

گزارش پروژه نهایی

***Group-level cortical and muscular connectivity during  
perturbations to walking and standing balance***

ثمین مهدی زاده

۸۱۰۱۰۰۵۲۶

## مقدمه

به دست آوردن تعادل در بدن فرآیند پیچیده ای است که در آن قسمت های مختلف بدن درگیر می شوند و با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند. مطالعاتی قبلی نشان می دهد که مغز در برقراری این تعادل نقش مهمی دارد اما اطلاعات زیادی راجع به این که اتصالات درون مغز و یا میان مغز و ماهیچه ها به چه صورت است وجود ندارد. در این تمرین این اتصالات با انجام آزمایش هایی مورد بررسی قرار میگیرد و در انتها نیز به کمک تست های آماری نتایج با یکدیگر مقایسه می شود.

## شرح آزمایش

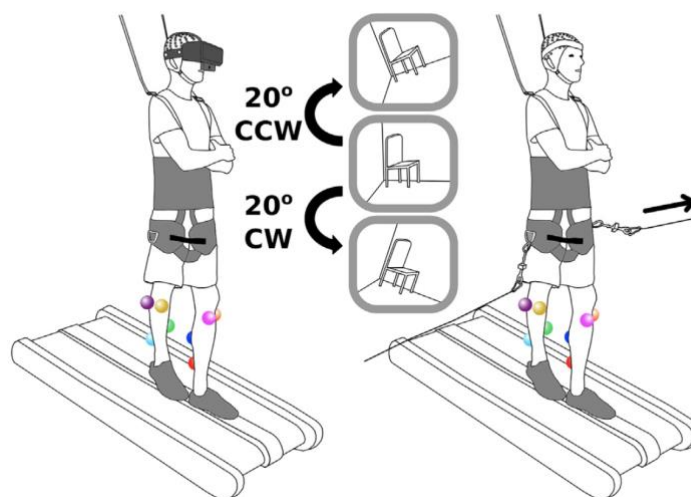
جهت بررسی اتصالات هنگام برقراری تعادل از ۱۵ زن و مرد در سنین ۲۲ تا ۲۷ سال کمک گرفته شده است. بر روی هر کدام از افراد چهار نوع آزمایش انجام می شود و داده های مغزی (به کمک EEG) و داده های ماهیچه ای (به کمک EMG) به دست می آید. آزمایش های انجام شده به صورت زیر تعریف می شوند:

(۱) در حالی که فرد بر روی میله وسط یک تردمیل قرار دارد و روی آن ایستاده است به کمر او فشار وارد می شود و فرد باید تلاش کند تا تعادل خود را حفظ کند.

(۲) در حالی که فرد بر روی میله وسط یک تردمیل قرار دارد و در حال راه رفتن بر روی آن است به کمر او فشار وارد می شود و فرد باید تلاش کند تا تعادل خود را حفظ کند.

(۳) در حالی که فرد بر روی میله وسط یک تردمیل قرار دارد و روی آن ایستاده است تصاویری که بیست درجه نسبت به حالت اصلی ساعتگرد یا پادساعتگرد چرخیده اند به او نشان داده می شود و فرد باید تلاش کند تا تعادل خود را حفظ کند.

(۴) در حالی که فرد بر روی میله وسط یک تردمیل قرار دارد و در حال راه رفتن بر روی آن است تصاویری که بیست درجه نسبت به حالت اصلی ساعتگرد یا پادساعتگرد چرخیده اند به او نشان داده می شود و فرد باید تلاش کند تا تعادل خود را حفظ کند.



در واقع این آزمایش سعی می کند تا تاثیر ایجاد اختلاتی در ورودی که از نوع اختلالات بینایی و یا کششی هستند را در دو تسک راه رفتن و ایستادن جهت برقراری تعادل مورد بررسی قرار دهد.

