

实验七 丙泊酚麻醉状态下 EEG 信号的时频域分析

1. EEG 信号介绍:

生物电现象是生命活动的基本特征之一, 各种生物均有电活动的表现, 大到鲸鱼, 小到细菌, 都有或强或弱的生物电。人类大脑由大约 1000 亿个称为神经元的神经细胞组成, 它们的电化学特性使它们能够传输电信号并长距离传递信息。神经元有三个基本部分: 细胞体(体细胞), 轴突和树突。神经元的电活动可分为两个子集: 动作电位 (action potentials ,AP) 和突触后电位 (postsynaptic potentials ,PSP)。如果突出后电位达到突触后神经元的阈值传导水平, 则神经元产生动作电位。动作电位是离子沿轴突外部泵送的事件, 迅速改变轴突的离子组成, 允许电信号快速通过轴突传播到下一个树突。通过轴突-树突连接, 神经元之前可以相互通信。

来自锥体神经元细胞的抑制和兴奋性突触后电位累加, 锥体神经元细胞在体细胞和顶端树突之间产生电偶极子 (见图 1.1), 这些突触后电位在皮质汇总并延伸到头皮表面。1924 年 Hans Berger 首次用扫描法记录到了人脑的生物电流, 并将之命名为脑电图。

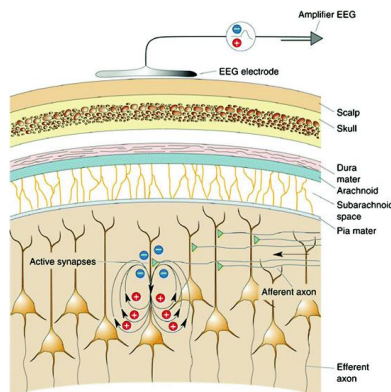


图 1 锥体细胞突触电流产生非常小的电场的图解

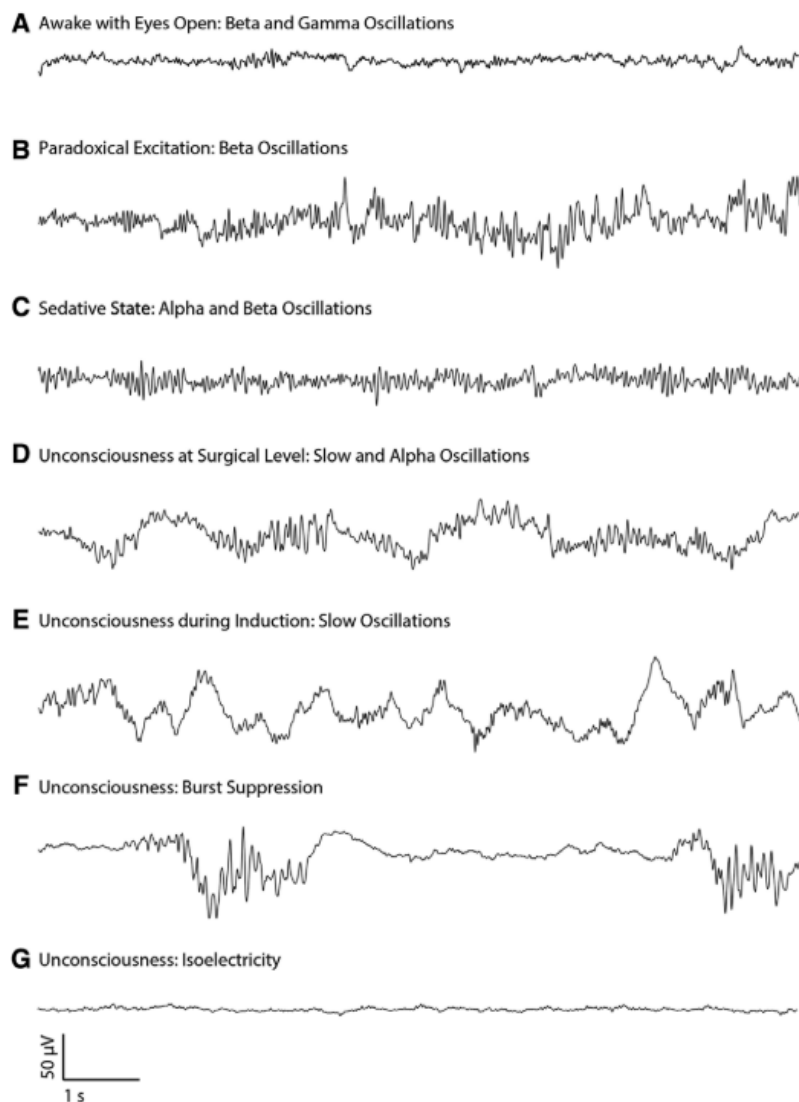
评估临床脑电图异常和理解认知研究中功能行为的最重要标准之一是频率。频率指有节律的重复活动 (以 Hz 为单位)。以秒为单位的周期数被计为频率。由于数十亿个振荡的神经元群落作为其来源, 人类的脑电图电位表现为非周期性不可预测的振荡, 伴有间歇性的振荡爆发。在健康的成年人中, 从一种状态变为另一种状态, 例如觉醒和睡眠, 这些信号的幅度和频率会发生变化。脑电波从低频到高频通常分为 5 个特定频段: 1-4 Hz(delta, δ), 4-8 Hz(theta, θ), 8-13Hz(alpha, α), 13-30Hz(beta, β)和 > 30Hz(gamma, γ)

