**人体生物电——脑电、心电、肌电**

【背景知识】

在大脑在活动时，活动的神经细胞有电流通过，并会产生电位波动。在头皮表面可以记录到神经细胞群体电位波动的总和，这就是脑电波（Electroencephalogram，EEG）,它反映了大脑活动时的电波变化。脑电波同步节律 的形成与皮层丘脑非特异性投射系统的活动有关。记录脑电波是脑科学研究的一种基本技术，脑电波监测也广泛运用于医疗临床实践中。

心电（Electrocardiogram，ECG）：心脏周围的组织和体液都能导电，因此可将人体看成为一个具有长、宽、厚三度空间的容积导体。心肌细胞的动作电位好比电源，无数心肌细胞动作电位变化的总和 可以传导并反映到体表。由于心脏活动产生的电位变化在空间分布上是不均匀的，所以这些电位传导到体表不同位置时也存在着电位差。心脏在每个心动周期中，由起搏点、心房、心室相继兴奋，伴随着生物电的变化，这些生物电的变化称为心电。

肌电图（Electromyography，EMG）是记录神经和肌肉生物电活动以判断其功能的一种电诊断方法。检查时将电极贴在皮肤表面或者插入肌肉，通过放大系统将肌肉在静息和收缩状态的生物电流放大，再 由示波器显示出来。肌肉在正常静息状态下，细胞膜内为负电位，膜外为正电位；肌肉收缩时，细胞膜通透性增加，大量正离子转移到细胞内，使细胞 膜内、外与静息时呈相反的电位状态。于是收缩与未收缩肌纤维间产生电位差，并沿机体组织扩散。

【实验目的】

1 了解脑电、心电、肌电的生理意义。

2 讨论在各种不同生理状态下脑电、心电、肌电的变化。

【实验用具】

ION2.0 便携式生物电综合记录仪

【实验步骤】

观察清醒时和闭眼时脑电图的变化。 观察静止时和运动时心电图的变化。 观察静止时和提重物时肌电的变化。

【实验结果】

试画出清醒时和闭眼时脑电图的变化。

试画出静止时和运动时心电图的变化。

试画出静止时和提重物时肌电的变化。

【问题和讨论】

1 大家觉得除了脑电心电肌电外，人体在别的哪些地方还有生物电的存在。

2 为什么我们周围的电磁波没有对我们的行为和思想产生干扰。

**脑电对抗**

【背景知识】

构成大脑的神经元的细胞膜有电兴奋性，会自发的或应答外界刺激而放电，导致它们细胞膜电压在波动，在头皮贴上电极，我们仍能够测量到这些微弱的电 压的波动，只不过在头皮测到的电压反映了很多神经元的电压的平均值。将这些 微弱的信号放大，我们就能够看到它们的波动，就是所谓的脑电波，其幅值范围为10-100μV。当大脑处于不同的状态，这些波的形状会有些改变。（如图1所示）

当脑组织发生病理或功能改变时，这种曲线也会发生相应的改变，从而为临床诊断治疗大脑及神经系统疾病，如畸形中枢神经系统感染，颅内肿瘤与慢性病 变，脑血管疾病，脑损伤及癫痫等提供依据。

利用傅里叶变换，可以得到脑电的信号各个频率的强度。通过计算脑电中不同频率的强度变化，我们就可以得知大脑的运转状态。

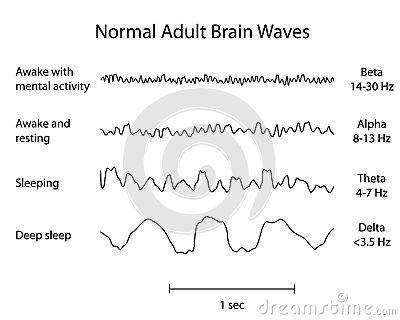
脑电对抗利用了 gamma 波（大于30 Hz，主要在大脑接受外界刺激或执行任务，比如心算算术，做计划时，这种状态大脑神经元放电快，信息交流快，gamma波 能量高）和alpha波（8-13Hz，这种状态大脑比较放松，没有处理信息，神经 元处于自发放电）的能量比，当gamma波能量高时，说明大脑高速运转，注意力集中处理信息。

