

The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Dorsolateral Prefrontal Cortex: a Review of its Role on Cognitive Functions

Bakhtiar Moslemi, Masoumeh Azmodeh*, Seyed Mahmoud Tabatabaei, Marzieh Alivandi Vafa

Department of Psychology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Article Info:

Received: 25 Jun 2019

Revised: 18 Sep 2019

Accepted: 25 Sep 2019

ABSTRACT

Introduction: The dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) is often selected as an excitatory target in the brain. A wide range of cognitive functions that can be modulated by the stimulation of this area makes it difficult to predict precise stimulation effect. The stimulation of DLPFC by transcranial direct current stimulation (tDCS) can be effective in modifying a wide range of cognitive activities. From a relatively simple and low-level activity, such as the attention process, to the complex cognitive functions, such as decision making and working memory, can be affected by tDCS. The effects of tDCS are very diverse and dependent on stimulation parameters, which sometimes lead to conflicting results. The aim of the present study was to investigate and identify various cognitive domains resulting from the effect of tDCS on DLPFC.

Conclusion: Several complex cognitive activities are carried out by the DLPFC. The stimulation of this area by tDCS simultaneously activates multiple cognitive processes. This can lead to the facilitation and sometimes inhibition of cognitive function, which subsequently may promote some behavior dysfunctions. To improve our understanding of the neurobiological mechanisms of tDCS on cognitive functions modulated by DLPFC, further investigations are needed.

Key words:

1. Transcranial Direct Current Stimulation
2. Cognition
3. Brain

*Corresponding Author: Masoumeh Azmodeh

E-mail: Mas_azmod@yahoo.com

تأثیر تحریک الکتریکی مغزی بر ناحیه پیش‌پیشانی پشتی - جانبی: مروری بر نقش آن در عملکردهای شناختی

بختیار مسلمی^۱، معصومه آزموده^{*}، سید محمود طباطبایی، مرضیه علیوندی وفا

گروه روانشناسی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله:

پذیرش: ۳ مهر ۱۳۹۸

اصلاحیه: ۲۷ شهریور ۱۳۹۸

دریافت: ۴ تیر ۱۳۹۸

چکیده

مقدمه: قشر پیش‌پیشانی پشتی - جانبی اغلب به عنوان یک هدف تحریک‌کننده در مغز انتخاب می‌شود. طیف وسیعی از عملکردهای شناختی که می‌توان با تحریک این ناحیه تعدیل نمود، پیش‌بینی اثر تحریک دقیق را دشوار می‌سازد. تحریک قشر پیش‌پیشانی پشتی - جانبی با تحریک الکتریکی مغزی می‌تواند در اصلاح دامنه وسیعی از فعالیت‌های شناختی مؤثر باشد. از یک فعالیت نسبتاً ساده و سطح پایین مانند فرایند توجه تا عملکردهای پیچیده شناختی مثل تصمیم‌گیری و حافظه کاری می‌توانند تحت تأثیر تحریک الکتریکی مغزی قرار بگیرند. اثرات تحریک الکتریکی مغزی بسیار متنوع و وابسته به پارامترهای تحریکی مختلفی است که گاهی اوقات منجر به نتایج متضاد می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی و شناسایی نتایج حوزه‌های شناختی ناشی از تأثیر تحریک الکتریکی مغزی بر قشر پیش‌پیشانی پشتی - جانبی بود. **نتیجه‌گیری:** فعالیت‌های شناختی پیچیده متعددی در قشر پیش‌پیشانی پشتی - جانبی انجام می‌گیرد. تحریک این ناحیه با تحریک الکتریکی مغزی همزمان چندین عملکرد شناختی را فعال می‌کند. این می‌تواند منجر به تسهیل و گاهی مهار عملکرد شناختی شود که متعاقباً ممکن است برخی اختلالات رفتاری را تقویت کند. برای بهبود درک ما از مکانیسم‌های عصبی تحریک الکتریکی مغزی بر عملکردهای شناختی تعدیل شده توسط قشر پیش‌پیشانی پشتی - جانبی، تحقیقات بیشتری مورد نیاز است.

کلید واژه‌ها:

۱. تحریک الکتریکی
۲. مستقیم مغزی
۳. شناخت
۳. مغز

* نویسنده مسئول: معصومه آزموده

آدرس الکترونیکی: Mas_azmod@yahoo.com

مقدمه

همچنان سؤالات بسیاری درباره مکانیسم‌های پایه و نحوه استفاده از آن‌ها در موقعیت‌های مختلف باقی مانده است. در سال ۱۸۳۱ دانشمندی به نام فارادی فرایند القاء الکترومغناطیسی را تشریح کرد که در آن تغییر میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی را در مدارهای الکترونیکی القاء می‌کند. امروزه با اتصال یک هسته فلزی به محرک مغناطیسی قرار دادن آن بر روی سر می‌توان جریان یونی و فعالسازی مدارهای عصبی را در مناطق مورد هدف از قشر مغز ایجاد کرد. در اواخر دهه نود میلادی نیز روش دیگری که با القاء جریان الکتریکی به بافت عصبی عمل می‌کرد معرفی شد و tDCS نام گرفت. در این روش الکتروود آند بر روی موضع مورد نظر و الکتروود کاتد به‌عنوان رفرنس بر روی محلی دور از موضع الکتروود آند متصل می‌گردد. جریان الکتریکی از الکتروود آند که تحریکی بوده به سمت الکتروود کاتد که مهاری است هدایت می‌یابد (۵) - (تصویر ۱).

مطالعاتی که با استفاده از تصویربرداری مغزی صورت گرفته‌اند، فعالسازی نواحی مغزی را به‌عنوان مثال در قشر حرکتی^۴ و قشر پیش‌پیشانی^۵، پس از اعمال tDCS نشان داده‌اند. برای مثال، مطالعه‌ای با استفاده از تصویربرداری PET^۶ نشان داد که جریان خون مغزی پس از تحریک الکتریکی در قشر پیش‌پیشانی چپ افزایش می‌یابد (۴).

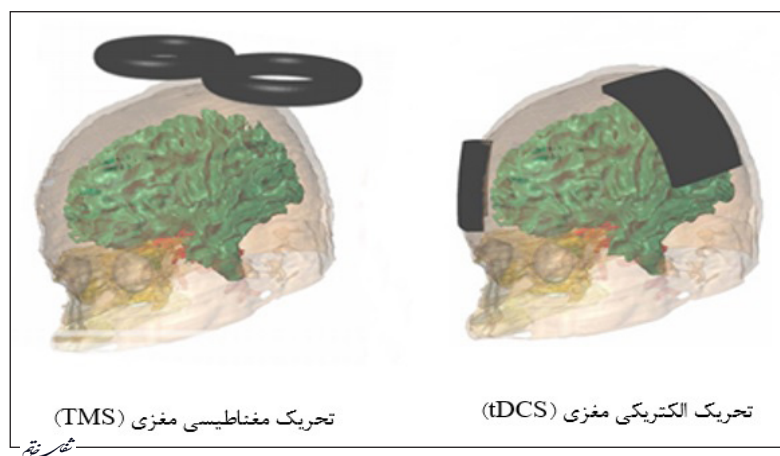
tDCS و مکانیسم عملکرد آن

تحریک الکتریکی مغزی از روش‌های درمانی مبتنی بر نوروپلاستیسیته سیستم اعصاب مرکزی در درمان بیماری‌های مختلف روانپزشکی و نورولوژی می‌باشد. این روش درمانی، از جمله روش‌های غیر تهاجمی است که برای تحریک عملکرد نورون‌ها در مغز بر پایه قابلیت جریان الکتریکی در عبور از مجسمه و پرده‌های مغزی و در نتیجه القای جریان الکتریکی در بافت مغز بنا نهاده شده است. tDCS یک ابزار ساده است که با

ایده مطالعه مبتنی بر عصب‌شناسی فرایندهای شناختی، در سال ۱۸۶۵ به وسیله بروکا به روش همبستگی آناتومی معرفی شد (۱). بروکا با مطالعه اثربخشی ضایعات مغزی در بیمار مشهورش مونسیرتن^۱ که ضایعه در نیمکره چپ مغزش موجب اشکال در تولید صدا شده بود، به این نتیجه رسید که ممکن است بین نواحی خاصی از مغز و عملکردهای شناختی رابطه علت و معلولی وجود داشته باشد (۲). این کشف در نهایت سبب ظهور علم نوروسایکولوژی شد که هدفش درک بهتر ارتباط بین رفتار و مغز می‌باشد. ظهور این علم منجر به علاقه گسترده به مطالعه بیماران با ضایعات مغزی شد. برای مثال طی جنگ جهانی دوم محققان به مطالعه اثرات آسیب‌های مغزی ناشی از به کار بردن سلاح‌های جنگی مرتبط با عملکردهای شناختی پرداختند (۳).

