均喂食充足鼠粮和饮用水，3#、6#笼放置在无外加磁场的正常空间作为对照组，其余 1#、2#、4#、5#笼均放置在 50Hz 100  $\mu$  T $\pm$ 10  $\mu$  T 的外加磁场中每天定时处理 5h，在 Morris 水迷宫实验开始前先处理 3 天。同时参考魏伟《药理实验方法学》第四版<sup>[5]</sup>中种间等效剂量折算表，实验开始第 1 天在 1#、4#笼中小白鼠的饮用水中添加适量研磨至粉末状的 B 族维生素补充剂，每次换水定期更换，作为工频电磁场处理+喂食 B 族维生素组。2#、5#笼小鼠作为工频电磁场处理组。

表 2. 种属间等效剂量折算表

	小鼠 (20g)	大鼠 (200g)	豚鼠 (400g)	兔(1.5kg)	猫(2.0kg)	猴(4.0kg)	犬(12kg)	人(70kg)
小鼠	1.0	7.0	12.25	27.8	29.7	64.1	124.2	387.9
大鼠	0.14	1.0	1.74	3.9	4.2	9.2	17.8	56.0
豚鼠	0.08	0.57	1.0	2.25	2.4	5.2	10.2	31.5
兔	0.04	0.25	0.44	1.0	1.08	2.4	4.5	14.2
猫	0.03	0.23	0.41	0.92	1.0	2.2	4.1	13.0
猴	0.016	0.11	0.19	0.42	0.45	1.0	1.9	6.1
犬	0.008	0.06	0.10	0.22	0.23	0.52	1.0	3.1
人	0.0026	0.018	0.031	0.07	0.078	0.06	0.32	1.0

举例：由大鼠换算成犬的剂量，12kg 犬于 200g 大鼠相交处为 17.8 倍，如某药大鼠剂量为 250mg/kg，200g 大鼠给药 250 $\times$ 0.2=50mg，于是： $\frac{50\times17.8}{12}$ =74mg/kg(犬的适当试用剂量)。

表 3. 小鼠实验处理直观图

笼号	1	2	3	4	5	6
工频电磁场处理	√	√		√	√	
饮水中添加 B 族维生素	√			√		

注：“√”为经过相应处理，空格为未经过相应处理。

5.Morris 水迷宫实验

5.1 Morris 水迷宫规格

水迷宫选取高 0.8m，直径 1m 的白色塑料不透明水池，在池壁内侧高 0.4m

四个间隔相同且对称的位置用黑色马克笔分别画上直径大约 15cm 清晰截然不同的 4 个简单几何图案作为参照物,任意选取一个不靠近池壁的固定位置放置直径 6.5cm 高 12cm 的粗糙平台,水池正上方有一盏大型白色 LED 灯在实验进行中全程开启确保实验环境光照稳定。

## 5.2 Morris 水迷宫可视平台实验

实验第 4 天,经过 5h 工频电磁场处理后,为确保实验小鼠能在后续实验中正常找到平台,故将平台露出水面越 1cm,在未加入墨水,在同一固定位置将小鼠放入水池,实验发现所有小鼠均能无困难的找到平台。

## 5.3 Morris 水迷宫定位巡航实验

实验第 5 天,在水池中加水至 13cm (实验期间定期确定水位在合适高度),并放入适量墨水搅匀至平台不可见,在磁场处理 2h 后为安全起见短暂关闭电源 (不超过 30s) 以取出 1 笼小鼠,将该组事先编号的小鼠从 4 个不同象限固定的位置面朝池壁放入水中开始计时,找到平台后停止计时作为本次学习成绩,之后使其在平台上停留 10s 休息,如果 120s 内未找到平台则记为 120s 并引导其到平台上休息 10s,在平台上休息 10s 后统一休息 5s 后进行下一次实验,在 4 个不同象限完成实验后擦干身体将其放回笼中,之后对笼中剩余小鼠重复操作,之后再短暂关闭电源将该笼小鼠放磁场中继续处理至当日 5h 磁场照射完成,并同时取出下一笼重复实验操作,最后进行对照组 3#、6#笼的实验。当天实验结束取每笼小鼠平均时间作为该笼小鼠当天学习成绩,并将同组两笼各自的平均成绩再次取平均后作为该实验组的当天学习成绩,此计算方法可避免在实验中因雄鼠意外死亡导致雄鼠成绩权重降低。之后 4 天重复第 2 天操作,对小鼠进行相同处理并记录统计学习时间,该实验一共进行 5 天。