2. 丙泊酚麻醉状态下的 EEG 信号改变;

丙泊酚麻醉药是一种 GABA 受体激动剂, 其进入神经系统后与神经突触上的 GABA 受体结合, 让细胞外的负一价氯离子进入细胞, 使得神经元膜电位偏向负值, 从而更加

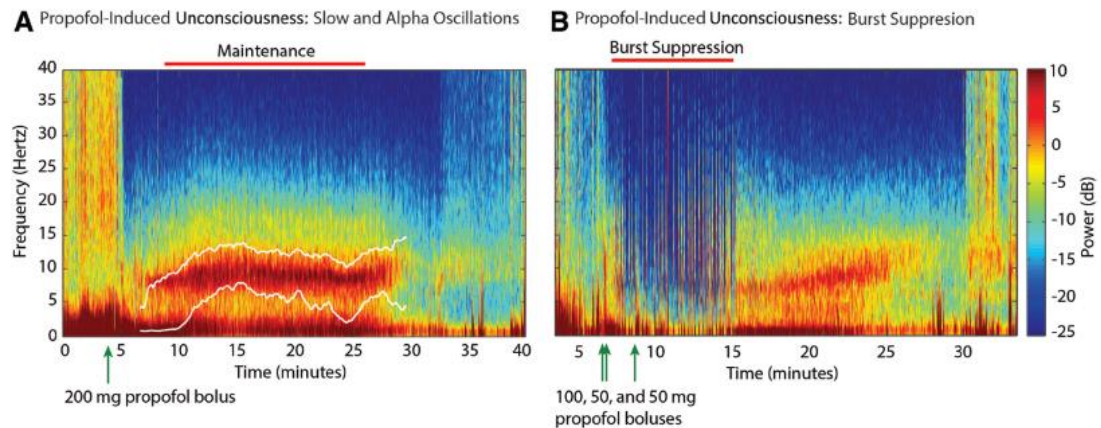
难以产生动作电位，进而阻断神经元之间的信号传递。GABA 类受体在中枢神经系统中广泛分布，丙泊酚进入神经系统后同时作用于丘脑和皮层等多个部分，产生复合效果。在刚开始起效时，由于丙泊酚作用在丘脑神经，抑制了丘脑抑制神经元的活动，从而产生了一个短暂的高频波活动（Beta，Fig. 2 B）。随着麻醉深度的增加，慢速震荡逐渐占据 EEG 活动的主要部分。当麻醉剂计量过高时，神经元产生间或放电现象，神经元工作在抑制状态的时间明显增长，此时提示麻醉药物剂量已经过高。丙泊酚进入神经系统后对 EEG 影响可以清晰的从 EEG 时序波形上观测到。清醒睁眼状态下，大脑活动的主要频段是 beta 和 gamma 波，浅度麻醉状态下大脑活动的主要频段是 alpha 和 beta 波，深度麻醉状态下大脑活动的主要频段是 slow 和 alpha 波，脑死亡时大脑活动停止，表现为等电位线。

2.1 EEG 信号的形态学改变（Purdon）；



2.2 EEG 信号的功率谱改变;

Spectral edge frequency (SEF): 信号处理常用的一种指标, 在麻醉深度监测和睡眠分期中尤为常见, 它表示在某个频率以下信号功率占总信号功率的百分比, 一般取 75%-95%。



3. EEG 的信号采集:

被试平躺于手术床上, 闭眼放松, 保持清醒, 采集约 3min 静息态数据; 然后开始静脉注射丙泊酚进行麻醉, 用 bispectral index monitor (BIS)监测麻醉深度, 当 BIS 达到 60 时, 采集 3min 数据, 当 BIS 达到 40 时, 采集 3min 数据, 然后停止注药, 等待被试苏醒。

4. 具体实验内容:

4.1 EEG 信号的频谱分析(pwelch);

pwelch 方法是经典功率谱估计方法之一, 通过傅里叶变化来实现。先对数据进行分段, 分段数据可以有数据重叠以减小方差, 每段数据用窗函数进行加权以减小信号泄露, 求每段数据的功率谱密度, 然后求平均功率谱密度。pwelch 参数设置如下:

NFFT=1024; %分段数据点数

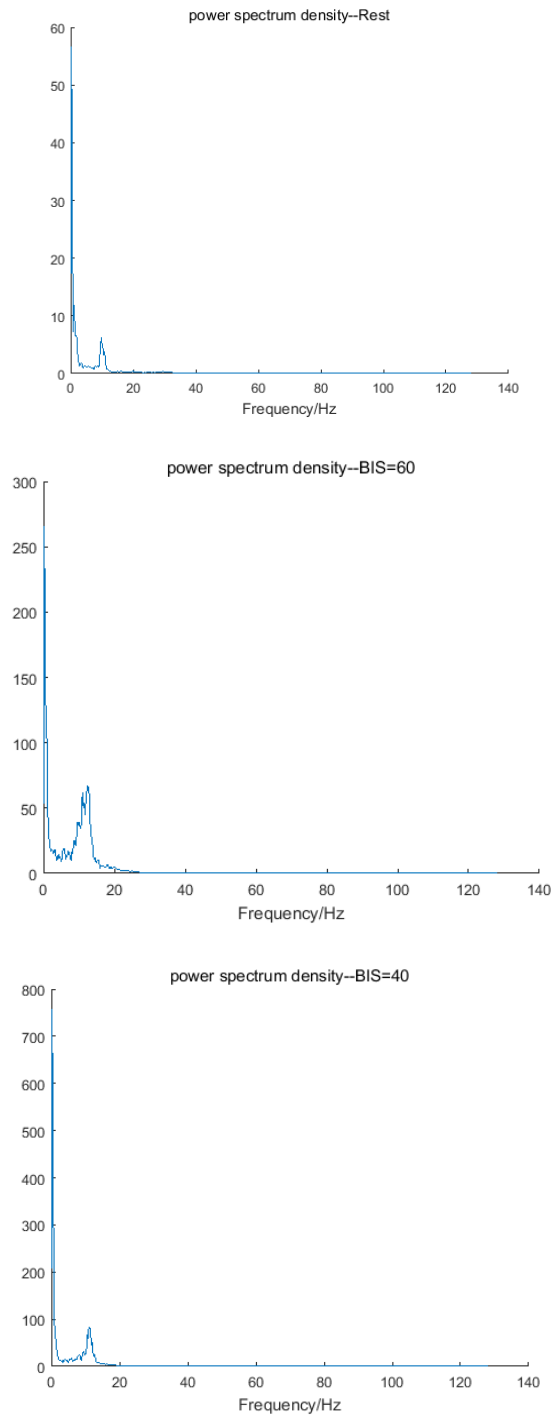
Fs=250; %数据采样率

Window=hanning(1250); %窗的类型: 汉宁窗

Noverlap=0.9; %数据重叠率

Code:

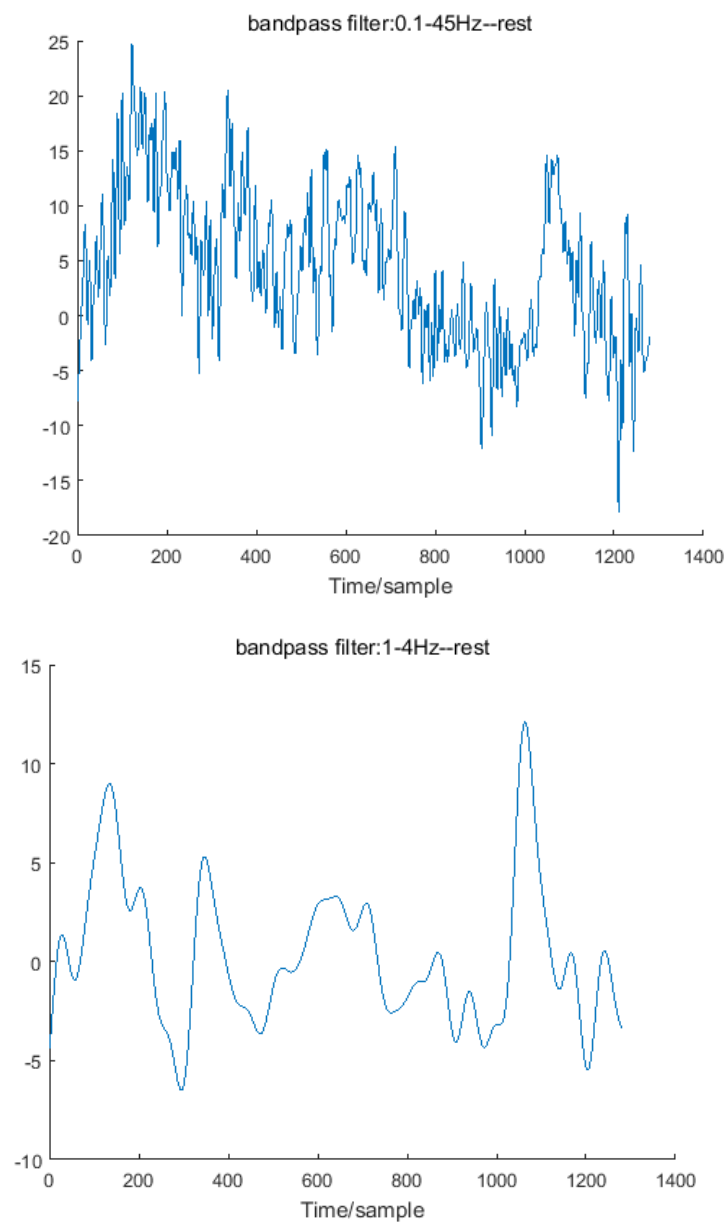
```
data=s3_wake;  
NFFT=1024;  
Fs=256;  
Window=hanning(1250);  
Noverlap=0.9;  
[Pxx,fx]=pwelch(data(1,:),Window,Noverlap,NFFT,Fs,'psd');
```

