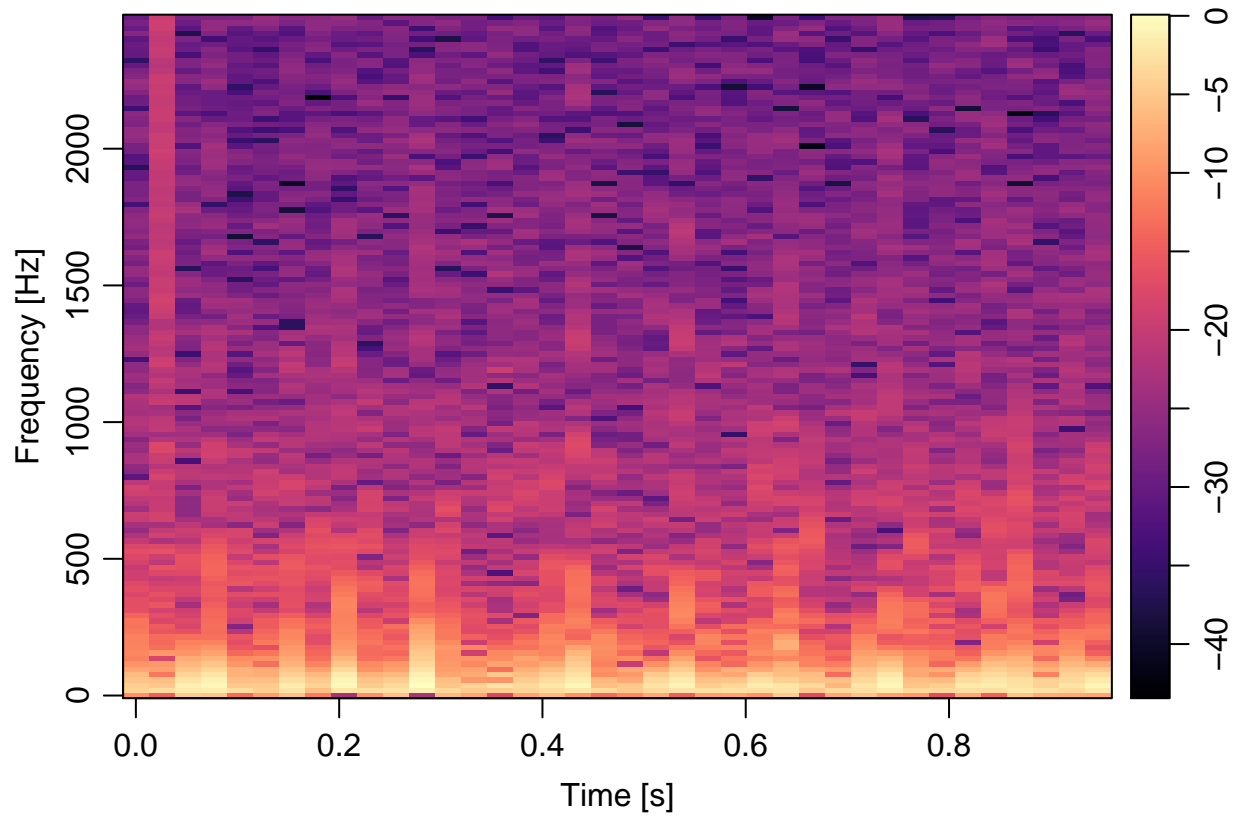


# Coupling Modulation

RRC

## 1. Read the data

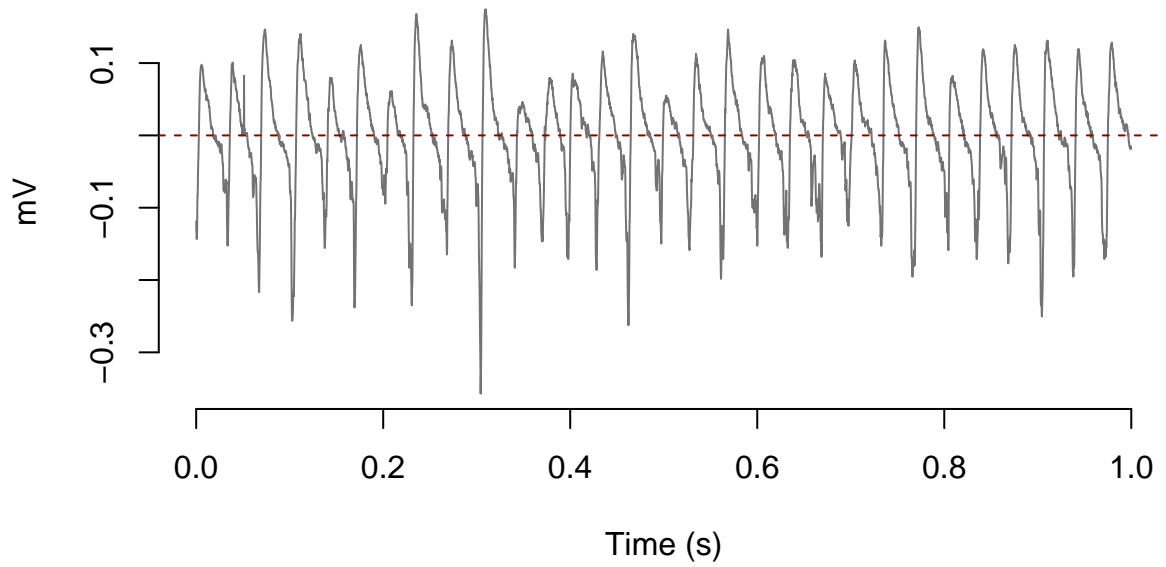