علی‌رغم مطالعات وسیع و متعدد روش‌های نوروسایکولوژی از طریق آسیب‌های مغزی و ارتباط آن با عملکرد شناختی، محققان هنوز هم به دنبال روش‌های بهتر برای تعیین ارتباط بین رفتار و بیماری‌های مغزی هستند. در ابتدا مطالعات اولیه، آسیب‌های معمولاً بزرگ که اغلب نواحی متعددی از مغز را درگیر می‌کرد مانند سکته‌های ایسکمیک مغزی و تروماهای مغزی که متعاقب آن عمکردهای چندگانه مغزی به طور همزمان دچار اختلال می‌شد مورد بررسی قرار گرفت. سرانجام با رشد و پیشرفت روش‌های غیر تهاجمی عصب‌شناختی در اوایل ۱۹۸۰ بررسی ارتباط بین مغز و رفتار در افراد سالم با دقت بیشتری امکان‌پذیر گردید (۴).

در دو دهه گذشته از دو فناوری تحریک مغناطیسی مغزی (rTMS)^۲ و تحریک الکتریکی مغزی (tDCS)^۳ برای درمان اختلالات نورولوژی و روانپزشکی و همچنین برای ارتقاء عملکردهای حرکتی و شناختی استفاده شده است. با وجود کاربردهای شناخته شده این دو روش،



تصویر ۱- تصویر سمت راست تحریک الکتریکی مغزی و تصویر سمت چپ تحریک مغناطیسی مغزی.

^۱ Monsieur tan

^۲ Transcranial direct current stimulation

^۳ Transcranial magnetic stimulation

^۴ Motor cortex

^۵ Prefrontal cortex

^۶ Positron emission tomography

هم در اثرات اصلاحی و هم در انتخاب پارامترهای tDCS است که منجر به تعداد زیادی از نتایج متفاوت شده است. برای نمونه ناحیه قشر پیش پیشانی خلفی - جانبی (DLPFC)^۸ که اغلب به عنوان ناحیه هدف برای tDCS انتخاب می شود به خاطر نقش متعدد آن در پردازش فرایندهای شناختی سطح بالا و پیچیده و ارتباط با هم در کاهش و افزایش عملکردهای اجرایی و هم تأثیر آن در حافظه فضایی، حافظه فعال، سیالی کلامی، خطرپذیری و اعتیاد مطرح می باشد (۲۰-۲۶).

تأثیر tDCS بر نواحی مختلف مغزی به فاکتورهای زیادی وابسته است که شامل: مونتاژ الکترود، سایز الکترودها، شدت جریان، مدت جریان القاء شده، شکل سر شرکت کنندگان، مقدار بافت چربی سر و ضخامت جمجمه است. بنابراین مقدار جریان القاء شده بر نواحی مغزی ممکن است در افراد متفاوت باشد، علاوه بر این نواحی مغزی و تجمع نورونی در زیر الکترود در عملکرد شناختی ویژه تأثیر دارد. سرانجام تحریک نواحی ویژه مغزی باعث ایجاد تغییرات گسترده در فعالیت مغز می گردد که می تواند تأثیر چندگانه بر عملکردهای شناختی به طور همزمان بگذارد. در این پژوهش، برای درک بهتر تأثیر tDCS بر قشر پیش پیشانی پشتی - جانبی، مروری بر پژوهش های ۲۰ سال قبل تا اکنون انجام شد و مطالعاتی که این ناحیه را تحریک نموده اند جمع آوری و از لحاظ مونتاژ الکترود، شدت و مدت جریان مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نتایج آن ها با هم مقایسه گردید. نواحی تحریکی بر اساس سیستم بین المللی الکترود ۱۰-۲۰ (تصویر ۲)، نواحی F4، F3 انتخاب شدند. همچنین بیشترین ناحیه ای که در مطالعات tDCS انجام گرفته همان ناحیه DLPFC می باشد.

قشر پیش پیشانی پشتی - جانبی

قشر پیش پیشانی پشتی - جانبی به این دلیل که در اعمال شناختی^۹ به ویژه عملکردهای اجرایی مانند حافظه کاری، برنامه ریزی رفتار مبتنی بر هدف^{۱۰}، تمرکز و کنترل مهارتی^{۱۱} نقش مهمی دارد، مورد توجه بسیاری از محققان است. به نظر می رسد هدف قرار دادن این قشر از مغز، ظرفیت بالایی در ارتقاء عملکردهای شناختی و تداخل با رفتارهای بیمارگونه داشته باشد. اثرات مفید تحریک الکتریکی بر روی قشر پیش پیشانی پشتی - جانبی سمت چپ بر روی حافظه کاری، پردازش اطلاعات، تمرکز و توجه، پردازش هیجانی و حل مسئله گزارش شده است.

قشر پیش پیشانی در شبکه عصبی درگیر در پردازش خلق و هیجان نقش دارد. علاوه بر این بین دو نیمکره مغز نیز تفاوت هایی از نظر پردازش هیجان های مثبت و منفی وجود دارد. به طوری که نیمکره راست بیشتر هیجان های منفی و نیمکره چپ بیشتر در

استفاده از الکترودهای نسبتاً بزرگی که روی سر فرد قرار می گیرد، یک جریان الکتریکی پیوسته و خفیفی را از سر عبور می دهد. اثربخشی tDCS بستگی به جهت جریان الکتریکی دارد؛ تحریک آندی میزان فعالیت و برانگیختگی مغز را افزایش می دهد و تحریک کاتدی برعکس، فعالیت را کاهش می دهد (۶). این جریان توسط یک مولد جریان مستقیم ناشی از یک باتری ۹ ولتی ارائه می شود و با استفاده از آن، تغییرات بلندمدت در قطبیت قشر مغز به دنبال دپلاریزاسیون و هیپرپلاریزاسون نورون ها و تأثیر بر گیرنده های عصبی، ایجاد می شود. جریانی که به این ناحیه رسیده، نورون ها را دارای بار الکتریکی کرده و باعث ایجاد قطب مثبت و منفی می گردد که منجر به تغییر فعالیت آن ناحیه می شود. به عبارت دیگر، در این نوع تحریک الکتریکی نقاطی از سر با استفاده از جریان های ضعیف الکتریکی هدف قرار می گیرند (۷). تحریک پذیری مغز توسط tDCS که از طریق جریان ضعیف الکتریکی مستقیم اعمال می شود، وابسته به پلاریتی بوده و با تغییرات در پتانسیل غشا همراه است (۸). مطالعات مختلف نشان داد که تحریک آند باعث افزایش میزان تحریک پذیری نورون های قشر توسط دپلاریزیشن غشا می شود و کاتد منجر به هایپرپلاریزیشن و در نتیجه کاهش تحریک پذیری آن ها می شود (۹) در مطالعات دیگر نشان داده شده است که ۱۰ دقیقه tDCS آندی به طور چشمگیری باعث کاهش غلظت گابا می شود و تحریک کاتدی منجر به کاهش چشمگیری در تسهیل درون قشر می شود. همچنین با تحریک کاتدی غلظت گلوتامات در قشر به طور چشمگیری کاهش می یابد. اثرات پس از تحریک tDCS توسط سروتونین، دوپامین و استیل کولین هم تنظیم می شود (۱۰-۱۲). از اثرات دیگر تحریک مغز می توان به افزایش جریان خون ناحیه ای در مغز^۷ اشاره کرد. اگر چه مکانیسم tDCS به طور کامل روشن نشده است ولی می توان نتیجه گرفت که tDCS نه تنها باعث تحریک پذیری خود به خودی نورون ها با تغییر پتانسیل غشا می شود بلکه با تغییر عملکرد سیناپس ها باعث ایجاد تغییرات نوروپلاستیک می شود (۱۳).

در ابتدا مقالات اولیه به مطالعه استفاده از tDCS بر قشر حرکتی به خاطر امکان اندازه گیری مستقیم افزایش و کاهش برانگیختگی قشر به کار برده شد. زمانی که اثربخشی آن نشان داده شد مطالعات وسیعی در مورد اثربخشی tDCS بر سایر عملکردهای مغزی از قبیل بینایی، زبان، حافظه و یادگیری شروع شد (۱۴-۱۶). همچنین پژوهش هایی بر روی اختلالات نورولوژی و روانپزشکی از قبیل افسردگی، سکتاهای مغزی و اسکیزوفرنیا افزایش پیدا کرد (۱۷-۱۹) در حقیقت بیش از دو هزار مقاله پژوهشی در مدت ۲۰ سال گذشته در مورد استفاده از tDCS و عملکردهای مغزی چاپ شده است، اگرچه این مطالعات به بررسی اثربخشی tDCS بر فعالیت های شناختی می پردازد اما فاقد پایداری نسبی و مشخص

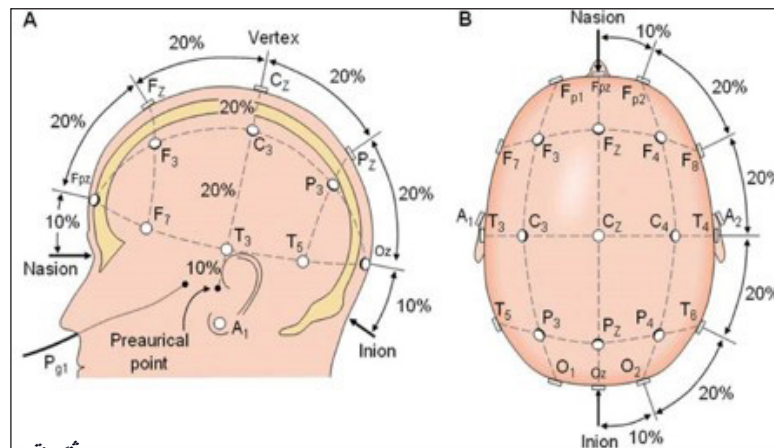
⁷ rCBF

⁸ Dorsolateral prefrontal cortex

⁹ Cognitive functions

¹⁰ Goal-directed behavior

¹¹ Inhibitory control



تصویر ۲- نواحی F4, F3 یا ناحیه قشر پیش‌پیشانی پشتی -جانبی (DLPFC) چپ و راست.