## 5.4 Morris 水迷宫空间探索实验

实验第 10 天,在小鼠经过 5h 工频电磁场处理后且在定位巡航实验结束 24h 后撤除平台,取出一笼小鼠其中一只,在平台所在象限对角象限固定位置将小鼠面朝池壁放入水池记录通过摄像机记录其 120s 内活动轨迹,之后放入另一空余鼠笼,之后取出另一只小鼠重复上述操作,该笼所有小鼠完成实验后,对后续笼小鼠进行相同操作,之后处死实验小鼠统一处理。最后通过视频统计小鼠穿越平台所在象限和平台所在位置次数,取每笼小鼠平均次数作为该笼小鼠当日成绩,

并将同组两笼各自的平均成绩再次取平均后作为该实验组的当日成绩。

### 三、结果

#### 1. 实验动物死亡统计

实验进行第 4 天开启磁场前发现 5#笼一只小鼠死亡，生殖器损毁严重，推测为打斗致死。

实验进行第 5 天开启磁场前发现 5#笼一只小鼠死亡，生殖器损毁严重，推测为打斗致死。

实验进行第 6 天开启磁场前发现 6#笼一只小鼠死亡，头部尾巴见多处外伤，推测为打斗致死。

实验进行第 9 天开启磁场前发现 4#笼一只小鼠死亡，身体未见明显外伤，前一日表现正常，死因不明。

实验进行第 10 天开启磁场前发现 5#笼一只小鼠死亡，生殖器损毁严重，推测为打斗致死。

实验中由于已知雄性小鼠更容易发生打斗，为了备选故在 5#笼中养殖了 4 只雄鼠，但仍在合理密度内。最终实验结果显示在工频电磁场处理过程中 5#笼共死亡 3 只雄鼠且生殖器均有严重损伤推测为打斗致死，而同样经过工频电磁场处理且喂食了 B 族维生素的 4#笼仅死亡 1 只雄鼠且身上无明显外伤，而 6#笼未经工频电磁场处理且未喂食 B 族维生素并且也养殖了 4 只雄鼠，但最终仅死亡 1 只雄鼠，虽头部和尾巴有多处外伤，但未发现严重外伤。而有文献表明维生素 B6 复合其他 B 族维生素有助于在一些情况下降低动物压力和皮质醇浓度<sup>[6]</sup>，而皮质醇浓度水平又公认与压力水平相关，因此有理由猜测喂食 B 族维生素可能有助于减少小鼠攻击性行为，结合 5#笼死亡数据统计，工频电磁场处理可能会影响小鼠死亡率，根据死亡小鼠所受外伤，猜测工频磁场会促进小鼠的攻击性行为，但具体结论仍需进一步实验。

#### 2. Morris 水迷宫结果统计分析

##### 2.1 Morris 水迷宫定位巡航实验结果统计分析

进行水迷宫定位巡航实验结果统计分析前先删除定位巡航实验过程中死亡小鼠数据，表 4 为各实验组每日潜伏期值，经过 SPSS24.0 软件配对 t 检验分析

后仅工频电磁场处理+喂食B族维生素组与工频电磁场处理组配对t检验的 $P < 0.05$ ，差异显著，其他组别之间 $P > 0.05$ ，差异均不显著，结合图5和图6分析可见工频电磁场处理对小鼠在定位巡航实验中的表现影响并不明显，但从表4和图5、图6的分析可见喂食了B族维生素的实验组Morris水迷宫每日学习成绩变化更加稳定，由此可见B族维生素对小鼠空间学习记忆有一定的影响。

表4. Morris水迷宫定位巡航实验各组每日各组潜伏期

天数	工频电磁场处理 +		
	喂食B族维生素组	工频电磁场处理组	对照组
第一天	100.05s	86.75s	97.30s
第二天	91.85s	90.92s	70.70s
第三天	77.28s	59.00s	56.35s
第四天	73.90s	49.00s	74.82s
第五天	76.82s	46.62s	68.00s

