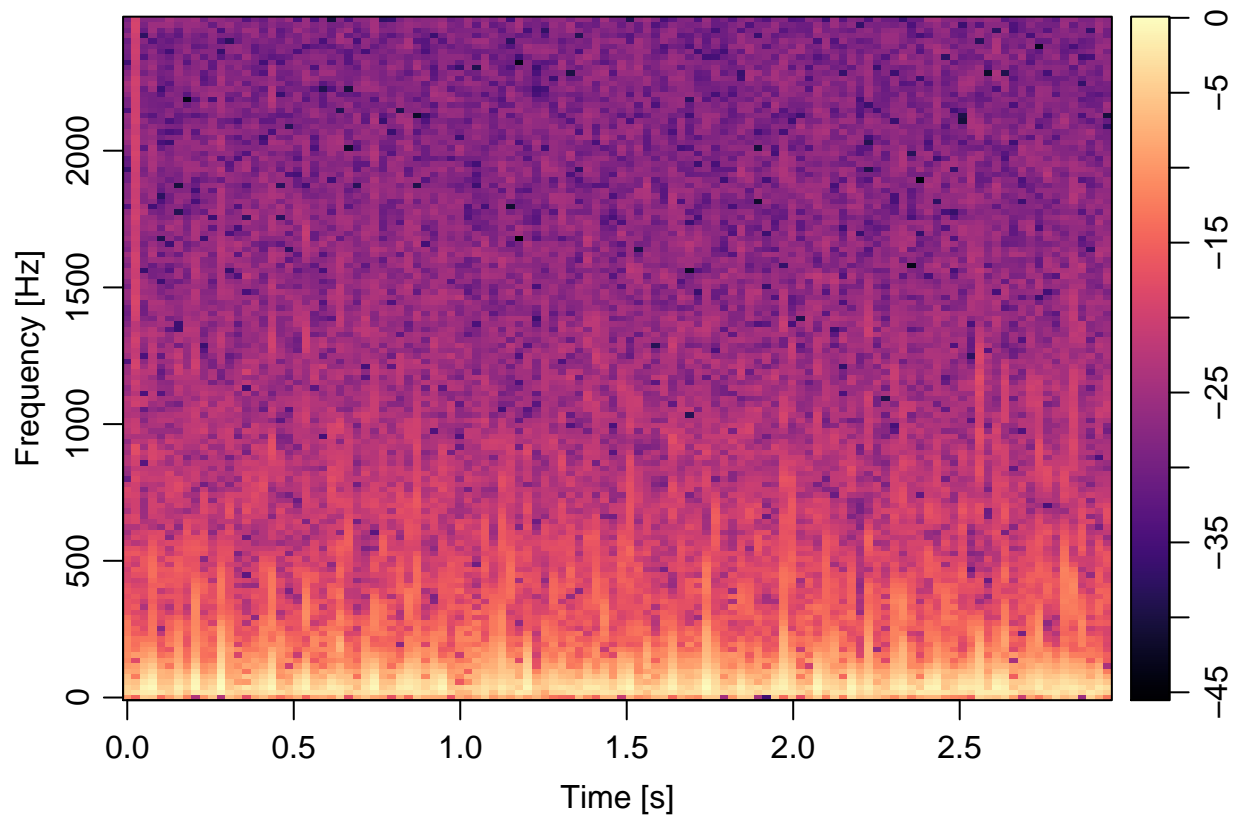


# Coupling Modulation

RRC

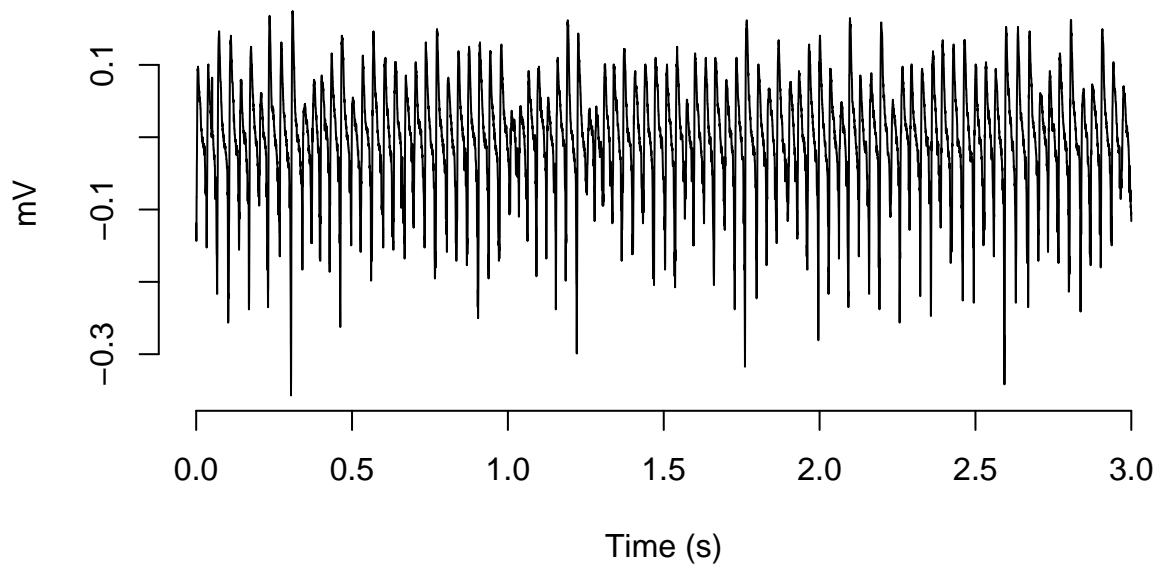
## 1. Read the data

Spectrogram of the raw time series

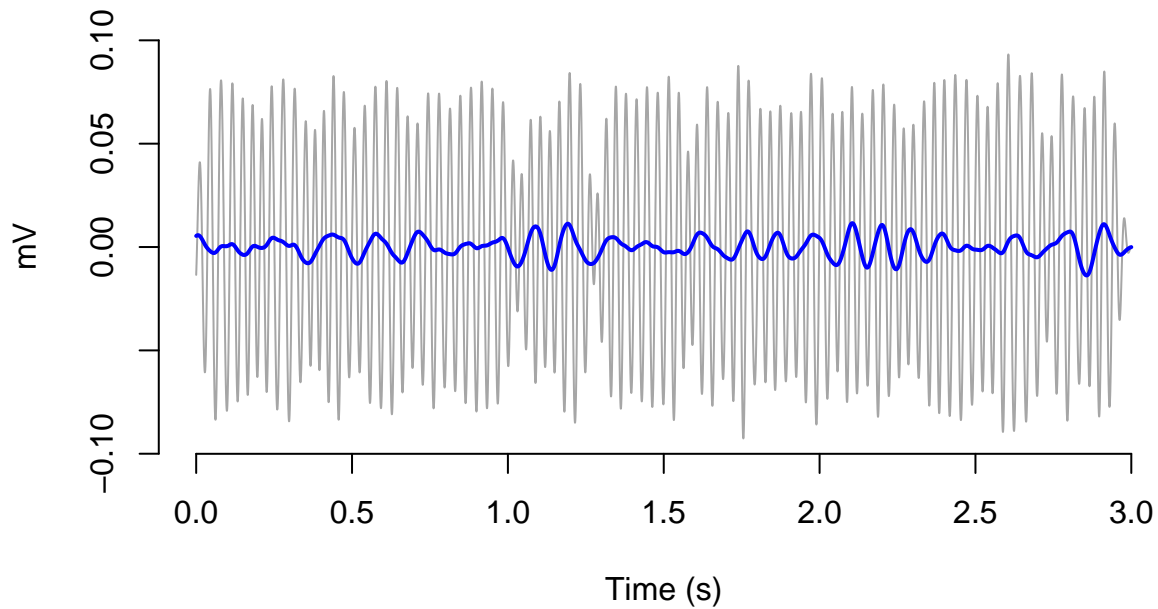


## Filtering of the data

### LFP raw data



### Gamma peaks over theta cycles



```
filteredgamma=dataset(time,gamma);  
filteredtheta=dataset(time,theta);  
  
plot(time,gamma,time,theta)  
axis([0 1 -0.3 0.3]) # de 0 a 1 s y de -0.2 a 0.2 mV  
shg
```

```

# Gamma peaks over theta cycles

clf; clf;

hilGamma=hilbert(gamma); # transformada de hilbert de la se?al de campo
angGamma=angle(hilGamma); # extrae la fase instant?nea de la se?al de campo en radianes
angGamma=angGamma-2*pi*floor(angGamma/(2*pi));# expande los ?ngulos obtenidos a un c?rculo completo (2*pi)

negGam=-angGamma;# invierte la se?al para encontrar los 90? = 0 rad