## جمع آوری داده ها و پردازش آن

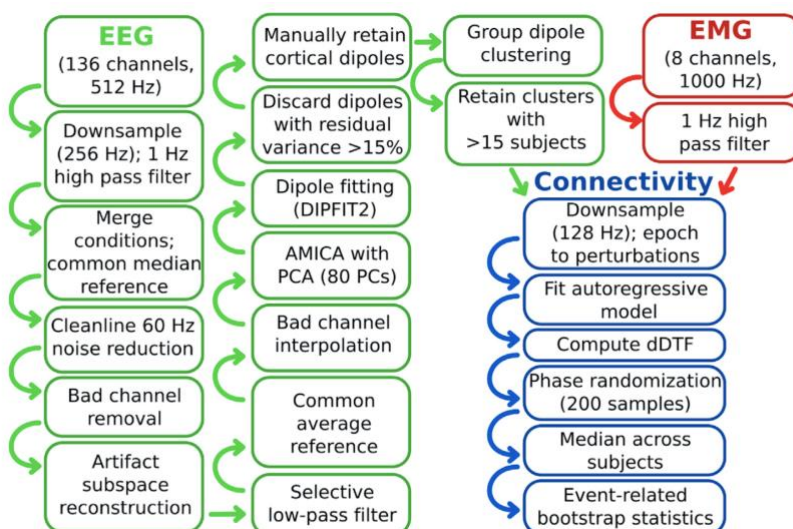
همان طور که پیش تر نیز گفته شد داده های مغزی به کمک EEG به دست می آیند که دارای ۱۳۶ کانال است و فرکانس امواج آن نیز برابر با ۵۱۲ هرتز است. پس از اعمال یک high-pass filter برو روی این داده ها و کاهش فرکانس (تا ۲۴۵ هرتز) کانال های نامناسب که واریانس داده ها در آن زیاد بوده از داده ها حذف می شود و با اعمال pca بعد آنها تا ۸۰ بعد کاهش می یابد در ادامه نیز به کمک این داده ها ۸ کلاستر درون مغز شناسایی می شود (نقاطی به عنوان کلاستر انتخاب شده اند که در آن حداقل نصف افراد داده داشته اند) و در ادامه تنها از این داده ها استفاده می شود.

داده های مربوط به ماهیچه ها نیز از ۸ قسمت (۴ ناحیه پای راست و ۴ ناحیه پای چپ) گرفته می شود و پس از اعمال یک high-pass filter با داده های مغزی ترکیب می شود.

داده های به دست آمده به یک مدل داده می شود تا به ازای هر فرد داده های پیش بینی شده را به عنوان خروجی برگرداند (در این روش از داده های اصلی استفاده نشده است بلکه از خروجی مدل کمک گرفته شده است). در انتها نیز برای به دست آوردن connectivity از تحلیل dDTf استفاده شده است که شباهت بسیاری به Granger causality دارد.

باید به این نکته توجه داشت که داده های موجود برای این مقاله هم شامل کلاستر های به دست آمده بودند و هم تحلیل dDTf بر روی آن انجام شده بود. علاوه بر این تعداد کانال های موجود در داده های برای هر فرد یکسان نیست و بسته به اینکه هر فرد در کدام کلاستر قرار دارد تعداد آنها متفاوت است. اما تمامی افراد داده های مربوط به ماهیچه ها را دارند و ۸ کانال آخر به داده های ماهیچه ای اختصاص داده شده است.

تصویر زیر مراحل پیش پردازش انجام شده بر روی داده را با جزئیات بیشتری نشان می دهد.



## تحلیل داده ها و نتایج به دست آمده

تحلیلات بر بروی داده های به دو صورت انجام شده است:

(۱) فعالیت ها و اتصالات در بازه ی میان  $-0.5$  تا  $1.5$  با حذف فعالیت های  $0.5$  ثانیه ی اول و در نظر گرفتن داده هایی که از لحاظ آماری اطلاعات متفاوتی با فعالیت های  $0.5$  ثانیه اول داشته اند. برای انجام این کار تمام داده های مربوط به  $0.5$  ثانیه اول جمع آوری شده و با انجام bootstrap بر روی داده ها تنها داده هایی که pvalue آنها کوچکتر از  $0.05$  بودند نگه داری شده اند.