图 1 不同状态下的脑电波

【实验目的】 理解并记录脑电波，理解脑电对抗游戏的原理，深入理解脑电波。

【实验用具】

ION2.0 便携式生物电综合记录仪，电脑，游戏软件

【实验步骤】

1、 记录脑电信号，观察在闭眼放松和算算术的条件下，脑电波频率的差别（搭档帮忙记录）

2、 玩脑电对抗游戏

【问题和讨论】

1. 放松时，脑电波形频率快/慢？

心算算术时，脑电波形频率快/慢？

1. 玩脑电对抗游戏时，如何才能使赢的机会增大？

**“发光”的肌肉**

【背景知识】

人机接口在人体和电子设备之间建立起信息传输和控制指令的通道，从工程学的角度构建“信息输入-运算-输出”这一行为链条。可以在不完全了解人体机能和工作原理的情况下，完成感知-运动行为。

人机接口主要包括三部分：信号采集系统，信号处理系统和外部设备。

信号采集系统需要收集大脑或外周神经系统的指令。在脑机接口中，其大体可分为非侵入式和侵入式两种。非侵入式中较多使用脑电图（EEG），同时还有脑磁图（MEG）和功能核磁成像（fMRI）等技术可以完成信号采集工作。EEG的优势在于信息量大、时间分辨率高、设备简单、操作方便等；而MEG和fMRI虽然可以采集到更为精细的信号，但由于设备昂贵且不易移动，目前没有被广泛运用在脑机接口中。侵入式是指穿过头骨的电极记录，包括单通道、多通道和阵列电极等，使用侵入式电极就更为准确，时间空间精度更高，但损伤难以避免。目前的信号采集系统采集到的数据量较少，如何尽可能方便、快捷地采集到更多有效数据是下一代系统的重要命题。采集外周神经系统的信号较为方便，利用简单的电极即可采集到肌电、心电的信号。

信号处理是人机接口中的重要部分，是人和硬件进行沟通的“翻译官”。信号处理系统可以将采集到的神经信号“翻译”成指令，如将大脑想要运动时的神经信号翻译成对应的运动指令。信号处理可以分为特征分析和刺激模拟，特征分析模块完成神经信号的解码，利用空间滤波、波谱分析等方式提取神经信号对应的特征模式。在解码大脑想法后，刺激模拟模块将指令根据下游外部设备进行刺激编码，如机械手的具体运动参数。信号处理模块是每个人机系统的核心部分，信号处理的优劣关系到实施效果的准确性和同步性。

外部设备是指行使功能的终端设备。不同的任务需求会对应不同的输出终端设备，例如可以控制光标的显示屏，可以移动的轮椅，也可以是更为复杂的神经假肢等。

利用人机接口，我们可以开发出许多应用，例如能让瘫痪病人康复的神经假肢，能答复提高人类运动能力的机械外骨骼等。

本实验利用简单的人机交互系统，完成肌电信号的采集、解码，并将解码出的信号传输到灯上，实现利用肌电控制电灯的人机接口。

【实验目的】

1 在了解肌电的基础上，通过肌电信号的解析，实现对于外界物体的控制，对人机接口有一个初步了解。

【实验用具】

ION2.0 便携式生物电综合记录仪，电极片，电脑（MATLAB程序）

【实验步骤】

观察肌肉放松时和肌肉发力时肌电信号的变化。

观察发力时LED灯泡两度的变化。

观察发力时被控制者肌肉的活动。

【实验结果】

试描述肌肉放松时和肌肉发力时肌电信号的变化。

试描述发力时LED灯泡亮度的变化。

试描述发力时被控制者肌肉的活动。

【问题和讨论】

思考：脑机接口对于未来生活会带来怎样的影响？

**小鼠脑信号的记录与操纵**

【背景知识】

神经系统利用生物电来传递信号。因此，在神经元活动的时候，我们可以通过电生理仪器记录神经元电位的变化，观察神经元和大脑的活动。

如果我们将记录微电极插入小鼠脑内，就可以记录到单个神经元的电活动；如果我们将电极嵌入颅骨，接触到大脑皮层表面，则可以记录到一群神经元活动的总效应，这种信号就称为大脑皮层电图（Electrocorticography，ECoG）；如果在头皮表面贴放电极，会记录到更大范围神经元活动的信号，这种信号称为脑电图。