Spectrogram of the raw time series



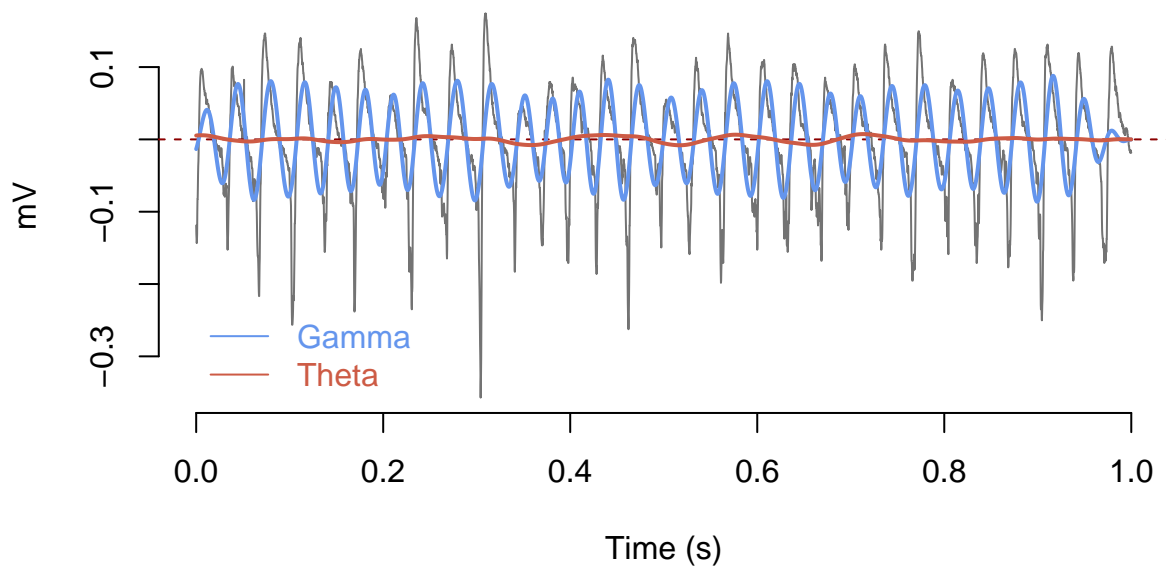
PCA of the raw time series

Filtering of the data