(۲) تمامی فعالیت ها و اتصالات در بازه ی میان  $-0.5$  تا  $1.5$  (زمان صفر زمان اعمال اختلال در نظر گرفته شده است) و بررسی آن در باند های مختلف فرکانسی.

### (۱) بررسی فعالیت ها با حذف نیم ثانیه اول

در این قسمت فعالیت ها میان بخش های مختلف مغز و همچنین ماهیچه ها مورد بررسی قرار گرفته است:

۸ ناحیه مختلف مغز که به عنوان کلاستر در نظر گرفته شده اند به صورت زیر است:

Left Occipital, Right Occipital, Left Sensorimotor, Anterior Cingulate, Right Sensorimotor, Posterior Parietal , Supplementary Motor Area, Anterior Parietal

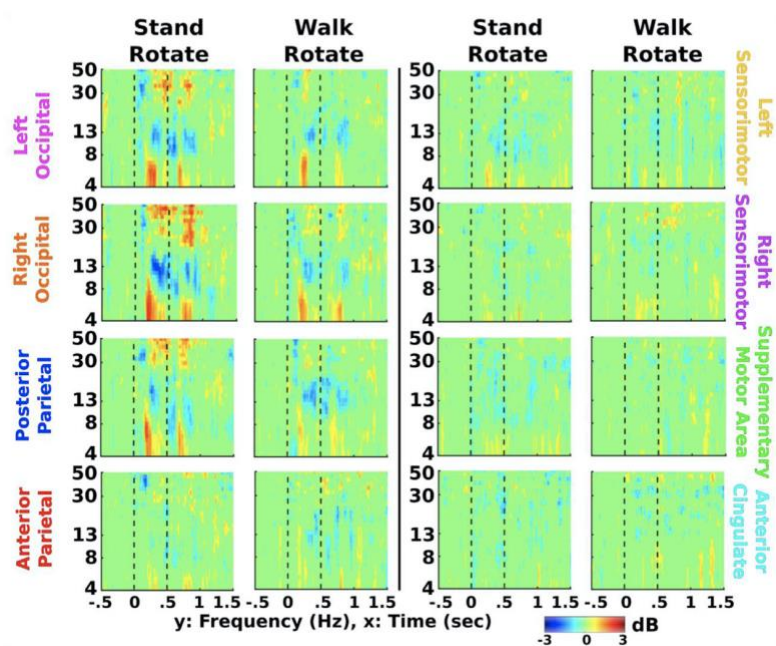
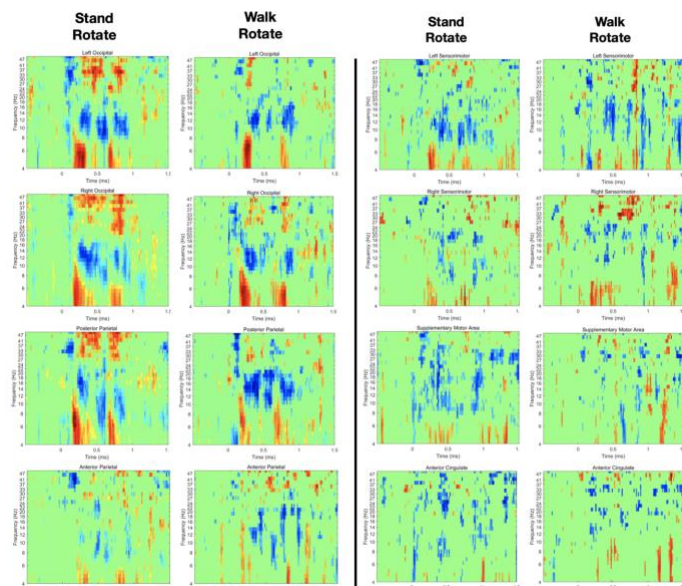
همچنین نواحی مربوط به ماهیچه ها به صورت زیر هستند:

Left Tibialis Anterior , Left Soleus, Left Medial Gastrocnemius, Left Peroneus Longus, Right Tibialis Anterior, Right Soleus, Right Medial Gastrocnemius, Right Peroneus Longus

لازم به ذکر است که در این بخش از complex Spectral Density استفاده شده است که توزیع توان در فرکانس های مختلف را برای داده در نظر می گیرد.