کاهش عملکرد حافظه فعال با تحریک مهاري کاند بر ناحیه چپ DLPFC (۳۲) و تحریک آندی بر روی ناحیه چپ DLPFC (۳۴) و تحریک دو طرفه ناحیه DLPFC (آند چپ و کاند راست) اشاره کرد (۳۵). به طور کلی در مقاله مروری حاضر پروتکل ویژه tDCS بر روی ناحیه DLPFC دو نتیجه به همراه دارد، tDCS موجب تسهیل دامنه وسیع و متنوعی از عملکردهای شناختی شود و یا می‌تواند منجر به اثرات متضادی شود.

این پژوهش بر این واقعیت تاکید می‌کند که tDCS بر روی ناحیه قشر پیش‌پیشانی پشتی -جانبی می‌تواند موجب اصلاح دامنه وسیعی از رفتارها و عملکردهای شناختی باشد و این حقیقت که اثرات فیزیولوژی تأثیر tDCS بر مغز بسیار متنوع و به ویژگی‌های فردی وابسته است. اگرچه مکانیسم تأثیر tDCS بر عملکردهای شناختی پیچیده است اما به صورت تئوری تحریک آندی tDCS موجب افزایش برانگیختگی در نواحی زیر الکترود آند و برانگیختگی عملکرد آن ناحیه می‌شود، در حالی که اثرات متضاد آن وقتی رخ می‌دهد که الکترود کاند بر روی ناحیه مورد نظر، باعث کاهش برانگیختگی در این ناحیه می‌شود (۳۶).

قطبیت پذیری

گرچه اثرات کاند در اغلب مطالعات مهاري بوده است اما در تعدادی از تحقیقات اثرات تحریک‌پذیری^{۱۲} را در ارتباط با الکترود کاند تحریکی گزارش داده‌اند (۳۶). این نشان می‌دهد که این اثر ممکن است به دلیل کاهش نویز در یک شبکه خاص باشد که امکان تسهیل رفتار را فراهم می‌کند. به طور متناوب، ممکن است که تحریکات کاندی یک عملکرد خاص را مهار کند که در نتیجه یک رفتار خاص را افزایش می‌دهد (۳۶). مطالعه باتسی‌کدز^{۱۳} و همکاران نشان داد با تحریک کاندی tDCS به مدت ۲۰ دقیقه بر ناحیه قشر حرکتی (الکترود رفرنس بر روی سوپر اوربیتال) وقتی

پردازش هیجانات مثبت درگیر می‌باشد. در مطالعات مختلف نشان داده شده است که قشر پشتی جانبی پیش‌پیشانی نیمکره چپ DLPFC در حضور محرک‌های هیجانی مثبت، بیشتر فعال می‌شود. همچنین آسیب DLPFC چپ در پی سکته مغزی، تروما یا صرع اغلب با افسردگی همراه است در حالی که آسیب DLPFC راست با خلق بالا همراه می‌باشد (۲۷). مشخص شده است که تحریک DLPFC با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی tDCS با تغییر خلق به حالت هیجانی مثبت همراه است (۲۸). مطالعات جدید با هدف تغییر فعالیت قشر پیش‌پیشانی و ایجاد تعادل بین فعالیت قشر پیش‌پیشانی نیمکره چپ و راست، اثرات معنی‌دار tDCS را بر کاهش علائم اختلال افسردگی اساسی نشان داده‌اند (۲۹).

تعدادی از مطالعات، تأثیرات الکتریکی مغزی را بر جنبه‌های گوناگون توجه (انتخابی، مداوم و تجزیه شده)^{۱۴}، حافظه فعال، حافظه فعال کلامی و دیداری مورد ارزیابی قرار داده‌اند. عمدتاً مطالعاتی که به بررسی تأثیر الکتریکی مغزی بر کارکردهای شناختی می‌پردازند به صورت دو نوع تأثیر تحریکی و مهاري می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به طور خلاصه tDCS با تحریک DLPFC می‌تواند طیف وسیعی از عملکردهای شناختی مانند: یک فعالیت نسبتاً ساده و سطح پایین مانند فرایند توجه تا عملکردهای سطح بالا و پیچیده شناختی مثل تصمیم‌گیری و حافظه کاری را تعدیل نماید. نتایج همچنین نشان می‌دهد که اثرات tDCS بسیار متنوع و وابسته به پارامترهای تحریک است، همانطور که در مطالعات حافظه فعال توضیح داده شد برای نمونه می‌توان به افزایش حافظه فعال با تحریک کاندی بر روی ناحیه چپ DLPFC (۳۰)، تحریک آندی بر روی ناحیه چپ DLPFC (۳۱-۳۳) و با تحریک آندی بر روی ناحیه راست DLPFC (۳۳) و همچنین

¹² Attention (selective, sustained, divided)

¹³ Polarity

¹⁴ Batsikadze

زیادی از پارامترهای تحریک وجود دارد که می‌توانند پاسخ فیزیولوژیکی به tDCS را تعدیل کنند. در میان آن‌ها بزرگترین اندازه الکترود، طول تحریک و شدت تحریک است. همانطور که در ضمیمه ۱ دیده می‌شود. پارامترهای مطالعات به صورت گسترده‌ای متفاوت است و به طور قابل ملاحظه‌ای تعمیم دادن و مقایسه نتایج بین مطالعات را محدود می‌کند.

عوامل فردی

ویژگی‌های فردی شرکت‌کنندگان نیز جزو عوامل مهمی است که به تغییرات مشاهده شده در مطالعات اثر tDCS بر روی قشر پیش‌پیشانی کمک می‌کند. اندازه و شکل مجموعه شرکت‌کننده و همچنین مقدار بافت چربی آن به تأثیر فیزیولوژیکی tDCS تأثیر می‌گذارد. حضور همزمان این عوامل مختلف، نشان می‌دهد که میزان جریان القا شده در ناحیه خاص مغز می‌تواند به طور گسترده‌ای متفاوت باشد.

بنابراین تعجب‌آور نیست که پاسخ رفتاری به tDCS در ناحیه DLPFC نیز به فاکتورهای متعددی بستگی دارد. تمام این عوامل به واسطه این واقعیت است که اندازه نمونه‌ها در مطالعات tDCS قشر پیش‌پیشانی نسبتاً کم است. بررسی اثر کاتدی و آنودی بر تحریک‌پذیری قشر حرکتی نشان داد که بر اساس داده‌های به دست آمده در افراد سالم، حداقل ۸۷ نفر از هر گروه برای دستیابی به سطح معنی‌داری و اطمینان برای تعیین تفاوت معنی‌داری بین بیماران و افراد سالم ضروری هستند. لازم به ذکر است که میانگین اندازه نمونه برای مطالعات موجود در این بررسی تنها ۲۳ شرکت‌کننده بود (۴۲).

سخن آخر آنکه tDCS یکی از روش‌های غیر تهاجمی در تحریک مغز است که در متون علمی گزارشات متعددی از این روش برای تغییر دادن فعالیت‌های شناختی مغز وجود دارد. موفقیت‌های بسیاری در استفاده از این روش در درمان اختلالات شناختی و همچنین به دلیل ارتقاء و بالاتر بردن عملکردهای شناختی در افراد سالم و طبیعی به دست آمده است. برخی دیگر از کاربردهای آن و همچنین استفاده از برخی از این تکنولوژی‌ها فعلاً در شرایط آزمایشگاهی محدود مانده و نیاز به بررسی‌های آزمایشگاهی و بالینی بیشتری دارند. در مجموع از تحقیقاتی که اثرات tDCS را بر روی قشر پیش‌پیشانی پشتی - جانبی افراد سالم و همچنین افراد دچار بیماری‌های روانپزشکی به کار برده‌اند می‌توان دریافت که این روش یک روش مؤثر در ارتقاء کارکردهای شناختی از قبیل حافظه کاری، توجه، حل مسئله، پردازش هیجانی، تصمیم‌گیری و عملکردهای اجرایی می‌باشد. هنگام استفاده از tDCS بر روی DLPFC با مجموعه‌ای از پارامترهای خاص، می‌توان یک عملکرد شناختی ویژه

که شدت تحریک از یک میلی‌آمپر به دو میلی‌آمپر تغییر داده شد علی‌رغم انتظار این مناطق بجای مهار عملکرد، باعث افزایش تحریک‌پذیری قشر مغزی در این ناحیه شد (۳۷). این نشان می‌دهد که پارامترهای مختلف تحریک می‌تواند به طور مستقیم بر تغییرات ناشی از تحریک‌پذیری قشری ناشی از tDCS تأثیر بگذارد. در مطالعاتی که در این بررسی مرور شده‌اند، شدت تحریک از ۱ تا ۲ میلی‌آمپر متغیر بود، مدت زمان تحریک از ۳ دقیقه تا ۳۰ دقیقه متغیر بود. این نوسانات در انتخاب پارامترها ممکن است باعث تغییرات متنوع در عملکردهای شناختی ناشی از تحریک ناحیه پیش‌پیشانی شود.