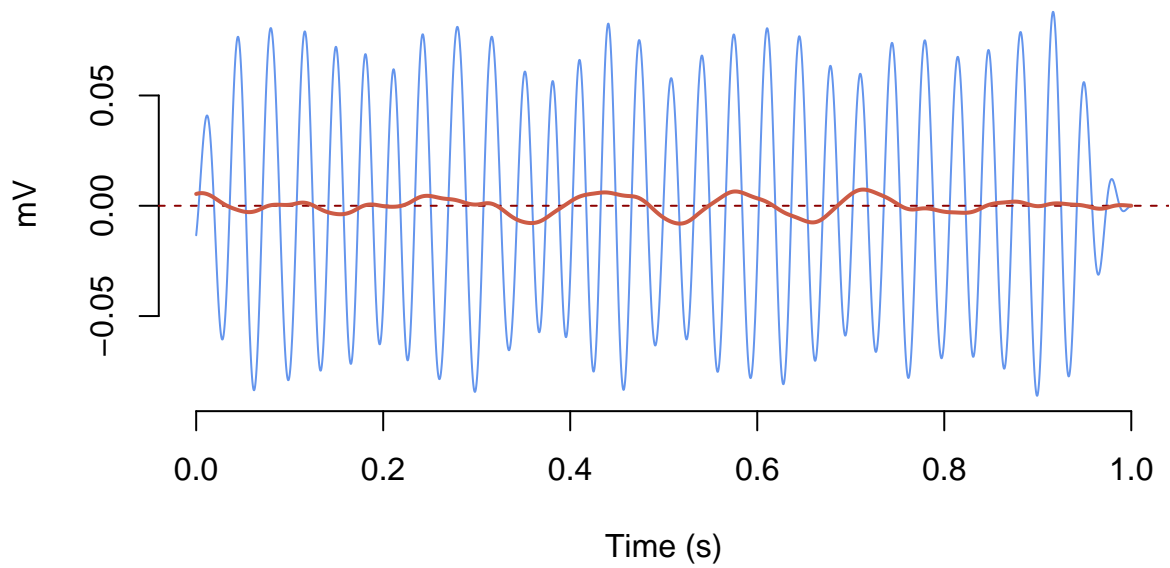
### LFP raw data



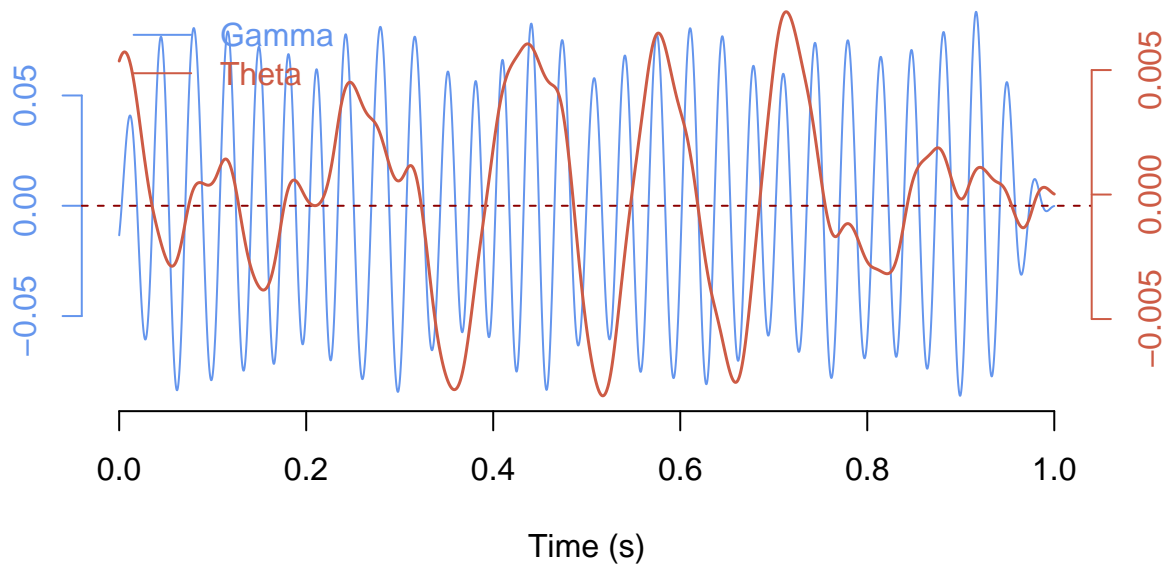
### LFP raw data, Filtered gamma and theta