[~,subGamma]=findpeaks(negGam,'MinPeakHeight',-0.5); # encuentra la posici?n todos los picos que superan
disp('Total de picos de gamma:')
TotalGPeaks=length(subGamma);

hilTheta=hilbert(theta); # transformada de hilbert de la se?al de campo
angTheta=angle(hilTheta); # extrae la fase instant?nea de la se?al de campo en radianes
angTheta=angTheta-2*pi*floor(angTheta/(2*pi));# expande los ?ngulos obtenidos a un c?rculo completo (2*pi)

negTheta=-angTheta;# invierte la se?al para encontrar los 90? = 0 rad
[~,subTheta]=findpeaks(negTheta,'MinPeakHeight',-0.01); # encuentra la posici?n todos los picos que superan
disp('Total de picos de Theta:')
TotalTPeaks=length(subTheta);

disp('Gamma peaks per Theta cycle')
GpeakPerTheta=TotalGPeaks/TotalTPeaks;

gammaTheta=angTheta(subGamma);# encuentra el angulo de theta donde se encuentra los picos de gamma
figure(1)
subplot(1,2,1)
rose(gammaTheta)

# C?LCULO DE LA LONGITUD DEL VECTOR
disp('Vector unitario medio:')
u=sum(exp(1i*gammaTheta));# calcula el vector unitario medio (f?rmula de Euler)
disp('Longitud total del vector Normalizado:')
absVecLength=abs(u)/TotalGPeaks; # obtiene el radio resultante (r) normalizado entre 0 y 1
figure(1)
subplot(1,2,2)
compass(u/TotalGPeaks)

# C?LCULO DEL ANGULO DEL VECTOR GAMMA OVER THETA (gammaTheta)
disp('?ngulo del vector en pi valores:')
AngGammaTheta=angle(u); # Calcula el angulo del vector normalizado
disp('?ngulo del vector en radianes:')
angGammaTheta_Rad=AngGammaTheta-2*pi*floor(AngGammaTheta/(2*pi)); # Expande el angR a 2pi

clf; clf;

# Gamma Envelope

# Nombra LFP a la variable que contiene el registro de campo
# Nombra time a la variable que contiene el tiempo de registro