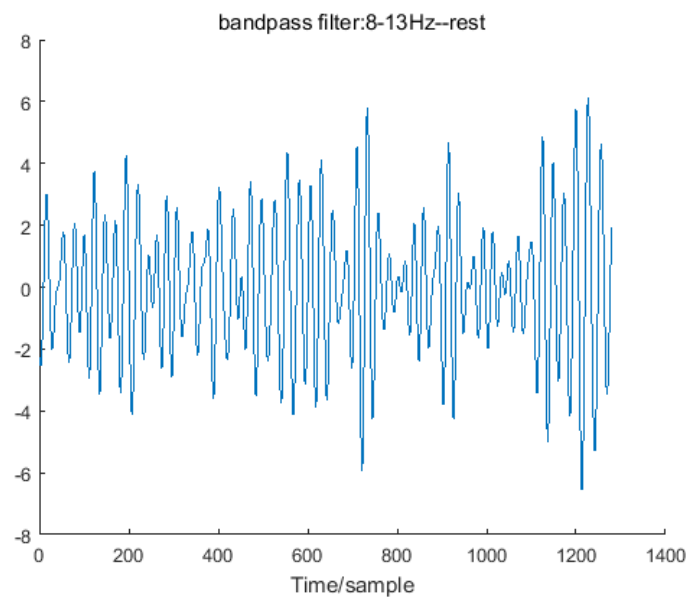
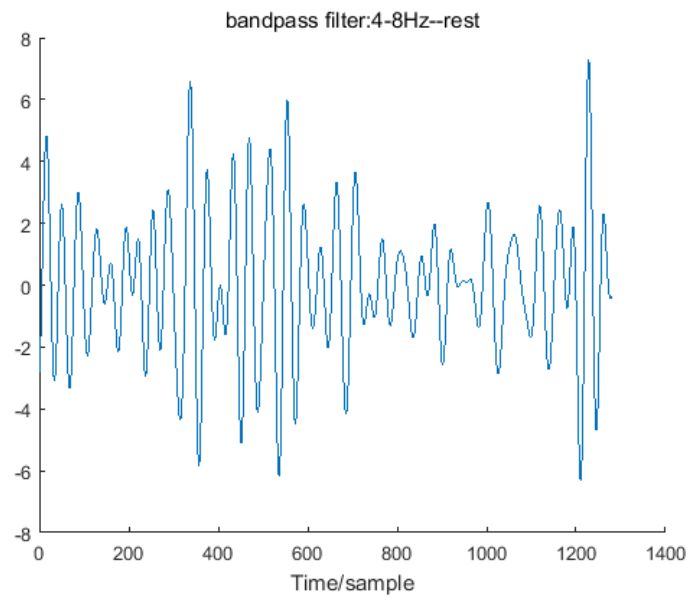