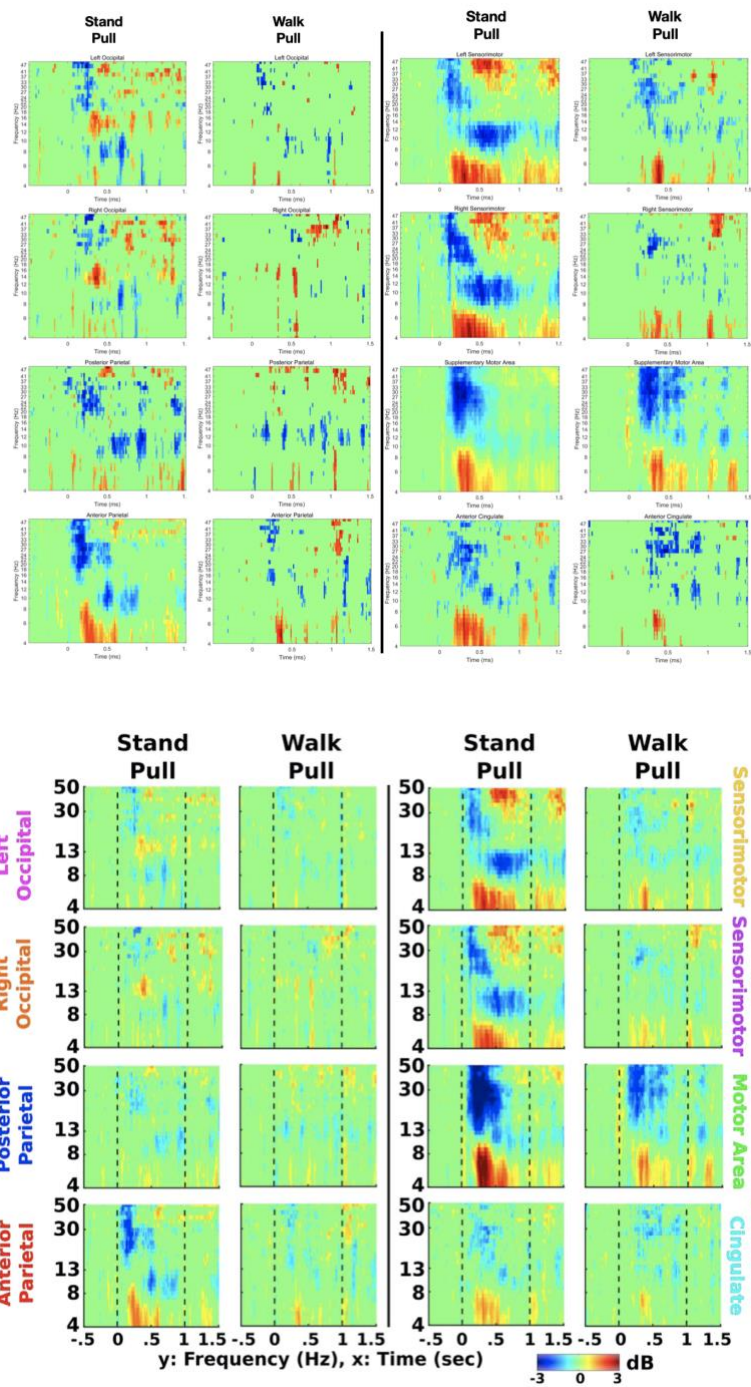
تصویر زیر نتایج مربوط به ایجاد اختلالات بینایی در دو تسک راه رفتن و ایستادن است. در این تصویر محور X زمان را نشان می دهد و محور Y با مقیاس لگاریتمی مربوط به فرکانس است و هر نقطه نیز مربوط به چگالی توان در زمان و فرکانس مشخص است.

در هر قسمت اولین تصویر نتایج حاصل از پیاده سازی و تصویر دوم نتایج به دست آمده از مقاله است. همچنین نقاط قرمز رنگ به معنای افزایش اتصال و نقاط آبی به معنای کاهش آن نسبت به نیم ثانیه قبل از شروع اختلال است.