注：本实验所有数据均采用四舍六入五成双规则初步处理。

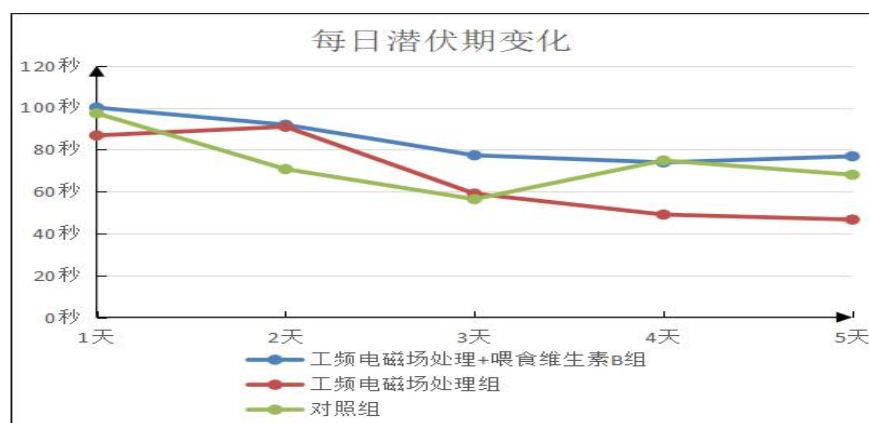


图5. Morris水迷宫定位巡航实验各组每日潜伏期平均值变化

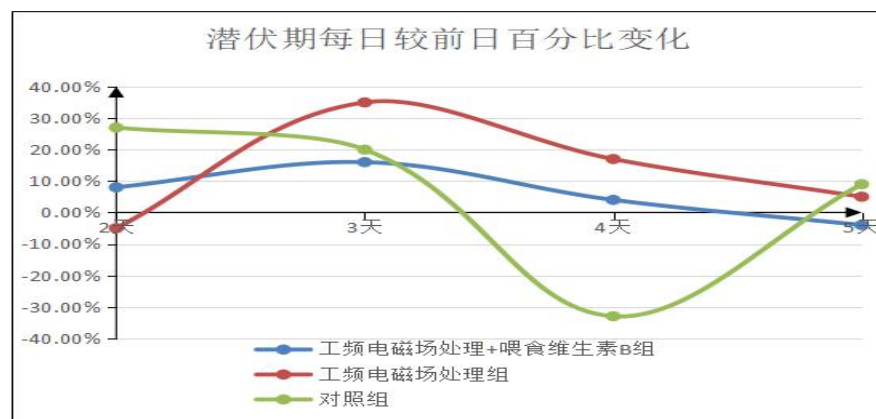


图6. Morris水迷宫定位巡航实验各组每日潜伏期较前日百分比变化

注：计算公式：当日百分比变化 =  $\frac{\text{当日该组潜伏期平均值} - \text{前日该组潜伏期平均值}}{\text{前日该组潜伏期平均值}} \times 100\%$ ，之后按照四舍六入五成双规则保留百分位后两位。

## 2.2 Morris 水迷宫空间探索实验结果统计分析

表 5 实验数据发现工频电磁场处理的实验组小鼠穿越平台所在象限次数的平均值明显高于工频电磁场处理+喂食 B 族维生素组，但穿越平台所在位置的次数各实验组并没有明显的差异，结合之前的定位巡航实验可见一定强度的工频电磁场处理在本实验中不会削弱小鼠的空间学习记忆能力的。但考虑到平台固定位置并不在所在象限的中心，因而穿越象限次数这项数据本身并不具备足够的说服力。

表 5： Morris 水迷宫空间探索实验各组小鼠穿越特定区域次数平均值

区域	工频电磁场处理 +		
	喂食 B 族维生素组	工频电磁场处理组	对照组
穿越平台所在象限	6.6 次	8.0 次	6.8 次
穿越平台所在位置	2.2 次	2.8 次	2.8 次

## 四、讨论

实验发现,工频电磁场处理+喂食B族维生素组在Morris水迷宫定位巡航实验中除最后一天成绩较前一天略有下降,其余每日潜伏期均较前日有所降低,参考图5、图6其它实验族成绩变化考虑可能是由于多日训练潜伏期已达到最短值,故由于偶然因素存在小幅度波动属于接受范围内,尽管图5每日潜伏期平均值变化中工频电磁场处理+喂食B族维生素组成绩并不显著优于其他组,但根据相关研究表明维生素B6确实可通过调节脑中单胺类神经递质水平,影响大鼠学习记忆能力<sup>[7]</sup>。因此进一步结论仍然需要更多实验才能得出。

此外工频电磁场处理+喂食B族维生素组未发现有死于明显外伤的小鼠,前面提到有研究表明维生素B6在东北虎身上能够起到降低皮质醇浓度和压力水平的作用,而一般认为在压力水平较高时动物更容易发生攻击性行为,结合实验数据,推测适当喂食B族维生素可能有助于减少小鼠发生种内互相攻击行为。