**Gamma peaks over theta cycles  
(filter)**

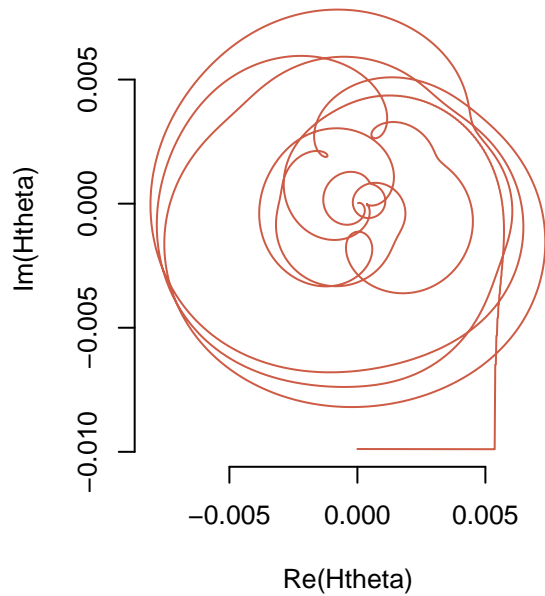


**Gamma peaks over theta cycles  
(filtered & scaled)**

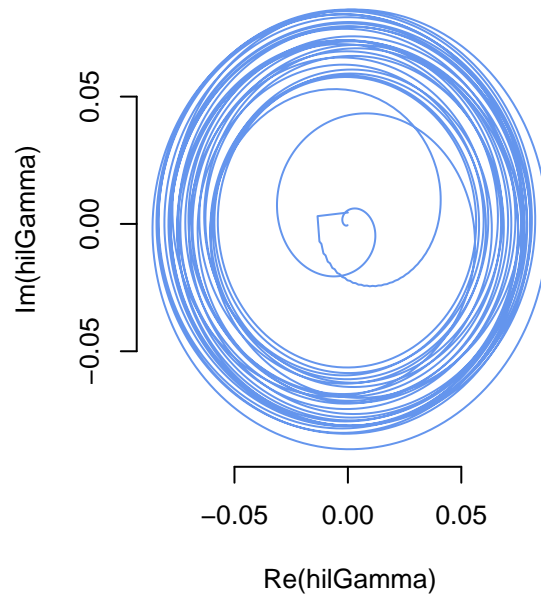


```
## [1] "Gamma peaks per Theta cycle: 3.33333333333333"
```

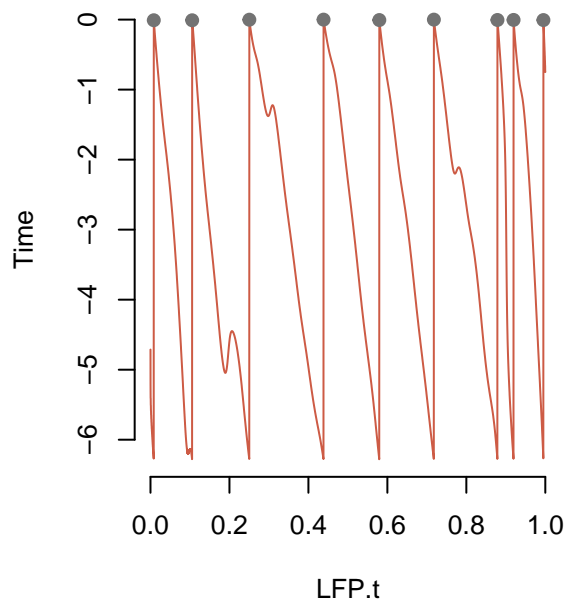
**Theta Hilbert**



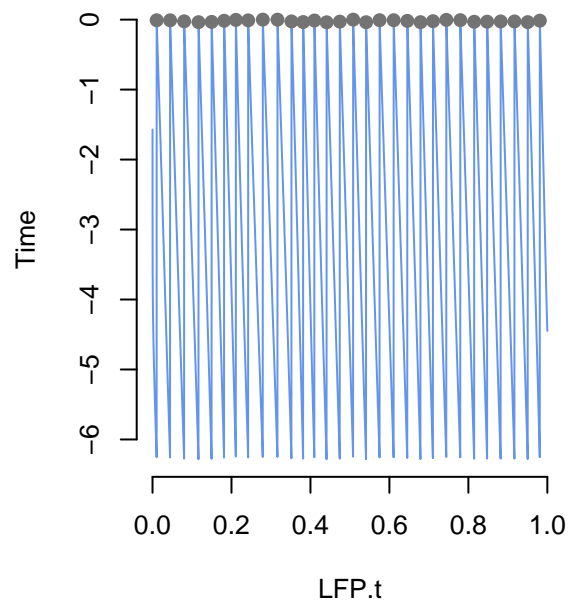
**Gamma Hilbert**



**Total Theta peaks: 9**



**Total Gamma peaks: 30**



matlab code

```
# ----- #
# I AM HERE
# encuentra el angulo de theta donde se encuentra los picos de gamma
```

```

gammaTheta=angTheta(subGamma);
figure(1)
subplot(1,2,1)
rose(gammaTheta)

# ----- #
# Vector length
# 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 LPF
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 evolucionando en 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>

## Further resources

1. (R for Matlab users)[<http://mathesaurus.sourceforge.net/octave-r.html>]
2. mat2r from matconv
3. (Numpy for R users)[<http://mathesaurus.sourceforge.net/r-numpy.html>]
4. (Fourier Transform: A R tutorial)[<http://www.di.fc.ul.pt/~jpn/r/fourier/fourier.html>]