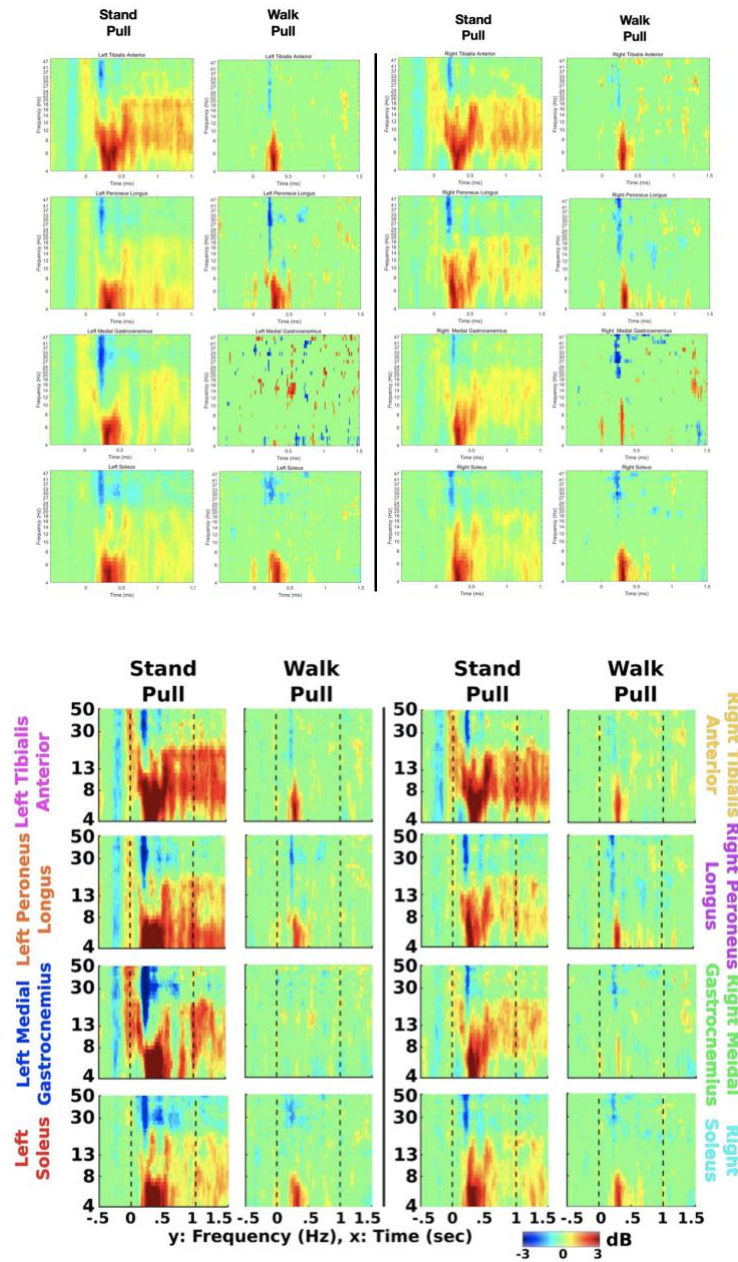


تصاویر بالا نشان می دهد که هنگام ایجاد اختلال بینایی و نشان دادن تصاویر rotate شده در نواحی مربوط به occipital و parietal الگوی یکسانی دیده می شود به این صورت که در فرکانس های پایین میزان اتصالات افزایش یافته سپس کاهش یافته و مجدداً افزایش می یابد. همچنین می توان دید هنگامی که فرد ایستاده بوده نسبت به حالتی که راه رفته است نقاط قرمز رنگ بیشتر هستند و اتصالات قوی تر بوده است.