اصل وابسته به حالت

در این اصل، اثرات tDCS روی ناحیه DLPFC بسیار وابسته به وضعیت شبکه هدف اصلی است، یک اصل شناخته شده به عنوان "وابستگی - حالت" است (۳۹، ۳۸، ۲۶). به عبارت دیگر، هر فعالیت ناشی از tDCS در زمینه فعالیت عصبی پایه یا یک حالت خاص رخ می‌دهد (۴۰). از طرفی دیگر، به علت شدت میزان شلیک نورون‌های بهم پیوسته، جریان ایجاد شده توسط tDCS ممکن است به اندازه کافی قوی نباشد تا به طور قابل ملاحظه‌ای فعالیت شبکه را تعدیل کند و تغییرات رفتاری را ایجاد نماید (۴۱). اگر تأثیر tDCS وابسته به وضعیت شبکه‌ها باشد، بنابراین باید وابسته به کار و عملکرد خاصی باشد که افراد درگیر آن هستند. در نتیجه، عملکرد شناختی هدف دارای احتمال بیشتری برای تغییر و تعدیل است و انتظار می‌رود پروتکل tDCS منجر به نتایج متفاوت شود. به طور مشابه، دستورالعمل‌هایی که برای شرکت‌کنندگان در مطالعه قبل از tDCS ارائه می‌شود، پیش‌بینی می‌کند که اثرات قابل توجهی بر نتایج داشته باشند و بنابراین باید با برنامه‌ریزی دقیق کنترل شوند. تحقیق بیشتر و استفاده از اثر "وابسته به حالت" می‌تواند مطالعات tDCS بر روی قشر پیش‌پیشانی را برای تبیین تأثیرات تحریک یک شبکه یا عملکرد هدفمند ترجیح دهد. تا به امروز، مطالعات بسیار کمی این عامل مهم را مورد توجه قرار داده‌اند: در مقالات موجود در این بررسی تنها پنج مورد تأثیر وابستگی به حالت را ذکر کرده‌اند.

عوامل بین فردی

مطالعات اخیر در مقیاس بزرگ، تفاوت‌های بین دو عامل اثر tDCS را بر تحریک‌پذیری قشر مغزی ارزیابی کرده و تغییرات زیادی را در پاسخگویی به تحریکات شرکت‌کنندگان نشان داده است (۴۲، ۴۳). نتایج لوپز، آلونسو و همکارانش^{۱۶} نشان داد که تنها ۴۵ درصد از شرکت‌کنندگان در مورد تحریک آنودی tDCS پاسخ می‌دهند (۴۳). همانطور که قبلاً ذکر شد، تعداد

¹⁵ State-dependency

¹⁶ Lopez-alonso and colleagues

عملکردهای شناختی چندگانه از قبیل یک فعالیت نسبتاً ساده و سطح پایین تا عملکردهای سطح بالا و پیچیده مرتبط است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که اثرات tDCS بسیار متنوع و وابسته به پارامترهای تحریک است. این به نوبه خود باعث می‌شود که یک اثر مشاهده شده بر روی یک عملکرد خاص به یک مکانیسم واحد، حداقل با پروتکل‌های تحریک سنتی، مرتبط شود.

را تعدیل کرد. با این حال، همانطور که در این بررسی مشخص شده است، با اجرای یک پروتکل تحریکی tDCS به طور همزمان می‌توان عملکردهای مختلف شناختی دیگر را در جهات مشابه یا مخالف (به‌عنوان مثال، تسهیل یا مهار) تعدیل کرد. این بدین معنی است که هر اثر tDCS پیش‌پیشانی بر روی یک کار داده شده، احتمالاً با تعدیل وسیع طیف گسترده‌ای از

ضمیمه ۱- خلاصه‌ای از نتایج مطالعات مختلف از تأثیر tDCS روی نواحی DLPFC (* جهت یادآوری DLPFC راست همان ناحیه F4 و DLPFC چپ F3 می‌باشد. SO ناحیه سوپر اوربیتال می‌باشد. نواحی F3, F4, FP2, CZ بر اساس سیستم الکتروود ۱۰-۲۰ EEG مشخص و نامگذاری شده است که در تصویر ۲ نشان داده شده است.

پژوهشگر	هدف	ناحیه هدف	مونتاز	مدت تحریک	شدت جریان	نتایج
قرمگی و همکاران (۲۰۰۵) (۴۴)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۱۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
مارشال و همکاران (۲۰۰۵) (۳۵)	حافظه کاری	DLPFC چپ/راست	آند F3 کاتد F4	۱۵ دقیقه	۲۶۰ میکروآمپر	افزایش عملکرد
قرمگی و همکاران (۲۰۰۶) (۳۴)	پردازش هیجانی	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	کاهش هیجانات منفی در افراد افسرده
فکتیو و همکاران (۲۰۰۷) (۴۵)	ریسک‌پذیری	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاتد F3/F4	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	موثر بر ریسک‌پذیری
ناک و همکاران (۲۰۰۷) (۴۶)	ولع غذایی	DLPFC چپ/راست	آند F3 کاتد F4	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد
یزپور و همکاران (۲۰۰۷) (۴۷)	تصمیم‌گیری	DLPFC چپ/راست	آند F3 کاتد SO	۱۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عملکرد
بیلی و همکاران (۲۰۰۸) (۴۸)	ریسک‌پذیری	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاتد ماستوئید	۱۵ دقیقه	۱ میلی آمپر	کاهش رفتارهای ریسک‌پذیری
بیلی و همکاران (۲۰۰۸) (۲۰)	عملکرد اجرایی (تکانش‌گری)	DLPFC راست	آند FC3 کاتد ماستوئید	۵/۵ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	بهبود عملکرد
یاگیو و همکاران (۲۰۰۸) (۳۱)	ادراک درد	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	کاهش ادراک درد
اوهن و همکاران (۲۰۰۸) (۴۹)	حافظه کاری کلامی	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۳۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
یاگیو و همکاران (۲۰۰۹) (۷)	پردازش هیجانی	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	کاهش هیجانات منفی
جو جم و همکاران (۲۰۰۹) (۵۰)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش حافظه کاری
کانگ و همکاران (۲۰۰۹) (۵۱)	توجه	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش توجه نسبت به گروه شاهد
سیرونی و همکاران (۲۰۰۹) (۵۲)	حل مسئله	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	بهبود عملکرد
دوکری و همکاران (۲۰۰۹) (۲۱)	عملکرد اجرایی (طراحی)	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۱۵ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
المر و همکاران (۲۰۰۹) (۵۳)	یادگیری کلامی	DLPFC چپ/راست	آند F3 یا F4 کاتد ماستوئید	۵ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	اختلال عملکرد حافظه کلامی کوتاه‌مدت
قرونانی و همکاران (۲۰۰۹) (۵۴)	زبان (اسم‌پیشی)	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۱۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	تسهیل عملکرد
هیچ و همکاران (۲۰۱۰) (۵۵)	تصمیم‌گیری	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاتد F3/F4	۲۲ دقیقه	۲ میلی آمپر	بهبود عملکرد
ماملی و همکاران (۲۰۱۰) (۵۶)	تصمیم‌گیری	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاتد دلتوئید راست	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	بهبود عملکرد
یاگیو و همکاران (۲۰۱۰) (۵۷)	تصمیم‌گیری	DLPFC چپ	آند F4/F3 کاتد F3/F4	۱۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	بهبود تصمیم‌گیری
آمیریوس و همکاران (۲۰۱۱) (۵۸)	یادگیری طبقه‌بندی شده	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاتد CZ	۱۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	کاهش عملکرد

منبع

آندرز و همکاران (۲۰۱۱) (۵۹)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
ینه گومز و همکاران (۲۰۱۱) (۶۰)	تنظیم هیجانی (پردازش هیجانات منفی)	DLPFC چپ	آند F3 کاند C4	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	پردازش کند هیجانات منفی و تنظیم هیجانی
هامر و همکاران (۲۰۱۱) (۶۱)	حافظه	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۳۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
لیت و همکاران (۲۰۱۱) (۶۲)	عملکرد اجرایی	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۵ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
مالکونی و همکاران (۲۰۱۱) (۶۳)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
ینه گومز و همکاران (۲۰۱۱) (۶۴)	پردازش هیجانی	DLPFC چپ	آند F3 کاند F4	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش تنظیم هیجانی
تدو و همکاران (۲۰۱۱) (۳۲)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
زاهله و همکاران (۲۰۱۱) (۶۵)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاند ماستوید مخالف	۱۵ دقیقه	۱ میلی آمپر	آند: افزایش عملکرد کاند: کاهش عملکرد
میناتی و همکاران (۲۰۱۲) (۶۶)	تصمیم گیری پرخطر	DLPFC چپ	آند F4/F3 کاند F3/F4	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش پاسخ های مطمئن و قوری و قبول و رد آن
یالکونی و ویتالونی (۲۰۱۲) (۶۷)	پردازش یکپارچگی معنایی	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد
گلادوین و همکاران (۲۰۱۲) (۶۸)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
هورنسیوس و همکاران (۲۰۱۲) (۶۹)	تنظیم هیجانی	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد
جوادی و ولس (۲۰۱۲) (۳۰)	حافظه آشکار	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	آند: افزایش عملکرد حافظه کاند: تخریب عملکرد حافظه
جوادی و همکاران (۲۰۱۲) (۷۰)	حافظه کلامی	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۳ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عملکرد حافظه
جون و هان (۲۰۱۲) (۷۱)	حافظه فعال، توجه، عملکرد اجرایی	DLPFC چپ راست	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد حافظه
لیت و همکاران (۲۰۱۲) (۳۲)	عملکرد اجرایی	DLPFC چپ راست	آند F3 کاند F4	۳۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد
مایوکا و همکاران (۲۰۱۲) (۷۲)	انعطاف پذیری ذهنی	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	کاهش هیجانات منفی
متیوکی و همکاران (۲۰۱۲) (۷۳)	پردازش هیجانی	DLPFC چپ	آند F3 کاند FP2	۱۱ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش عملکرد
میلیوس و همکاران (۲۰۱۲) (۷۴)	عملکرد اجرایی (حل مسئله)	DLPFC چپ راست	آند F4/F3 کاند SO	۲ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش تحمل نسبت به درد
نیچه و همکاران (۲۰۱۲) (۷۵)	حافظه کاری و ادراک درد	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۰-۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد

مشتق

سیلا و همکاران (۲۰۱۲) - (۷۶)	پردازش هیجانی	DLPFC چپ/راست	آند F3 کاند F4	۱۵ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عملکرد
وانورسال و همکاران (۲۰۱۲) - (۲۴)	ادراک زبان	DLPFC چپ	آند F3 کاند CZ	۳۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد
خيو جی و همکاران (۲۰۱۲) - (۷۷)	روانی کلامی	DLPFC چپ	آند F3 کاند T3	۱۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	کاهش تصمیم گیری ناسازگار
یرینفل و همکاران (۲۰۱۳) - (۷۸)	تصمیم گیری ناسازگار	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاند F3/F4	۱۵ دقیقه	۰/۴۵ میلی آمپر	کاهش تصمیمات خطرناک
آستا و همکاران (۲۰۱۳) - (۲۳)	تصمیم گیری مخاطره آمیز	DLPFC چپ	آند F3 کاند ماستوئید	۱۲ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد
کاناندو و همکاران (۲۰۱۳) - (۷۹)	حافظه نرس	DLPFC چپ	آند F5 و F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش تجربیات خوشایند
فکتیو و همکاران (۲۰۱۳) - (۸۰)	پردازش هیجانی	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاند F3/F4	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد
هیچ و همکاران (۲۰۱۳) - (۸۱)	تصمیم گیری	DLPFC چپ	آند F4/F3 کاند F3/F4	۲۰ دقیقه	۱/۶ میلی آمپر	پهپود تصمیم گیری
قیشر و همکاران (۲۰۱۳) - (۸۲)	تصمیم گیری یا تأخیر	DLPFC راست	آند F4 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عملکرد
قورستر و همکاران (۲۰۱۳) - (۸۳)	تنظیم هیجانی	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۳ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش یادگیری حرکتی
هوی و همکاران (۲۰۱۳) - (۸۴)	یادگیری حرکتی	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱/۲ میلی آمپر	افزایش عملکرد
جواد و چینگ (۲۰۱۳) - (۸۵)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عملکرد حافظه
جواد و چینگ (۲۰۱۳) - (۸۵)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عملکرد حافظه
کنگ تونگ و همکاران (۲۰۱۳) - (۸۶)	حافظه بلندمدت	DLPFC چپ	آند F3 کاند T6	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	کاهش عملکرد و حذف اثر اولیه
مانتی و همکاران (۲۰۱۳) - (۸۷)	پردازش دیداری	DLPFC چپ/راست	آند F4 یا F3 کاند SO	۶ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عملکرد حافظه در موضوعات جدید
میرون و لویودور (۲۰۱۳) - (۸۸)	حافظه دیداری	DLPFC چپ/راست	آند F4 یا F3 کاند CZ	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	پهپود عملکرد
منگرلی و همکاران (۲۰۱۳) - (۸۹)	حافظه کاری	DLPFC چپ/راست	آند F3/SO کاند SO/F4	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	پهپود عملکرد
موتوهاشی و همکاران (۲۰۱۳) - (۹۰)	تصمیم گیری	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	مؤثر بر خلق
نوزری و همکاران (۲۰۱۳) - (۹۱)	خلق	DLPFC چپ/راست	آند F3 کاند F4	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عملکرد
واندرهاسلیت و همکاران (۲۰۱۳) - (۹۲)	توجه	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	کاهش نشخوار ذهنی و افکار خود ارجاعی
تانو و همکاران (۲۰۱۳) - (۳۳)	افکار خود ارجاعی و نشخوار ذهنی	DLPFC راست	آند F4 کاند گونه مخالف	۱۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	پهپود عملکرد
واندرهاسلیت و همکاران (۲۰۱۳) - (۹۳)	توجه	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش کنترل شناختی برای محرک های مثبت
یالکونی و همکاران (۲۰۱۴) - (۹۴)	حافظه کاری و پردازش هیجانی	DLPFC چپ	آند F3 کاند SO	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	اصلاح عملکرد

ممنون

نلسون و همکاران (۲۰۱۴)-(۹۵)	پردازش معنایی	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 آند F3/F4	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	پهپود عملکرد
سمیتر و همکاران (۲۰۱۴)-(۹۶)	توجه	DLPFC راست	آند F4 کاتد inion	۲۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	عدم تأثیر بر یادگیری مبتنی بر الگو
وودس و همکاران (۲۰۱۴)-(۹۷)	یادگیری مبتنی بر الگو	DLPFC راست	آند CP4/ F4 کاتد CP3/F3	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	تحریک آهیانه بر درک قضا مؤثر و تحریک قرونطال بر درک زمان و مکان مؤثر
قیشر و همکاران (۲۰۱۴)-(۹۸)	درک مکان و زمان	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	تسهیل ارزیابی شناختی در دو جهت افزایش یا کاهش پاسخ‌های هیجانی متناسب
ساندرز و همکاران (۲۰۱۴)-(۹۹)	ارزیابی شناختی	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	پهپود در کارکردهای شناختی (حافظه قعال)
کاروالو و همکاران (۲۰۱۵)-(۱۰۰)	کارکردهای شناختی	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	پهپود حافظه کاری
کوهن و همکاران (۲۰۱۵)-(۱۰۱)	حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاتد P4	۱۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	پهپود قضاوت اخلاقی
یریفل و لام (۲۰۱۵)-(۱۰۲)	قضاوت اخلاقی	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاتد SO	۱۵ دقیقه	۰/۴۵ میلی آمپر	کاهش اثرات منفی تصاویر منفی
چینگ و لی (۲۰۱۵)-(۱۰۳)	خودتنظیمی	DLPFC راست	آند F4 کاتد F3	۱۹ دقیقه	۲ میلی آمپر	کاهش خطرپذیری
لینوس و همکاران (۲۰۱۵)-(۱۰۴)	تصمیم‌گیری مخاطره‌آمیز	DLPFC راست	آند F4 کاتد So	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	تأثیر بر کاهش خطاهای حرکتی و زمان واکنش بر نیمکره مخالف عضو
نوری و همکاران (۲۰۱۵)-(۱۰۵)	هماهنگی عملکرد اندام‌ها	DLPFC راست	آند F3 کاتد F4	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش انتخاب تصادفی طی یادگیری یزازی
نوری و همکاران (۲۰۱۵)-(۱۰۵)	هماهنگی عملکرد اندام‌ها	DLPFC راست	آند F3 کاتد F4	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش انتخاب تصادفی طی یادگیری یزازی
ریگو و همکاران (۲۰۱۵)-(۱۰۶)	یادگیری وسیله‌ای	DLPFC چپ	آند F4/F3 آند F3/F4	۱۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	کاهش یرانگیختی درد کاهش ادراک درد، خشونت و ناراحتی
ریوا و همکاران (۲۰۱۵)-(۱۰۷)	خودتنظیمی درد	DLPFC راست	آند F4 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	کاهش رقتارهای یرخاشگرانه
ریوا و همکاران (۲۰۱۵)-(۱۰۸)	تنظیم هیجانات منفی	DLPFC راست	آند SO کاتد F4	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش هیجانات منفی در تعاملات اجتماعی
چوی و همکاران (۲۰۱۶)-(۱۰۹)	واکنش هیجانی منفی و رقتار اجتماعی	DLPFC چپ	آند F3 کاتد F4	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	پهپود تنظیم هیجانی و تصمیم‌گیری
یه و همکاران (۲۰۱۶)-(۱۱۰)	تنظیم هیجانی و تصمیم‌گیری	DLPFC چپ/راست	آند F4/F3 کاتد F5,F3,F1	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	کاهش نکانش‌گری و افزایش قدرت تصمیم‌گیری
مانکوسو و همکاران (۲۰۱۶)-(۱۱۱)	نکانش‌گری - توجه - تصمیم‌گیری	DLPFC چپ/راست	آند F3 کاتد F4	۱۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	پهپود حافظه کاری
هان، یلانچ و همکاران (۲۰۱۶)-(۱۱۲)	حافظه کاری	DLPFC چپ/راست	آند F3 کاتد F4	۳۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	افزایش ناقل‌های عصبی مغزی گلوتامات و ان استیل اسیرانیت
نیب و لایودور (۲۰۱۶)-(۱۱۳)	متابولیسم ناقلین عصبی	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	پهپود و تقویت در سوچ کردن توانایی‌ها