此外删除定位巡航实验过程中死亡小鼠数据后,根据性别将各笼Morris水迷宫可视平台实验每日潜伏期的平均值按性别再次进行平均计算绘制成统计图图7,其中雌/雄每日潜伏期平均值变化显示雄性表现较雌性小鼠有一定的优势,虽然SPSS24.0软件配对t检验分析后 $P=0.079>0.05$ 结果并不显著,然而有研究显示相同年龄的雄性大鼠的潜伏期低于雌性<sup>[8]</sup>,该结果最终能否适用于小鼠还有待进一步实验。但考虑到雄鼠本身更容易发生打架,也更容易受伤或死亡,因而在以性别为基准进行平均值计算时雄鼠如果数量过少会导致实验偏差过大,如果有关雄性小鼠在Morris水迷宫中的表现优于雌性小鼠的结论成立的话会导致偏差进一步加大,所以对今后实验提出以下建议:(1)尽量减少雄鼠的饲养密度,必要时可以将每只小鼠分隔开单独饲养,此外在多只同笼饲养时应确保鼠粮和饮用水的充足,从而尽量减少雄鼠为领地、食物、饮用水产生打斗。(2)尽量使同笼的雄鼠从幼年就在一笼饲养,培养其内部社会关系,从而尽量避免打斗发生。(3)考虑到雄鼠易发生打斗,死亡率较高实验时可适当增大雄鼠的比例,待试验结束后,从存活雄鼠中用产生随机数的方法随机选取等同于雌鼠数量的雄鼠进行Morris水迷宫相关实验数据处理,或者将雄鼠雌鼠数据分开处理。

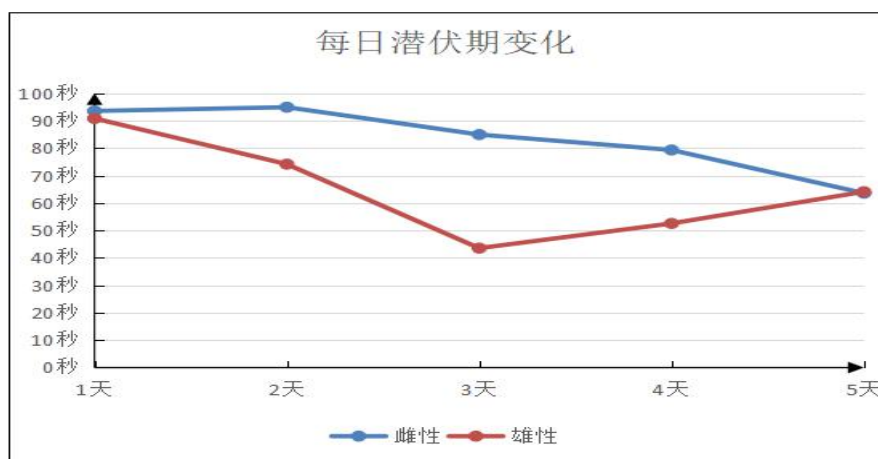


图 7. Morris 水迷宫定位巡航实验雌/雄每日潜伏期平均值变化

虽然上述建议能一定程度减少实验误差,但从小鼠死亡的记录中可以看到工频电磁场处理组的 5#笼中的雄鼠在整个磁场处理过程中共出现 3 只可能因打斗致死的个体,远多于其它实验组,并且工频电磁场处理+喂食 B 族维生素组的小鼠未出现外伤致死的个体,因此实验中打斗本身有可能是受实验条件处理影响的结果。此外生存下来的往往是身体比较健康、强壮的,亦可能是受磁场影响较小的群体,因而如果最终删除死亡小鼠的数据则可能导致实验结果出现偏差,但如果不删除死亡小鼠的数据,则会导致 Morris 水迷宫实验所得数据的变量过多,难以处理,因此应该在扩大样本和维生素 B 浓度梯度的基础上结合动物死亡率、死亡原因,皮质醇浓度检测,大脑切片观察等手段综合分析以期得到可靠结论。

此外不同小鼠个体差异较大,存在部分小鼠游泳能力较差,或者行为模式不同,例如部分小鼠游泳能力过差,可能在实验途中出现溺亡危险需要终止实验,而部分小鼠游泳能力过强入水后经一段时间尝试发现无法逃脱后偏向于悬浮于水面上,另外亦有小鼠在入水后一直沿桶壁巡游,尝试找到出口,故应实验开始之前不但要进行露台实验检验小鼠视力,还应该进行一段时间的统一游泳训练确保小鼠们均有一定的游泳能力,并使其熟悉环境,避免实验开始后意外状况的发生,并提前剔除那些入水后长时间静止浮水或一直沿桶边巡游无法引导到平台上的小鼠。