除了记录大脑的活动，我们还能控制大脑的活动。我们可以通过对大脑进行电刺激来激活或抑制脑的活动。根据刺激位点及刺激强度的不同，可以对脑的功能产生不同的影响。

除了用电可以控制大脑的活动，用光也能控制大脑的活动。光敏感通道（channelrhodopsin-2，ChR2）是一种受光调控的阳离子通道蛋白。将其表达在神经元细胞膜上，用480nm左右的蓝光照射，就可以使通道开放，让阳离子进入细胞，造成神经元去极化并发放动作电位。利用光照ChR2蛋白来操纵不同脑区的特定类型神经元已经成为神经科学研究中一项重要的手段。

**【实验1】**

【实验目的】

观察、记录小鼠的脑电信号，比较小鼠在清醒时，接受外界环境刺激时，以及麻醉状态下的脑电信号。

【实验用具】

实验小鼠（由老师预先植入电极），便携式生物电综合记录仪，LED灯，麻醉剂（异氟烷），麻醉盒。

【实验步骤】

1. 观察、记录小鼠在自由运动时的脑电信号。

2. 利用LED灯刺激小鼠，观察小鼠脑电信号变化。

3. 拍手给小鼠声音刺激，观察小鼠脑电信号变化。

4. 观察、比较小鼠在清醒时和麻醉状态下的脑电信号。

【实验结果】

画出小鼠运动时脑电信号明显改变时的波形。

**【实验2】**

【实验目的】

观察、记录小鼠单电极记录时神经元发放的波形。

【实验用具】

实验小鼠（由老师预先植入微电极），便携式生物电综合记录仪

【实验步骤】

观察小鼠单电极记录得到的神经元发放波形。

观察小鼠接受外界刺激时单电极记录得到的神经元发放波形、频率。

【实验结果】

画出单电极记录小鼠神经元活动时的波形。

**【实验3】**

【实验目的】

利用光激活小鼠神经元，观察小鼠行为变化。

【实验用具】

转基因实验小鼠（由老师预先植入光刺激器）

【实验步骤】

利用光激活转基因小鼠的神经元，观察小鼠行为变化。

【实验结果】

描述光激活小鼠神经元后小鼠行为学较光照前的改变。

**【实验4】（选做）**

【实验目的】

电刺激小鼠脑，观察小鼠行为变化。

【实验用具】

实验小鼠（由老师预先植入电极），便携式生物电综合记录仪

【实验步骤】

利用便携式生物电综合记录仪刺激小鼠脑部，观察小鼠行为学改变。

【实验结果】

描述电刺激小鼠脑部后小鼠行为学较刺激前的改变。

【问题与讨论】

记录脑部信号和刺激脑在疾病的诊断和治疗中有怎样的作用？

**斑马鱼肌电记录**

【背景知识】

斑马鱼在受到外界刺激的时，会通过游动躲避/接近刺激，这种行为需要一个简单的反射弧来参与。一般反射弧是由感受器，传入神经，中枢神经，传出神 经和效应器组成。当斑马鱼受到外界刺激，如视觉刺激，食物刺激或气味刺激时，感受器将信息通过传入神经传入神经中枢，中枢会将信息进行加工判断，然后通 过传出神经，作用到效应器，如斑马鱼的尾部肌肉。这使得斑马鱼及时的对外界 刺激做出正确的反应。

斑马鱼在游动的过程中，尾部肌肉来回收缩需要肌肉细胞产生电活动变化，这种肌肉产生的生物电又被称之为肌电。我们可以给予斑马鱼不同的刺激改变斑马鱼的游动情况，通过便携式生物电综合记录仪将斑马鱼尾部肌肉的电信号记录下来，观察肌肉在收缩或者舒 张时电信号的变化。

【实验目的】

1. 了解不同刺激对斑马鱼游动情况的影响。

2. 观察记录不同刺激条件下的肌电信号，明确斑马鱼运动与肌电变化之间的关系。

【实验用具】 斑马鱼，便携式生物电综合记录仪，刺激线，麻醉剂，鱼粮，培养皿，橡皮泥

【实验步骤】

1. 安装记录电极，接通生物电记录仪，观察电信号；

2. 将成年斑马鱼放置在培养皿中，观察记录仪上肌电信号；

3. 给予不同刺激，观察受刺激时斑马鱼肌电变化情况。

【实验结果】 描述你所看到的现象，记录你看到的肌电信号：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 不给刺激 | 刺激物 1 | 刺激物 2 |
| 斑马鱼游动程度 |  |  |  |
| 斑马鱼肌电 |  |  |  |