هنگامی که اختلالات کششی وارد می شود نواحی بیشتری نسبت به حالت قبل درگیر می شوند و می توان دید که مجددا الگوی مشابهی در فعالیت ها میان نواحی موتوری وجود دارد. به طور دقیق تر می توان گفت این الگوی افزایش و کاهش در نواحی left/right sensorimotor, supplementary motor area, anterior parietal و anterior cingulate تکرار می شود. در اینجا نیز اتصالات در حالت ایستاده به نسبت راه رفته قوی تر هستند.



در انتها نیز نواحی مربوط به ماهیچه‌ها قرار دارند. نکته‌ای که در این جا به وضوح دیده می‌شود که این است که هنگامی که فرد در حالت ایستاده بابا اتصالات به شدت قوی تر شده‌اند. این موضوع در دو حالت قبل نیز مشاهده شد که نشان می‌دهد حتی تعریف تسک می‌تواند در قدرت این اتصالات و چگونگی آن‌ها تاثیر گذار باشد.

در هر سه حالت نشان داده شده اگرچه مقداری تفاوت میان نتایج مقاله و نتایج به دست آمده وجود دارد اما این تفاوت‌ها جزئی است و در هر دو پیاده‌سازی می‌توان دید که نوع تسک و همچنین اختلال ایجاد شده می‌تواند در ایجاد الگوها تاثیر گذار باشد.

## ۲) بررسی فعالیت ها به طور کلی و بدون حذف نیم ثانیه اول

در این بخش سه نوع فعالیت مورد بررسی قرار میگیرد و نتایج به دست آمده از تست های آماری نیز شرح داده می شود. اتصالات در نظر گرفته به صورت زیر هستند:

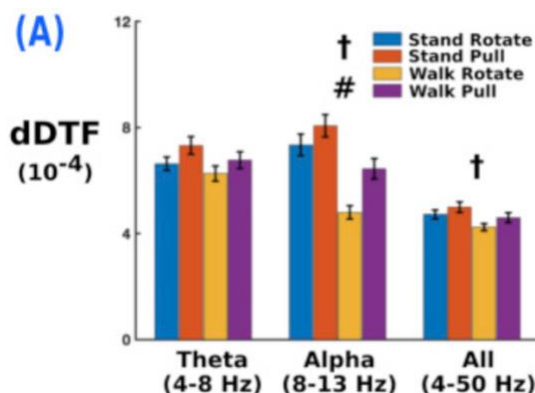
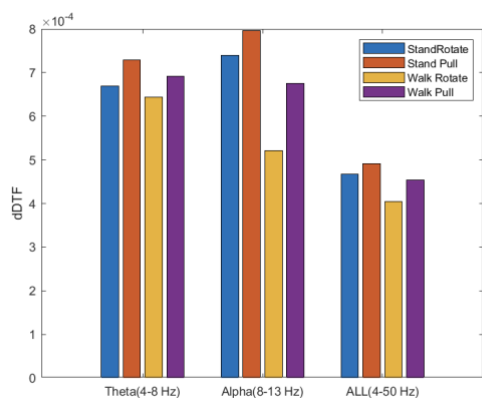
۱) cotico-cortical connectivity که مربوط به اتصالات میان ۸ کلاستر به دست آمده در مغز است.

۲) muscular connectivity که مربوط به اتصالات ماهیچه ها در یک پا و میان دو پاست.

۳) corticomuscular connectivity که مربوط به اتصالات از ماهیچه به سطح مغز و از مغز به ماهیچه است.

در هر کدام از نمودار ها نمودار سمت راست مربوط به مقاله و نمودار سمت چپ مربوط به پیاده سازی انجام شده است. همچنین برای انجام تست های آماری از t-test استفاده شده است.