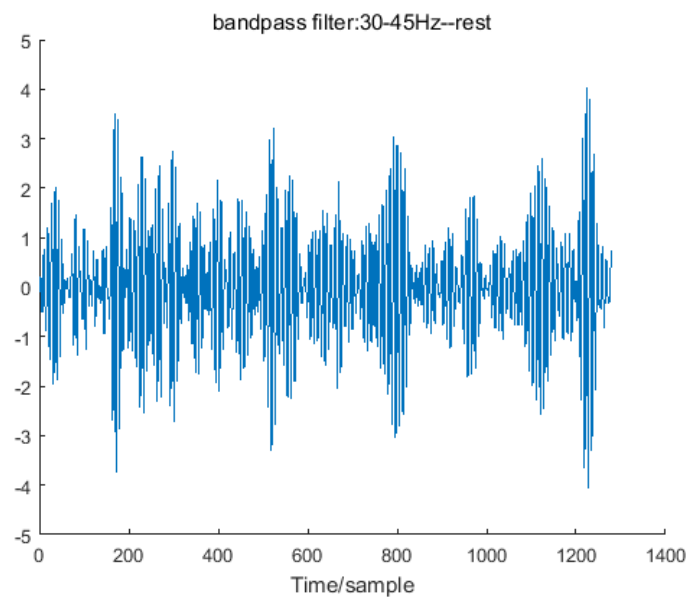
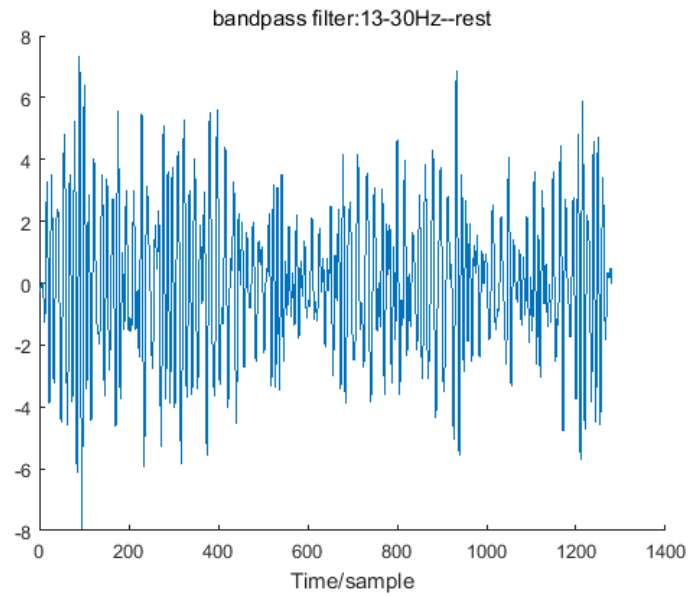
4.2 EEG 信号各频段的信号提取；

通过 matlab 的滤波器设计函数，设计一个三阶或者五阶的 butterworth 滤波器，对 EEG 信号进行滤波处理，将 EEG 信号滤波至感兴趣波段并绘图：delta: 1-4Hz, theta: 4-8Hz, alpha:8-13Hz, beta:13-30Hz, gamma: 30-45Hz, total: 0.1-45Hz。此步骤需要只需要处理清

醒和 BIS40 时的 EEG 数据。





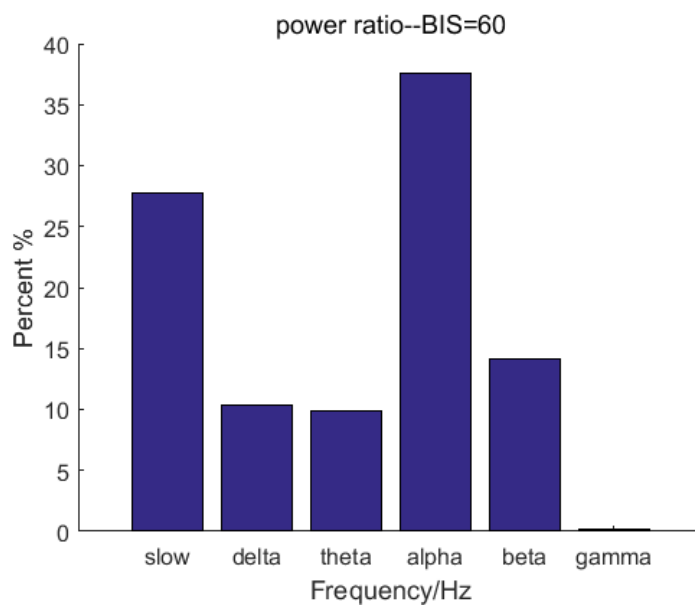
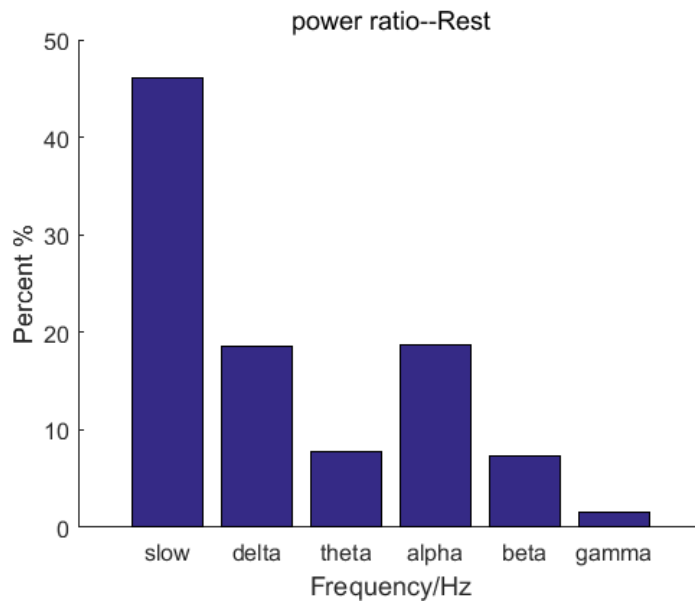