【问题和讨论】 本实验中是如何来确定肌电变化的，如何设计对照组？

**“遥控蟑螂”**

**——电刺激触角控制蟑螂运动方向**

【背景知识】

和很多蜚蠊目的昆虫一样，蟑螂的感觉运动系统主要包括头部的两根触角，腹部后端的两根尾须以及三对足。蟑螂的触角是一种“多功能”探测器，不仅可以感知气味、温度、湿度等多种外界信号，同时还能感知触觉。尾须则可以测知周围空气的微弱震颤，任何微弱气流变化都能使表面的须毛发生形变，进而引起根部的感觉神经放电。在运动过程中，触角和尾须将感觉信号转换为电信号发送给中枢神经，继而传递到腿部的运动神经元，引起肌肉的收缩或舒张。因此，蟑螂能依靠触角和尾须的触觉快速发现障碍物或潜在捕食者，并通过调整运动方向进行避让或者逃跑。

在这个实验中，我们将微控制器与触角和尾须连接：当这尾须接受到电刺激时，蟑螂会“以为”后方有动静，出于本能向前逃跑；当单侧触角接受电刺激时，蟑螂则会感觉有障碍物而向对侧避让。因此，我们可以通过电刺激控制蟑螂的运动轨迹。

【实验目的】

1. 了解蟑螂的感觉系统如何传递感觉信息。
2. 理解感觉系统输入与运动系统输出之间的关系。

【实验用品】

1. 装有芯片的杜比亚蟑螂（电极植入和芯片安装由老师在实验前完成）
2. 遥控装置
3. 无盖纸箱

【实验步骤】

1. 在纸箱底面画出运动路径。
2. 把杜比亚蟑螂放在路径起始处，让蟑螂自由爬行，观察蟑螂爬行轨迹。
3. 通过遥控器给出电刺激，尽可能让蟑螂沿着画出路径爬行，观察电刺激后蟑螂运动轨迹的变化。

【实验结果】

1. 画出无干扰情况下蟑螂的运动轨迹：

1. 观察尾须受到电刺激时蟑螂的行为：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 刺激组 | 刺激尾须  （是/否） | 蟑螂运动情况（静止/运动） | 刺激组 | 刺激尾须  （是/否） | 蟑螂运动情况（静止/运动） |
| 01 |  |  | 16 |  |  |
| 02 |  |  | 17 |  |  |
| 03 |  |  | 18 |  |  |
| 04 |  |  | 19 |  |  |
| 05 |  |  | 20 |  |  |
| 06 |  |  | 21 |  |  |
| 07 |  |  | 22 |  |  |
| 08 |  |  | 23 |  |  |
| 09 |  |  | 24 |  |  |
| 10 |  |  | 25 |  |  |
| 11 |  |  | 26 |  |  |
| 12 |  |  | 27 |  |  |
| 13 |  |  | 28 |  |  |
| 14 |  |  | 29 |  |  |
| 15 |  |  | 30 |  |  |

1. 观察触角受到电刺时蟑螂的行为：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 刺激组 | 刺激触角  （左/右） | 蟑螂运动方向（左/右） | 刺激组 | 刺激触角  （左/右） | 蟑螂运动方向（左/右） |
| 01 |  |  | 16 |  |  |
| 02 |  |  | 17 |  |  |
| 03 |  |  | 18 |  |  |
| 04 |  |  | 19 |  |  |
| 05 |  |  | 20 |  |  |
| 06 |  |  | 21 |  |  |
| 07 |  |  | 22 |  |  |
| 08 |  |  | 23 |  |  |
| 09 |  |  | 24 |  |  |
| 10 |  |  | 25 |  |  |
| 11 |  |  | 26 |  |  |
| 12 |  |  | 27 |  |  |
| 13 |  |  | 28 |  |  |
| 14 |  |  | 29 |  |  |
| 15 |  |  | 30 |  |  |