### ۱) cotico-cortical connectivity



همان طور که مشاهده می شود دو نمودار مشابه هم هستند. نمودار ها نشان می دهد که در هر سه باند فرکانسی میزان connectivity هنگامی که اختلال از نوع کششی بوده بیشتر از حالتی است که اختلال در بینایی به وجود آمده است. علاوه بر این می توان دید که تسک های stand به نسبت تسک های walk اتصالات قوی تری داشته اند. از آنجا که بررسی تنها با نمودار کافی نیست لازم است که دو موضوع گفته شده با تست های آماری نیز مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این تست ها به صورت زیر است:



## -----cortico-cortical connectivity-----

### walk vs stand

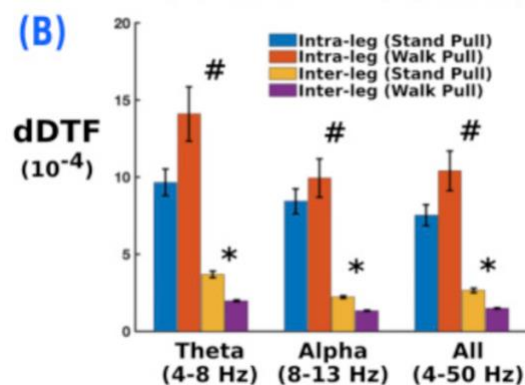
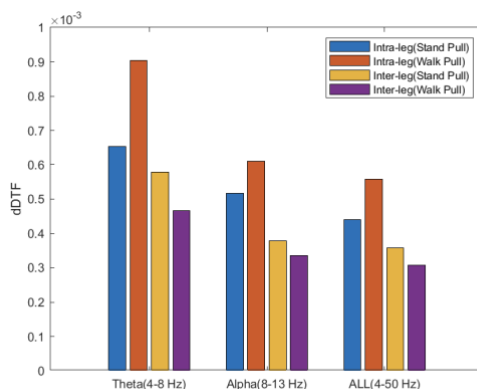
alpha band - pvalue:1.2285e-17  
theta band - pvalue:0.011267  
all band - pvalue:1.2131e-11

### pull vs rotation

alpha band - pvalue:1.4782e-09  
theta band - pvalue:0.00044584  
all band - pvalue:3.8023e-06

همان طور که مشاهده می شود مقدار  $p\_value$  برای تمامی حالات و در تمام باند های فرکانسی کمتر از 0.05 است به این معنی که واقعا اختلاف مشاهده شده از لحاظ آماری نیز معنا دار است. یکی از تفاوت هایی که پیاده سازی انجام شده با مقاله دارد در این است که در مقاله تست های آماری نشان داده نوع تسک انجام شده تنها در باند های فرکانسی  $\theta$  و  $\alpha$  از لحاظ آماری معنا دار است در حالی که در پیاده سازی انجام شده در تمام باند های فرکانسی معنا دار بوده است. همچنین نوع اختلال هم تنها در باند  $\alpha$  از لحاظ آماری significant بوده است.

## muscular connectivity(۲)



مشاهده می شود که دو نمودار مقداری با هم تفاوت دارند (دو ستون آخر در نمودار سمت راست به نسبت نمودار سمت چپ اختلاف بیشتری با دو ستون اول دارند) علت این تفاوت می تواند این باشد که در مقاله به طور دقیق ذکر نشده است که منظور از اتصالات یک پا چه بوده است (پای راست یا پای چپ یا میانگینی از هر دو) همچنین اتصالات میان دو پا نیز به روشنی ذکر نشده است (اتصالات از پای راست به چپ یا بالعکس و یا حتی میانگین آنها) با این حال از هر دو نمودار تحلیل های یکسانی به دست می آید (در پیاده سازی انجام شده میانگین دو پا برای اتصالات در نظر گرفته شده است)

در هر دو این نمودار ها می توان دید در تمام باند های فرکانسی در اتصالات درون یک پا connectivity بسیار بیشتر از میان دو پا بوده است. همچنین مشاهده می شود که در اتصالات میان دو پا هنگامی که تسک انجام شده stand باشد به نسبت walk بیشتر است. علاوه بر این نمودار نشان می دهد که بر خلاف حالت قبلی در اتصالات یک پا connectivity هنگامی که تسک stand باشد به نسبت walk کمتر است اگرچه تست های آماری نشان می دهد که این اختلاف معنا دار نیست و نباید به آن توجهی داشت. نتیجه تست های آماری برای فرضیه های گفته شده از روی نمودار به صورت زیر است. نتایج آماری با نتایج به دست آمده از مقاله همخوانی دارد و اختلافی میان آنها وجود ندارد.