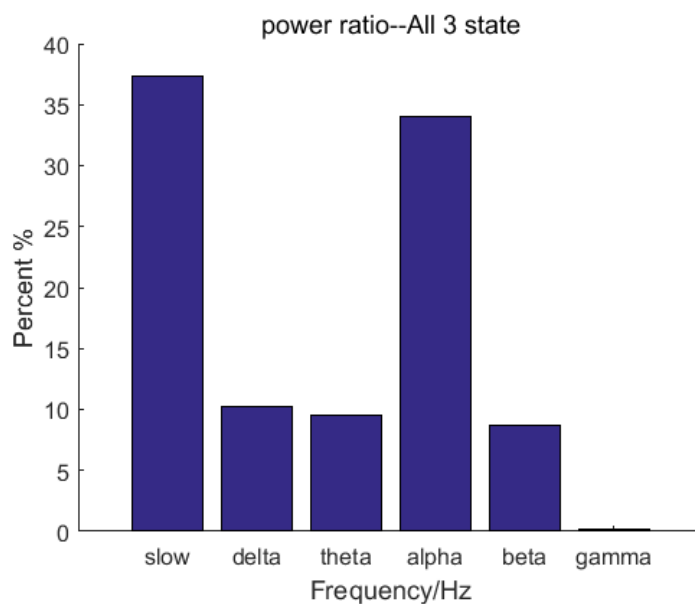
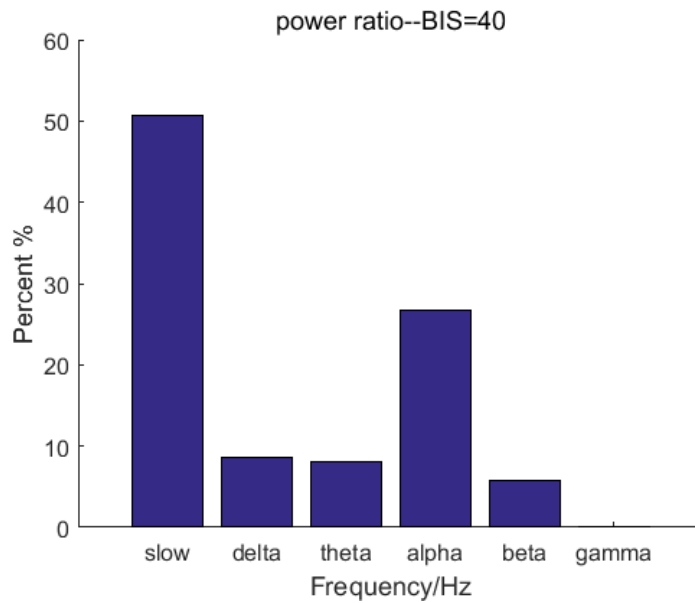
Code:

```
%% 滤波器设计  
butter.m  
%% 滤波操作  
firfilt.m
```

4.3 EEG 信号各波段能量占比；

通过 pwelch 方法计算得到各频点的功率，然后将各个波段的功率相加除以总功率得到各个波段的功率占比。





Code:

```
%%
data=s3_wake;
NFFT=1024;
Fs=256;
Window=hanning(1250);
Noverlap=0.9;
[Pxx,fx]=pwelch(data(1,:)',Window,Noverlap,NFFT,Fs,'power');
power_pwelch_rest=powerRate(Pxx,fx);
```

[powerRate.m](#) (计算各频段功率占比)

```
function [power]=powerRate(Pxx,fx)
all_idx=find(fx>=0.1 & fx<=45);
```