1. 画出有电刺激时蟑螂的运动轨迹，并用箭头标注受到电刺激时蟑螂所处的位置和运动方向：

【问题和讨论】

1. 有哪些因素可以影响蟑螂的运动轨迹？

1. 除了给蟑螂触角电刺激，还有什么方法可以控制蟑螂前进方向？

1. 别的动物是怎么控制运动方向的？举例说明。

**果蝇热激活**

【背景知识】

大脑的神经元电活动由离子通道来介导。根据这一特性，我们可以将热敏感的离子通道蛋白表达到指定的神经元，通过升高温度，激活这些离子通道，从而控制指定神经元的活动。

本实验利用转基因果蝇，将热敏感通道蛋白dTrpA1特异地表达在指定的神经元细胞膜上。当温度升高时，热敏感通道打开，让 Ca2+流入细胞内，导致这些神经元激活，从而控制特定行为的产生或终止。

【实验目的】

1. 直观体验热敏感通道受热调控神经元活动，从而改变动物的行为。

2. 思考热敏感通道的应用。

【实验用具】

温度控制系统，转基因果蝇（表达热敏感通道），野生型果蝇（不表达热敏感通 道）

【实验步骤】

1. 仔细观察果蝇运动状态；

2. 手握试管 10-15s，观察果蝇行为，记录热激活前后果蝇的行为。

【实验结果】 描述你观察到的果蝇在热激活前后的行为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 热激活前 | 热激活后 |
| 野生型果蝇 |  |  |
| 转基因果蝇-1 |  |  |
| 转基因果蝇-2 |  |  |
| 转基因果蝇-3 |  |  |

【问题和讨论】

1. 本实验中，有什么因素会干扰实验结果，怎么样来避免？

2. 热激活在生活中可以有什么应用。

**电刺激蟑螂腿**

【背景知识】

神经元通过电信号来传递信息。我们可以通过电流刺激神经纤维，使得神经纤维传递信息发生变化，引起行为的变化。当我们用电刺激蟑螂腿上的运动神经纤维时，可以实现对蟑螂腿运动的控制。

电刺激神经元已经广泛应用到临床医学中，如在治疗一些帕金森病人时，医生可以在病人脑中特定区域埋入一根微电极，通过电刺激这个脑区的神经元来调 整病人的运动，这一技术称为深部脑刺激。本实验通过生物电记录仪将外界刺激 转化为电信号，刺激蟑螂腿，观察蟑螂腿的行为变化。

【实验目的】 了解电刺激神经元的原理，知道电刺激神经元的应用。

【实验用具】 蟑螂，便携式生物电综合记录仪，刺激线，镊子，剪刀

【实验步骤】

1. 准备动物材料：用冰麻醉蟑螂，利用镊子和剪刀齐根剪下蟑螂的一只腿

2. 录制音乐，连接刺激装置

3. 刺激蟑螂腿，观察并记录蟑螂腿活动

【实验结果】 描述你看到现象

【问题与讨论】 蟑螂腿为什么会随着音乐“跳舞呢”，如果用不同音乐刺激会如何？

**蟑螂刚毛电信号记录（选做）**

【背景知识】

动物的感觉系统对外界刺激较为敏感。蟑螂腹部往后延伸出来的两根附肢是蟑螂的尾须，他们连接着一套感觉系统。每根须有200对根小毛，称为感震器，不但可以测知地面空气的微弱震颤，而且可以感觉颤动 来自何方。当地面和空气发生微弱的震颤，会使得须毛变形，根部的感受器神经就会发出电信号。一些简单的动作由反射弧参与就能完成。感受器神经的信号传向 中间神经，信号经过加工处理后，传递到腿部的运动神经元，使肌电改变、肌肉收缩。

本实验以蟑螂腿为研究对象，通过向蟑螂腿刚毛进行吹气，刺激感受器，观察蟑螂腿的肌电变化。

【实验目的】 了解感觉系统反射与肌肉收缩之间的关系，观察记录肌电随着外界刺激的变化。

【实验用具】 蟑螂，植物叶片，便携式生物电综合记录仪，刺激线，镊子，剪刀，盒子，注射器，软管

【实验步骤】

1. 准备动物材料：用冰麻醉蟑螂，利用镊子和剪刀齐根剪下蟑螂的一只腿

2. 连接记录装置及给气装置

3. 吹气刺激蟑螂腿上刚毛，观察并记录肌电变化。

4. 换为植物重复此实验，观察肌电。

【实验结果】 描述你看到的现象

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 不吹气 | 吹气到蟑螂腿 | 吹气到植物 |
| 现象 |  |  |  |

【问题与讨论】 本实验的对照试验是什么，怎么确定蟑螂腿的刚毛接收到了外界刺激？