لیشکار و همکاران (۲۰۱۷)-(۱۱۴)	سوچ کردن عملکرد و توانایی‌ها	DLPFC چپ	آند F3 کاتد یازوی راست	۲۵ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	پهپود یادآوری و افزایش حافظه و رمزگذاری
دربیت و همکاران (۲۰۱۷)-(۱۱۵)	رمزگذاری و یازایی حافظه	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۱۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش عزت نفس، کاهش سرگیجه و نشخوار ذهنی
قانتینیو و همکاران (۲۰۱۷)-(۱۱۶)	عزت نفس	DLPFC چپ	آند F3 کاتد F4	۲۰ دقیقه	۲ میلی آمپر	سهم مؤثری در ترشح دوپامین از قشر مغز
آنکری و همکاران (۲۰۱۷)-(۱۱۷)	ترشح دوپامین	DLPFC چپ	آند F4 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش توجه و حافظه کاری، تنظیم هیجانی
چاروت و همکاران (۲۰۱۸)-(۱۱۸)	توجه و حافظه کاری	DLPFC چپ	آند F3 کاتد Fp2	۲۰ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	افزایش پهپود در توجه و فعالیت‌های شناختی
یستالیزی و همکاران (۲۰۱۸)-(۱۱۹)	توجه	DLPFC چپ	آند F3 کاتد SO	۲۰ دقیقه	۱ میلی آمپر	افزایش پهپود در سیالی و روانی کلامی و تکرار کلمات
قناواتی و همکاران (۲۰۱۹)-(۱۲۰)	آنالیز واژگان در آقازیا	DLPFC چپ	آند T3/P4/F3 کاتد دلتوید	۵ دقیقه	۲ میلی آمپر	پهپود در تکلم و سیالی کلامی
واسفی و همکاران (۲۰۱۹)-(۱۲۱)	روانی کلامی	DLPFC چپ	آند F3 کاتد F4	۱۵ دقیقه	۱/۵ میلی آمپر	پهپود پردازش شناختی و عملکرد اجرایی و سیالی کلامی

منابع

- Cubelli R, De Bastiani P. 150 years after leborgne: why is paul broca so important in the history of neuropsychology? *Cortex*. 2011; 2(47): 146-7.
- Broca P. Sur le siège de la faculté du langage articulé (15 juin). *Bulletins de la Société Anthropologique de Paris*. 1865; 6: 377-93.
- Newcombe F. *Missile wounds of the brain: a study of psychological deficits*. Oxford University Press. 1969.
- Koenigs M, Tranel D, Damasio AR. The lesion method in cognitive neuroscience. *The handbook of psychophysiology*. 2007; 139-58.
- Dayan E, Censor N, Buch ER, Sandrini M, Cohen LG. Noninvasive brain stimulation: from physiology to network dynamics and back. *Nat Neurosci*. 2013; 16(7): 838-44.
- Nitsche MA, Liebetanz D, Antal A, Lang N, Tergau F, Paulus W. Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation—technical, safety and functional aspects. *Supplements to Clinical Neurophysiology*. 2003; 56: 255-76.
- Boggio PS, Zaghi S, Fregni F. Modulation of emotions associated with images of human pain using anodal transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuropsychologia*. 2009; 47(1): 212-7.
- Schlaug G, Renga V, Nair D. Transcranial direct current stimulation in stroke recovery. *Archives of Neurology*. 2008; 65(12): 1571-6.
- Gomez Palacio Schjetnan A, Faraji J, Metz GA, Tatsuno M, Luczak A. Transcranial direct current stimulation in stroke rehabilitation: a review of recent advancements. *Stroke Research and Treatment*. 2013; 2013.
- Kessler SK, Minhas P, Woods AJ, Rosen A, Gorman C, Bikson M. Dosage considerations for transcranial direct current stimulation in children: a computational modeling study. *PloS One*. 2013; 8(9): e76112.
- Kuo MF, Paulus W, Nitsche MA. Therapeutic effects of non-invasive brain stimulation with direct currents (tDCS) in neuropsychiatric diseases. *Neuroimage*. 2014; 85: 948-60.
- Nitsche MA, Boggio PS, Fregni F, Pascual-Leone A. Treatment of depression with transcranial direct current stimulation (tDCS): a review. *Experimental Neurology*. 2009; 219(1): 14-9.
- Madhavan S, Shah B. Enhancing motor skill learning with transcranial direct current stimulation—a concise review with applications to stroke. *Frontiers in Psychiatry*. 2012; 3: 66.
- Antal A, Kincses TZ, Nitsche MA, Paulus W.

Modulation of moving phosphene thresholds by transcranial direct current stimulation of V1 in human. *Neuropsychologia*. 2003; 41(13): 1802-7.

15. Flöel A, Rösler N, Michka O, Knecht S, Breitenstein C. Noninvasive brain stimulation improves language learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2008; 20(8): 1415-22.

16. Kincses TZ, Antal A, Nitsche MA, Bártfai O, Paulus W. Facilitation of probabilistic classification learning by transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex in the human. *Neuropsychologia*. 2004; 42(1): 113-7.

17. Nitsche MA. Transcranial direct current stimulation: a new treatment for depression? *Bipolar Disorders*. 2002; 4: 98-9.

18. Fregni F, Boggio PS, Mansur CG, Wagner T, Ferreira MJ, Lima MC, et al. Transcranial direct current stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients. *Neuroreport*. 2005; 16(14): 1551-5.

19. Tranulis C, Sepehry AA, Galinowski A, Stip E. Should we treat auditory hallucinations with repetitive transcranial magnetic stimulation? A metaanalysis. *The Canadian Journal of Psychiatry*. 2008; 53(9): 577-86.

20. Beeli G, Casutt G, Baumgartner T, Jäncke L. Modulating presence and impulsiveness by external stimulation of the brain. *Behavioral and Brain Functions*. 2008; 4(1): 33.

21. Dockery CA, Hueckel-Weng R, Birbaumer N, Plewnia C. Enhancement of planning ability by transcranial direct current stimulation. *Journal of Neuroscience*. 2009; 29(22): 7271-7.

22. Leite J, Carvalho S, Fregni F, Boggio PS, Gonçalves OF. The effects of cross-hemispheric dorsolateral prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS) on task switching. *Brain Stimulation*. 2013; 6(4): 660-7.

23. Asthana M, Nueckel K, Mühlberger A, Neueder D, Polak T, Domschke K, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on consolidation of fear memory. *Frontiers in Psychiatry*. 2013; 4: 107.

24. Vannorsdall TD, Schretlen DJ, Andrejczuk M, Ledoux K, Bosley LV, Weaver JR, et al. Altering automatic verbal processes with transcranial direct current stimulation. *Frontiers in Psychiatry*. 2012; 3: 73.

25. Fecteau S, Knoch D, Fregni F, Sultani N, Boggio P, Pascual-Leone A. Diminishing risk-taking behavior by modulating activity in the prefrontal cortex: a direct

current stimulation study. *Journal of Neuroscience*. 2007; 27(46): 12500-5.

26. Fregni F, Orsati F, Pedrosa W, Fecteau S, Tome FA, Nitsche MA, et al. Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates the desire for specific foods. *Appetite*. 2008; 51(1): 34-41.

27. Fregni F, Boggio PS, Nitsche MA, Rigonatti SP, Pascual-Leone A. Cognitive effects of repeated sessions of transcranial direct current stimulation in patients with depression. *Depression and Anxiety*. 2006; 23(8): 482-4.

28. Boggio PS, Ferrucci R, Rigonatti SP, Cobre P, Nitsche M, Pascual-Leone A, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*. 2006; 249(1): 31-8.

29. Nitsche MA, Cohen LG, Wassermann EM, Priori A, Lang N, Antal A, et al. Transcranial direct current stimulation: state of the art 2008. *Brain Stimulation*. 2008; 1(3): 206-23.

30. Javadi AH, Walsh V. Transcranial direct current stimulation (tDCS) of the left dorsolateral prefrontal cortex modulates declarative memory. *Brain Stimulation*. 2012; 5(3): 231-41.

31. Boggio PS, Zaghi S, Lopes M, Fregni F. Modulatory effects of anodal transcranial direct current stimulation on perception and pain thresholds in healthy volunteers. *European Journal of Neurology*. 2008; 15(10): 1124-30.

32. Teo F, Hoy KE, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Investigating the role of current strength in tDCS modulation of working memory performance in healthy controls. *Frontiers in Psychiatry*. 2011; 2: 45.

33. Tanoue RT, Jones KT, Peterson DJ, Berryhill ME. Differential frontal involvement in shifts of internal and perceptual attention. *Brain Stimulation*. 2013; 6(4): 675-82.

34. Fregni F, Boggio PS, Nitsche M, Berman F, Antal A, Feredoes E, et al. Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental Brain Research*. 2006; 166(1): 23-30.

35. Marshall L, Mölle M, Siebner HR, Born J. Bifrontal transcranial direct current stimulation slows reaction time in a working memory task. *BMC Neuroscience*. 2005; 6(1): 23.