```

```

# C?LCULO DE LA ENVOLVENTE
[envolvente0,~]=envelope(gamma,100,'peak');# c?lculo de la envolvente ajustada al pico con 100 puntos de
envolvente=envolvente0-mean(envolvente0);# ajuste de la envolvente a la basal

# TRANSFORMADA DE FOURIER DE AMBAS OSCILACIONES
Fs=5000;# Frecuencia de sampleo (=n? de puntos/tiempo de registro (s))
L=length(envolvente);# c?lculo del tama?o de la variable
NFFT=2^nextpow2(L);# optimizaci?n del tama?o de las variables para la FFT (el m?tiplo de 2 mayor m?s ce
Y1=fft(LFP,NFFT)/L;# transformada ponderada de Fourier para LFP
espectro1=2*abs(Y1(1:NFFT/2+1));# obtenci?n de la mitad de los valores absolutos del espectro espejo de
Y2=fft(envolvente,NFFT)/L;# transformada ponderada de Fourier para la envolvente
espectro2=2*abs(Y2(1:NFFT/2+1));# obtenci?n de la mitad de los valores absolutos del espectro espejo de
filter=ones(1,100)/100;# filtro de 100 puntos para suavizar ambos espectros
espectro1=conv(espectro1,filter,'same');# convoluci?n de LFP con el filtro
espectro2=conv(espectro2,filter,'same');# convoluci?n de la envolvente con el filtro
f=Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);# obtenci?n del rango de frecuencias a trav?s de la frecuencia de sampleo

# C?LCULO DE LA POTENCIA DE LA ENVOLVENTE
fr5=5;
tmp=abs(f-fr5);
 [~, inx4]=min(tmp);
fr10=10;
tmp=abs(f-fr10);
 [~, inx10]=min(tmp);

fr20=20;
tmp=abs(f-fr20);
 [~, inx20]=min(tmp);
fr80=60;
tmp=abs(f-fr80);
 [~, inx80]=min(tmp);

for n=inx4:inx10
    Area=(espectro2(n)+espectro2(n+1))/2*(f(n+1)-f(n));
end
GenvPow=sum(Area);

# C?LCULO DEL PICO M?XIMO DE FRECUENCIA
cerotes=zeros(length(espectro2(1:inx4-1)),1);# prepara un vector de 0 para aislar theta
newespectro2=vertcat(cerotes,espectro2(inx4:inx10));# concatena los ceros al rango de theta
 [~,inxMaxE]=max(newespectro2);
GenvMax=f(inxMaxE);

cerotes=zeros(length(espectro1(1:inx20-1)),1);# prepara un vector de 0 para aislar gamma
newespectro1=vertcat(cerotes,espectro1(inx20:inx80));# concatena los ceros al rango de gamma
 [~,inxMaxG]=max(newespectro1);
GMax=f(inxMaxG);

# GR?FICAS
subplot(2,1,1)
plot(f,espectro1,f,espectro2)
axis([0 80 0 0.005]) # de 0 a 80 Hz y de 0 a 15e-3 mV2

```

```

subplot(2,1,2)
plot(time,gamma,time,envolvente0,time,theta)
axis([0 1 -0.35 0.35]) # de 0 a 1 s y de -0.1 a 0.1 mV
shg

# Cross-correlation Gamma Envelope-Theta
[acor,lag] = xcorr(envolvente,theta,'coeff'); # correlacion de las senyales

[cor,I] = max((abs(acor)));# coeficiente de correlacion entre ambas senales
Peaklag = lag(I);# Posicion del pico maximo
timeDiff = Peaklag/Fs; # lag en s del pico maximo
Peaklagms = timeDiff*1000; # Peak lag en ms.

plot(lag/Fs,acor)
axis([-0.5 0.5 -0.6 0.6])
shg

# Autocorrelation of gamma signal and Rhythmicity
[acor,lag] = xcorr(gamma,500); # correlacion de las senyales
Nacor = acor/max(acor); # Normaliza el maximo de autocorrelation
halfcor = Nacor(fix((length(acor)/2)):end); # mitad de la correlacion
halftime = (lag(fix((length(lag)/2)):end))/Fs;# time of the corresponding lag in sec

cor1 = halfcor; # redefine la variable halfcor

peaks = findpeaks(cor1); # picos
troughs = findpeaks(-cor1); # valles

A = peaks(2) + 1; # identificaci?n del primer pico
B = - troughs(1) + 1; # identificaci?ndel segundo valle

Cr=(A-B)/(A+B);

# plot(halftime,halfcor)
# axis([0 0.1 -1 1])
# shg

```

## Measurements to implement

Phase synchrony (PS) <https://www.rdocumentation.org/packages/synchrony/versions/0.3.8/topics/phase.sync> Cross-frequenct phase synchrony (CFS) Phase-amplitude coupling (PAC) PAC-t <https://github.com/muntam/TF-PAC> <https://www.nature.com/articles/s41598-019-48870-2>

1. Amplitud y frecuencia de la senal envolvente
1. Acoplamiento de la senal envolvente con la senal principal
1. Acoplamiento de la senal evolutiva con los potenciales de accion

## References

Cross-Frequency Phase–Phase Coupling between Theta and Gamma Oscillations in the Hippocampus Mariano A. Belluscio, Kenji Mizuseki, Robert Schmidt, Richard Kempter and György Buzsáki *Journal of Neuroscience* 11 January 2012, 32 (2) 423–435; DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4122-11.2012>  
<https://www.jneurosci.org/content/32/2/423>  
<https://towardsdatascience.com/four-ways-to-quantify-synchrony-between-time-series-data-b99136c4a9c9>