另外在 Morris 水迷宫定位巡航实验过程中,每次小鼠在平台停留 10s 钟后,应擦干并使其在舒适环境中有更长时间的休息,尽可能避免小鼠对登陆平台和重新入水的记忆形成联系,操作时也应尽量轻柔避免造成慢性心里应激<sup>[9,10]</sup>或急性心里应激而影响小鼠空间记忆能力<sup>[11]</sup>,否则可能导致其再次寻找平台的动力下降,进而影响小鼠在接下来实验中的表现。

Morris 水迷宫空间探索实验中统计小鼠穿过所在象限次数的方式受平台所处位置的影响并不能作为反应小鼠空间学习记忆能力的准确参数,必须结合其它相关数据如穿越平台所在空间次数<sup>[12]</sup>及停留时间,Morris 水迷宫定位巡航实验等其它相关实验的数据才能得出有效结论。本实验由于受限于实验时间和实验地点,故未能完全发挥本套实验设备的作用,如果进行后续实验,推荐扩大实验样本规模,增设 B 族维生素实验组浓度梯度,选取更加合适的药物,进行灌胃操作,并优化 Morris 水迷宫实验操作从而得到更加准确的实验数据,同时还可以结合其它检测手段,进而得出有关工频电磁场及 B 族维生素对小鼠影响的准确结果。



## 参考文献

- [1] 世界卫生组织, 杨新村 (译者), 李毅 (译者). WHO “国际电磁场计划” 的评估结论与建议[M]. WHO, 2008.
- [2] Geng MY, Saito H, Katsuki H. Effects of vitamin B6 and its related compounds on survival of cultured brain neurons[J]. *Neurosci Res*, 1995: 24:61~65.
- [3] 徐锐, 宋学军. B 族维生素的镇痛和神经保护作用[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2019, 19 (10) :611.
- [4] Morris RGM. Spatial localization does not require the presence of local cues[J]. *Learn Motiv*, 1981, 12:239.
- [5] 魏伟, 吴希美, 李元建. 《药理学实验方法学》第四版[J]. 人民出版社, 2010.
- [6] Zhenglei Q, Jianzhang M. Effect of sedative drugs with vitamin B6 combined with other B vitamins in the anti stress of captive amur tiger[J]. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2018, 31(3(Special)):1119.
- [7] 洪燕, 王冬兰, 李树田. 维生素 B6 缺乏对大鼠学习记忆的影响及有关机制的探讨[J]. *中华行为医学与脑科学杂志*, 2000, 009(002):94.
- [8] 范小兰, 王玮, 赵小贞. 年龄、性别因素对大鼠 Morris 水迷宫测试成绩的影响[J]. *福建医科大学学报*, 2003(01):58-59.
- [9] Lucaasen PJ, Fuchs E, Czeh B. Antidepressant treatment with tianeptine reduces apoptosis in the hippocampal dentate gyrus and temporal cortex[J]. *Biol Psychiatry*, 2004, 55(8):789-796
- [10] 郑金炽, 林贤浩. 慢性应激动物模型研究进展[J]. *四川精神卫生*, 2010(2):-I0005.
- [11] 邹涛, 程明, 朱熊兆, 等. 急性心理应激对小鼠记忆的影响[J]. *中华行为医学与脑科学杂志*, 2005, 014(001):23-25.
- [12] 封敏, 卢圣锋, 张承舜, 等. 国内大鼠 Morris 水迷宫实验现状与分析[J]. *辽宁中医杂志*, 2011, 038(011):2170-2172.

## 致 谢

在本科毕业论文完成之际，回顾这大学四年一路走来我感慨良多，这四年中有困难更有欢乐，当初我刚进大学之际只是一个懵懂的少年，是兰州大学陪伴我一路成长，她不但教授了我诸多专业知识，更是作为我进入社会前的导师教会了我许多做人的道理。借此机会，我首先要对四年来在兰州大学帮助过我的各位老师表达最深厚的感谢，你们不但是我进入研究领域的领路人更是我踏入社会的指路灯，其次我也要四年来一直陪伴着我的同学表达最真挚的感谢，是你们的四年陪伴让我再次加深了对友谊的认识，让我这四年的大学时光充满了欢乐。

在毕业设计工作期间，我的指导老师王建林教授严谨的治学风格，富有启发性的教育方式使我深受启发，也令我受益终生，今后我将继续砥砺前行、不忘初心，继续发扬毕业设计期间老师对我的敦敦教诲在科研的道路上继续努力。此外我还要感谢父母在我毕业设计期间帮助我共同制造实验仪器，没有你们的帮助我自己绝对无法在这么短的时间内完成如此繁重的仪器制造任务。

最后我衷心祝愿所有帮助过我的人工作顺利、事业有成！也祝愿母校兰州大学越办越好，桃李满天下！