36. Jacobson L, Koslowsky M, Lavidor M. tDCS polarity

effects in motor and cognitive domains: a meta-analytical review. *Experimental Brain Research*. 2012; 216(1): 1-10.

37. Batsikadze G, Moliadze V, Paulus W, Kuo MF, Nitsche MA. Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans. *The Journal of Physiology*. 2013; 591(7): 1987-2000.

38. Miniussi C, Harris JA, Ruzzoli M. Modelling non-invasive brain stimulation in cognitive neuroscience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2013; 37(8): 1702-12.

39. Silvanto J, Muggleton N, Walsh V. State-dependency in brain stimulation studies of perception and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*. 2008; 12(12): 447-54.

40. Silvanto J, Pascual-Leone A. State-dependency of transcranial magnetic stimulation. *Brain Topography*. 2008; 21(1): 1.

41. Quartarone A, Morgante F, Bagnato S, Rizzo V, Sant'Angelo A, Aiello E, et al. Long lasting effects of transcranial direct current stimulation on motor imagery. *Neuroreport*. 2004; 15(8): 1287-91.

42. Wiethoff S, Hamada M, Rothwell JC. Variability in response to transcranial direct current stimulation of the motor cortex. *Brain Stimulation*. 2014; 7(3): 468-75.

43. López-Alonso V, Cheeran B, Río-Rodríguez D, Fernández-del-Olmo M. Inter-individual variability in response to non-invasive brain stimulation paradigms. *Brain Stimulation*. 2014; 7(3): 372-80.

44. Fregni F, Boggio PS, Nitsche MA, Marcolin MA, Rigonatti SP, Pascual-Leone A. Treatment of major depression with transcranial direct current stimulation. *Bipolar Disorders*. 2006; 8(2): 203-4.

45. Fecteau S, Pascual-Leone A, Zald DH, Liguori P, Théoret H, Boggio PS, et al. Activation of prefrontal cortex by transcranial direct current stimulation reduces appetite for risk during ambiguous decision making. *Journal of Neuroscience*. 2007; 27(23): 6212-8.

46. Knoch D, Nitsche MA, Fischbacher U, Eisenegger C, Pascual-Leone A, Fehr E. Studying the neurobiology of social interaction with transcranial direct current stimulation-the example of punishing unfairness. *Cerebral Cortex*. 2007; 18(9): 1987-90.

47. Priori A, Mameli F, Cogiamanian F, Marceglia SA, Tiriticco M, Mrakic-Spota S, et al. Lie-specific involvement of dorsolateral prefrontal cortex in deception. *Cerebral Cortex*. 2007; 18(2): 451-5.

48. Beeli G, Koenke S, Gasser K, Jancke L. Brain stimulation modulates driving behavior. *Behavioral and Brain Functions*. 2008; 4(1): 34.

49. Ohn SH, Park CI, Yoo WK, Ko MH, Choi KP, Kim GM, et al. Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. *Neuroreport*. 2008; 19(1): 43-7.

50. Jo JM, Kim YH, Ko MH, Ohn SH, Joen B, Lee KH. Enhancing the working memory of stroke patients using tDCS. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2009; 88(5): 404-9.

51. Kang EK, Baek MJ, Kim S, Paik NJ. Non-invasive cortical stimulation improves post-stroke attention decline. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2009; 27(6): 647-52.

52. Cerruti C, Schlaug G. Anodal transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex enhances complex verbal associative thought. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2009; 21(10): 1980-7.

53. Elmer S, Burkard M, Renz B, Meyer M, Jäncke L. Direct current induced shortterm modulation of the left dorsolateral prefrontal cortex while learning auditory presented nouns. *Behav Brain Funct*. 2009; 5: 29.

54. Fertonani A, Rosini S, Cotelli M, Rossini PM, Miniussi C. Naming facilitation induced by transcranial direct current stimulation. *Behavioural Brain Research*. 2010; 208(2): 311-8.

55. Hecht D, Walsh V, Lavidor M. Transcranial direct current stimulation facilitates decision making in a probabilistic guessing task. *Journal of Neuroscience*. 2010; 30(12): 4241-5.

56. Mameli F, Mrakic-Spota S, Vergari M, Fumagalli M, Macis M, Ferrucci R, et al. Dorsolateral prefrontal cortex specifically processes general-but not personal-knowledge deception: multiple brain networks for lying. *Behavioural Brain Research*. 2010; 211(2): 164-8.

57. Boggio PS, Campanhã C, Valasek CA, Fecteau S, Pascual-Leone A, Fregni F. Modulation of decision-making in a gambling task in older adults with transcranial direct current stimulation. *European Journal of Neuroscience*. 2010; 31(3): 593-7.

58. Ambrus GZG, Zimmer M, Kincses ZT, Harza I, Kovács G, Paulus W, et al. The enhancement of cortical excitability over the DLPFC before and during training impairs categorization in the prototype distortion task. *Neuropsychologia*. 2011; 49(7): 1974-80.

59. Andrews

SC, Hoy KE, Enticott PG, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*. 2011; 4(2): 84-9.

60. Peña-Gómez C, Vidal-Pineiro D, Clemente IC, Pascual-Leone Á, Bartres-Faz D. Down-regulation of negative emotional processing by transcranial direct current stimulation: effects of personality characteristics. *PloS One*. 2011; 6(7): e22812.

61. Hammer A, Mohammadi B, Schmicker M, Saliger S, Münte TF. Errorless and errorful learning modulated by transcranial direct current stimulation. *BMC Neuroscience*. 2011; 12(1): 72.

62. Leite J, Carvalho S, Fregni F, Gonçalves OF. Task-specific effects of tDCS-induced cortical excitability changes on cognitive and motor sequence set shifting performance. *PloS One*. 2011; 6(9): e24140.

63. Mulquiney PG, Hoy KE, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Improving working memory: exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex. *Clinical Neurophysiology*. 2011; 122(12): 2384-9.

64. Peña-Gómez C, Vidal-Pineiro D, Clemente IC, Pascual-Leone Á, Bartres-Faz D. Down-regulation of negative emotional processing by transcranial direct current stimulation: effects of personality characteristics. *PloS One*. 2011; 6(7): e22812.

65. Zaehle T, Sandmann P, Thorne JD, Jäncke L, Herrmann CS. Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. *BMC Neuroscience*. 2011; 12(1): 2.

66. Minati L, Campanhã C, Critchley HD, Boggio PS. Effects of transcranial direct-current stimulation (tDCS) of the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) during a mixed-gambling risky decision-making task. *Cognitive Neuroscience*. 2012; 3(2): 80-8.

67. Balconi M, Vitaloni S. The tDCS effect on alpha brain oscillation for correct vs. incorrect object use. The contribution of the left DLPFC. *Neuroscience Letters*. 2012; 517(1): 25-9.

68. Gladwin TE, den Uyl TE, Wiers RW. Anodal tDCS of dorsolateral prefrontal cortex during an Implicit Association Test. *Neuroscience Letters*. 2012; 517(2): 82-6.

69. Hortensius R, Schutter DJ, Harmon-Jones E. When

anger leads to aggression: Induction of relative left frontal cortical activity with transcranial direct current stimulation increases the anger-aggression relationship. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2011; 7(3): 342-7.

70. Javadi AH, Cheng P, Walsh V. Short duration transcranial direct current stimulation (tDCS) modulates verbal memory. *Brain Stimulation*. 2012; 5(4): 468-74.

71. Jeon SY, Han SJ. Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. *Ann Rehabil Med*. 2012; 36(5): 585-95.

72. Maeoka H, Matsuo A, Hiyaizumi M, Morioka S, Ando H. Influence of transcranial direct current stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex on pain related emotions: a study using electroencephalographic power spectrum analysis. *Neuroscience Letters*. 2012; 512(1): 12-6.

73. Metuki N, Sela T, Lavidor M. Enhancing cognitive control components of insight problems solving by anodal tDCS of the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*. 2012; 5(2): 110-5.

74. Mylius V, Jung M, Menzler K, Haag A, Khader PH, Oertel WH, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on pain perception and working memory. *European Journal of Pain*. 2012; 16(7): 974-82.

75. Nitsche MA, Koschack J, Pohlert H, Hüllemann S, Paulus W, Hapke S. Effects of frontal transcranial direct current stimulation on emotional state and processing in healthy humans. *Frontiers in Psychiatry*. 2012; 3: 58.

76. Sela T, Ivry RB, Lavidor M. Prefrontal control during a semantic decision task that involves idiom comprehension: a transcranial direct current stimulation study. *Neuropsychologia*. 2012; 50(9): 2271-80.

77. Xue G, Juan CH, Chang CF, Lu ZL, Dong Q. Lateral prefrontal cortex contributes to maladaptive decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012; 109(12): 4401-6.

78. Pripfl J, Neumann R, Köhler U, Lamm C. Effects of transcranial direct current stimulation on risky decision making are mediated by 'hot' and 'cold' decisions, personality, and hemisphere. *European Journal of Neuroscience*. 2013; 38(12): 3778-85.

79. Cattaneo Z, Lega C, Flexas A, Nadal M, Munar E, Cela-Conde CJ. The world can look better: enhancing beauty experience with brain stimulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2013; 9(11): 1713-21.