-----muscular connectivity-----

intra-leg vs inter-leg

alpha band - pvalue:0.0011511

theta band - pvalue:0.002106

all band - pvalue:0.0013532

intra-leg stand and walk

alpha band - pvalue:0.35336

theta band - pvalue:0.31541

all band - pvalue:0.3174

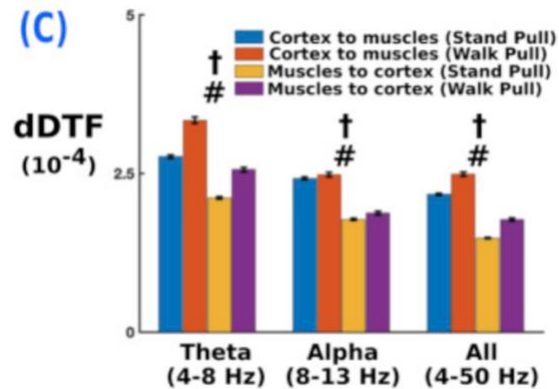
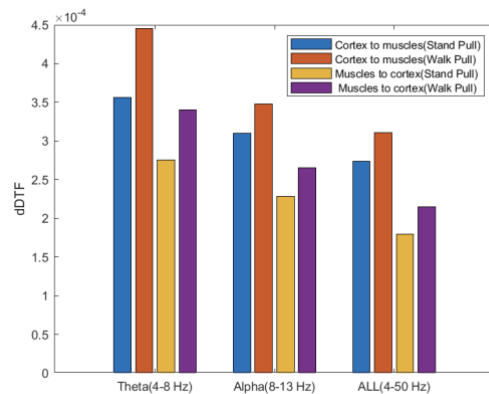
inter-leg stand and walk

alpha band - pvalue:0.001997

theta band - pvalue:0.0017571

all band - pvalue:0.0020452

### corticomuscular connectivity(۳)



دو نمودار بالا با یکدیگر یکسان هستند. همچنین می توان دید که در هر دو این نمودار و در تمامی باند های فرکانسی اتصالات میان cortex و ماهیچه ها هنگام راه رفتن به نسبت ایستادن افزایش داشته (بر خلاف دو حالت قبلی که حالت ایستاده connectivity بیشتری داشت) علاوه بر این اتصالات از cortex به ماهیچه های پا بیشتر از اتصالات ماهیچه به cortex بوده است. تست های آماری نیز این دو موضوع را تایید می کنند.(مقدار pvalue در تمامی حالات کوچکتر از 0.05 بوده است).

-----corticomuscular connectivity-----

corticomuscular stand and walk

alpha band - pvalue:3.7846e-13

theta band - pvalue:4.7484e-23

all band - pvalue:4.3575e-17

cortex to muscles vs muscles to cortex

alpha band - pvalue:1.8415e-32

theta band - pvalue:2.8853e-26

all band - pvalue:4.2703e-48

## نتیجه گیری

در این تمرین اتصالات میان نواحی مختلف مغز هنگام بررسی تعادل در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات انجام شده نشان داد که ایجاد اختلال کششی هنگام برقراری تعادل در حالت ایستاده موجی افزایش اتصالات در برخی نواحی مغز به خصوص نواحی موتوری می شود. علاوه بر این مشاهده شد که نوع تسک انجام شده در ایجاد این اتصالات تاثیر گذار است برای مثال در بسیاری از حالات هنگامی که تسک در حالت ایستاده انجام می شد اتصالات قوی تری مشاهده می شد. همچنین دیدیم که اختلالات متفاوت نیز نواحی مختلفی را درگیر می کند. برای مثال اختلالات مربوط به rotate بیشتر نواحی occipital و parietal را درگیر می کند در حالی که اختلالات pull به نواحی موتوری ربط پیدا می کند. به طور کلی می توان گفت بالا بردن اطلاعات در مورد عملکرد قشر مغز در هنگام ایجاد تعادل کمک می کند تا مشکلات حرکتی در این حوزه راحت تر شناخته شود و منبع این مشکلات با دید بازتری مورد بررسی قرار گیرد.