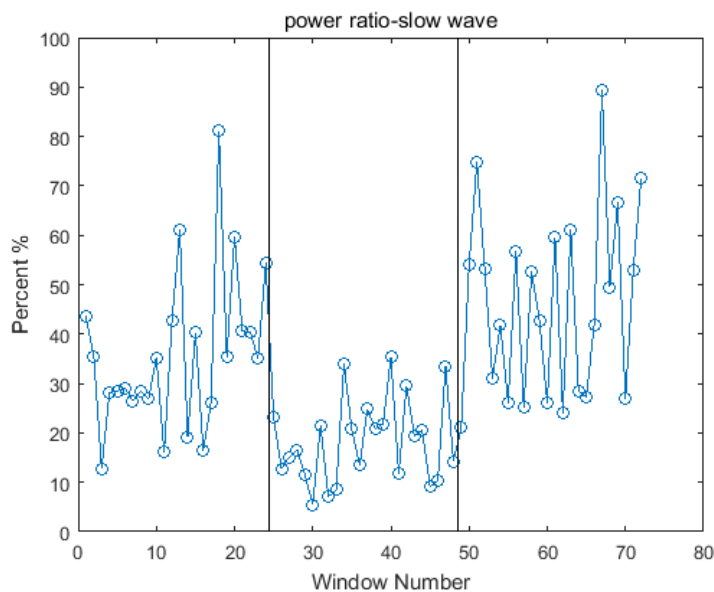
```

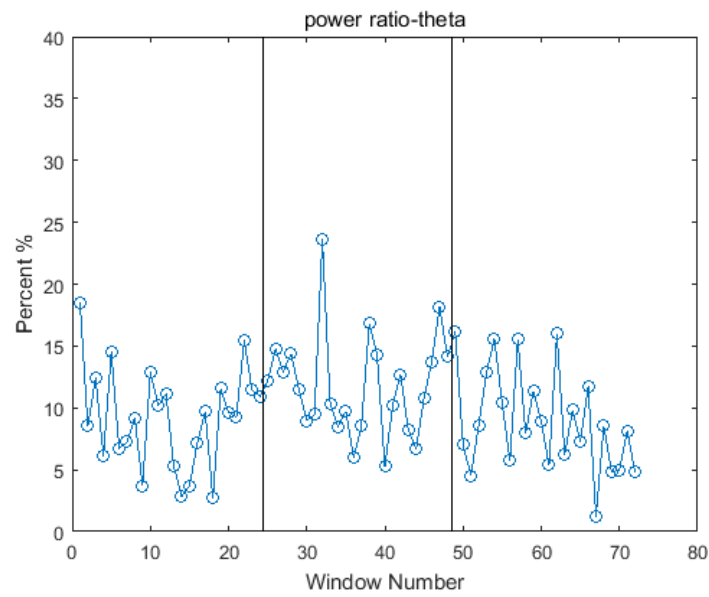
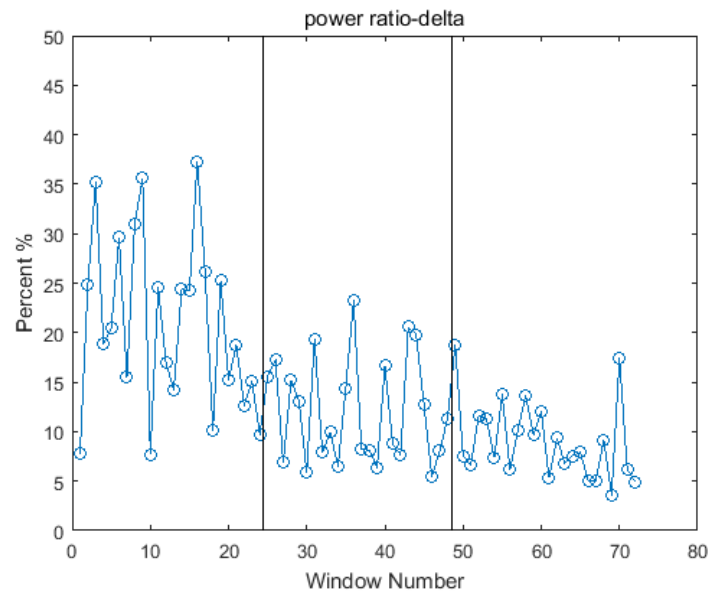
slow_idx=find(fx>=0.1 & fx<=1);
slow=100*sum(Pxx(slow_idx))/sum(Pxx(all_idx));
delta_idx=find(fx>1 & fx<=4);
delta=100*sum(Pxx(delta_idx))/sum(Pxx(all_idx));
theta_idx=find(fx>4 & fx<=8);
theta=100*sum(Pxx(theta_idx))/sum(Pxx(all_idx));
alpha_idx=find(fx>8 & fx<=13);
alpha=100*sum(Pxx(alpha_idx))/sum(Pxx(all_idx));
beta_idx=find(fx>13 & fx<=30);
beta=100*sum(Pxx(beta_idx))/sum(Pxx(all_idx));
gamma_idx=find(fx>30 & fx<=45);
gamma=100*sum(Pxx(gamma_idx))/sum(Pxx(all_idx));
power=[slow;delta;theta;alpha;beta;gamma];
end

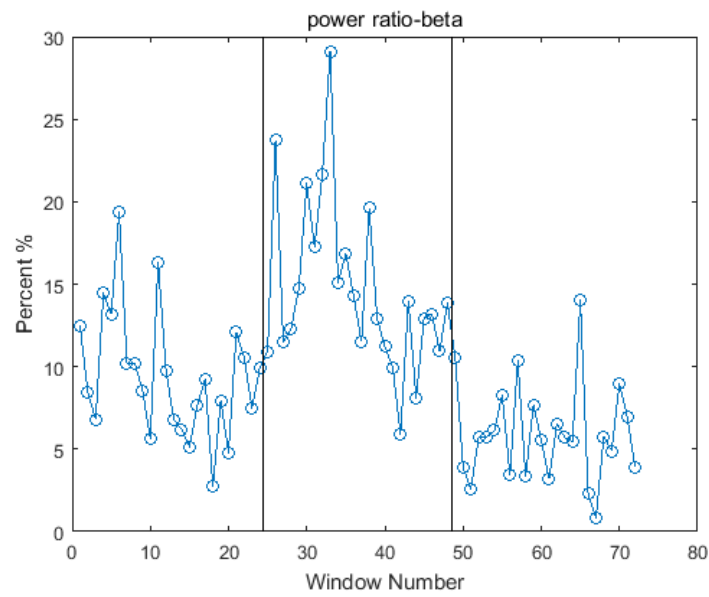
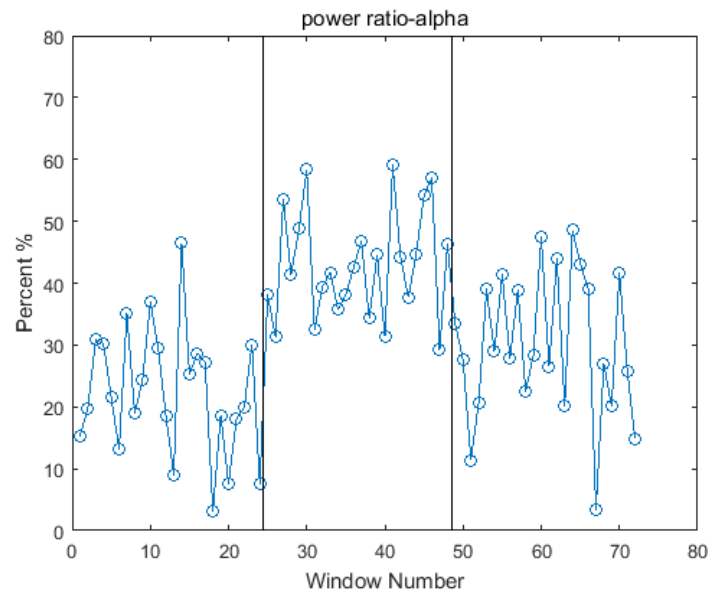
```