80. Fecteau S, Boggio PS, Fregni F, Pascual-Leone A. Modulation of untruthful responses with non-invasive brain stimulation. *Frontiers in Psychiatry*. 2013; 3: 97.
81. Hecht D, Walsh V, Lavidor M. Bi-frontal direct current stimulation affects delay discounting choices. *Cognitive Neuroscience*. 2013; 4(1): 7-11.
82. Feeser M, Prehn K, Kazzer P, Mungee A, Bajbouj M. Transcranial direct current stimulation enhances cognitive control during emotion regulation. *Brain Stimulation*. 2014; 7(1): 105-12.
83. Foerster Á, Rocha S, Wiesiolek C, Chagas AP, Machado G, Silva E, et al. Site-specific effects of mental practice combined with transcranial direct current stimulation on motor learning. *European Journal of Neuroscience*. 2013; 37(5): 786-94.
84. Hoy KE, Emonson MR, Arnold SL, Thomson RH, Daskalakis ZJ, Fitzgerald PB. Testing the limits: investigating the effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls. *Neuropsychologia*. 2013; 51(9): 1777-84.
85. Javadi AH, Cheng P. Transcranial direct current stimulation (tDCS) enhances reconsolidation of long-term memory. *Brain Stimulation*. 2013; 6(4): 668-74.
86. Kongthong N, Minami T, Nakauchi S. Semantic processing in subliminal face stimuli: an EEG and tDCS study. *Neuroscience Letters*. 2013; 544: 141-6.
87. Manenti R, Brambilla M, Petesi M, Ferrari C, Cotelli M. Enhancing verbal episodic memory in older and young subjects after non-invasive brain stimulation. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2013; 5: 49.
88. Meiron O, Lavidor M. Unilateral prefrontal direct current stimulation effects are modulated by working memory load and gender. *Brain Stimulation*. 2013; 6(3): 440-7.
89. Mengarelli F, Spoglianti S, Avenanti A, Di Pellegrino G. Cathodal tDCS over the left prefrontal cortex diminishes choice-induced preference change. *Cerebral Cortex*. 2013; 25(5): 1219-27.
90. Motohashi N, Yamaguchi M, Fujii T, Kitahara Y. Mood and cognitive function following repeated transcranial direct current stimulation in healthy volunteers: a preliminary report. *Neuroscience Research*. 2013; 77(1-2): 64-9.
91. Nozari N, Thompson-Schill SL. More attention when speaking: Does it help or does it hurt? *Neuropsychologia*. 2013; 51(13): 2770-80.
92. Vanderhasselt MA, Brunoni AR, Loeys T, Boggio PS, De Raedt R. Nosce te ipsum–Socrates revisited? Controlling momentary ruminative self-referent thoughts by neuromodulation of emotional working memory. *Neuropsychologia*. 2013; 51(13): 2581-9.
93. Vanderhasselt MA, De Raedt R, Brunoni AR, Campanhã C, Baeken C, Remue J, et al. tDCS over the left prefrontal cortex enhances cognitive control for positive affective stimuli. *PloS One*. 2013; 8(5): e62219.
94. Balconi M, Vitaloni S. Dorsolateral pFC and the representation of the incorrect use of an object: the transcranial direct current stimulation effect on N400 for visual and linguistic stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2014; 26(2): 305-18.
95. Nelson JT, McKinley RA, Golob EJ, Warm JS, Parasuraman R. Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuroimage*. 2014; 85: 909-17.
96. Smittenaar P, Prichard G, FitzGerald TH, Diedrichsen J, Dolan RJ. Transcranial direct current stimulation of right dorsolateral prefrontal cortex does not affect model-based or model-free reinforcement learning in humans. *PloS One*. 2014; 9(1): e86850.
97. Woods AJ, Hamilton RH, Kranjec A, Minhaus P, Bikson M, Yu J, et al. Space, time, and causality in the human brain. *Neuroimage*. 2014; 92: 285-97.
98. Feeser M, Prehn K, Kazzer P, Mungee A, Bajbouj M. Transcranial direct current stimulation enhances cognitive control during emotion regulation. *Brain Stimulation*. 2014; 7(1): 105-12.
99. Sanders T, Liu Y, Buchner V, Tchounwou PB. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: a review. *Reviews on Environmental Health*. 2009; 24(1): 15-46.
100. Carvalho S, Boggio PS, Gonçalves ÓF, Vigário AR, Faria M, Silva S, et al. Transcranial direct current stimulation based metaplasticity protocols in working memory. *Brain Stimulation*. 2015; 8(2): 289-94.
101. Kuehne M, Heimrath K, Heinze HJ, Zaehle T. Transcranial direct current stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex shifts preference of moral judgments. *PloS One*. 2015; 10(5): e0127061.
102. Pripfl J, Lamm C. Focused transcranial direct current stimulation (tDCS) over the dorsolateral prefrontal cortex modulates specific domains of self-regulation. *Neurosci Res*. 2015; 91: 41-7.
103. Cheng GL, Lee TM. Altering risky decision-making:

Influence of impulsivity on the neuromodulation of prefrontal cortex. *Social Neuroscience*. 2016; 11(4): 353-64.

104. Leenus DJF, Cuypers K, Vanvlijmen D, Meesen RLJ. The effect of anodal transcranial direct current stimulation on multi-limb coordination performance. *Neuroscience*. 2015; 290: 11-7.

105. Turi Z, Mittner M, Opitz A, Popkes M, Paulus W, Antal A. Transcranial direct current stimulation over the left prefrontal cortex increases randomness of choice in instrumental learning. *Cortex*. 2015; 63: 145-54.

106. Rêgo GG, Lapenta OM, Marques LM, Costa TL, Leite J, Carvalho S, et al. Hemispheric dorsolateral prefrontal cortex lateralization in the regulation of empathy for pain. *Neuroscience Letters*. 2015; 594: 12-6.

107. Riva P, Romero Lauro LJ, DeWall CN, Chester DS, Bushman BJ. Reducing aggressive responses to social exclusion using transcranial direct current stimulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2014; 10(3): 352-6.

108. Riva P, Romero Lauro LJ, Vergallito A, DeWall CN, Bushman BJ. Electrified emotions: Modulatory effects of transcranial direct stimulation on negative emotional reactions to social exclusion. *Social Neuroscience*. 2015; 10(1): 46-54.

109. Choi KM, Scott DT, Lim SL. The modulating effects of brain stimulation on emotion regulation and decision-making. *Neuropsychiatric Electrophysiology*. 2016; 2(1): 4.

110. Ye H, Chen S, Huang D, Wang S, Jia Y, Luo J. Transcranial direct current stimulation over prefrontal cortex diminishes degree of risk aversion. *Neuroscience Letters*. 2015; 598: 18-22.

111. Mancuso LE, Ilieva IP, Hamilton RH, Farah MJ. Does transcranial direct current stimulation improve healthy working memory? a meta-analytic review. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2016; 28(8): 1063-89.

112. Hone-Blanchet A, Edden RA, Fecteau S. Online effects of transcranial direct current stimulation in real time on human prefrontal and striatal metabolites. *Biological Psychiatry*. 2016; 80(6): 432-8.

113. Tayeb Y, Lavidor M. Enhancing switching abilities:

Improving practice effect by stimulating the dorsolateral pre frontal cortex. *Neuroscience*. 2016; 313: 92-8.

114. Leshikar ED, Leach RC, McCurdy MP, Trumbo MC, Sklenar AM, Frankenstein AN, et al. Transcranial direct current stimulation of dorsolateral prefrontal cortex during encoding improves recall but not recognition memory. *Neuropsychologia*. 2017; 106: 390-7.

115. De Raedt R, Remue J, Loeys T, Hooley JM, Baeken C. The effect of transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex on implicit self-esteem is mediated by rumination after criticism. *Behaviour Research and Therapy*. 2017; 99: 138-46.

116. Fonteneau C, Haesebaert F, Redoute J, Le Bars D, Costes N, Brunelin J, et al. Online transcranial direct current stimulation of the frontal cortex induces dopamine release in the striatum-a spatial and temporal analysis in healthy humans. *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation*. 2017; 10(2): 516-7.

117. Ankri Y, Meiron O, Braw Y. Executive attention enhancement under stress: A TDCS randomized controlled trial. *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation*. 2017; 10(2): 350.

118. Charvet L, Shaw M, Dobbs B, Frontario A, Sherman K, Bikson M, et al. Remotely supervised transcranial direct current stimulation increases the benefit of at-home cognitive training in multiple sclerosis. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*. 2018; 21(4): 383-9.

119. Pestalozzi MI, Di Pietro M, Martins Gaytanidis C, Spierer L, Schnider A, Chouiter L, et al. Effects of prefrontal transcranial direct current stimulation on lexical access in chronic poststroke aphasia. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2018; 32(10): 913-23.

120. Ghanavati E, Salehinejad MA, Nejati V, Nitsche MA. Differential role of prefrontal, temporal and parietal cortices in verbal and figural fluency: Implications for the supramodal contribution of executive functions. *Scientific Reports*. 2019; 9(1): 3700.

121. Vaseghi B, Zoghi M, Jaberzadeh S. Unihemispheric concurrent dual-site cathodal transcranial direct current stimulation: the effects on corticospinal excitability. *European Journal of Neuroscience*. 2016; 43(9): 1161-72.