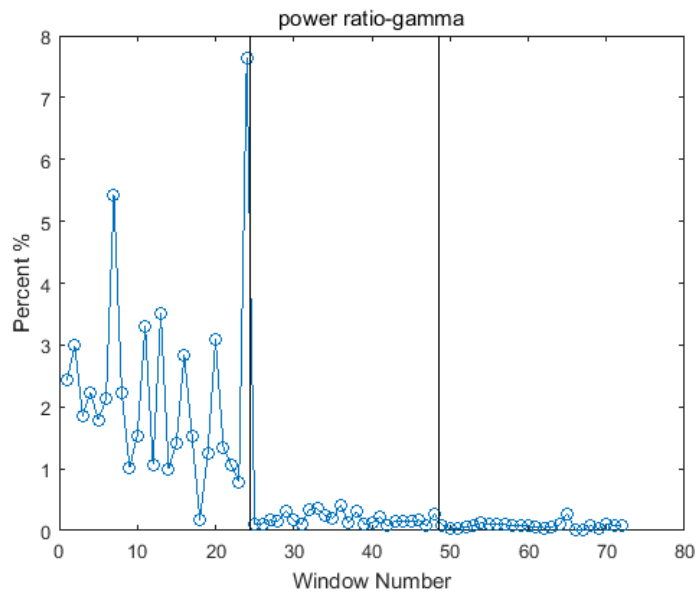
4.4 随麻醉状态变化的 EEG 信号各波段占比；

将 rest、BIS=60、BIS=40 三个状态的数据串联起来，得到一个 6min 长的时间序列，采用 sliding window 方法，每个窗 5s，两个窗之间没有重叠，逐个窗上用 pwelch 计算各个波段的功率占比，形成各个波段的功率占比随时间变化的曲线。









Code:

```
%% slide window:5s, non overlap
data=[s3_wake,s3_bis60,s3_bis40];
NFFT=1024;
Fs=256;
Window=hanning(1250);
Noverlap=0.9;
N_win=size(data,2)/(5*Fs); %72, ö'°£-Ö», ö'°5s, Ö», ö×'Î-24, ö'°
power=zeros(6,N_win);
for i=1:N_win
    [Pxx,fx]=pwelch(data(1+5*Fs*(i-1):5*Fs+5*Fs*(i-1)),Window,Noverlap,NFFT,Fs,'power');
    power(:,i)=powerRate(Pxx,fx);
end
%%
```

4.5 EEG 信号的时频分析

