

«مقاله پژوهشی»

## تاثیر tDCS روی OFC نیمکره راست در عملکرد اجرایی تصمیم‌گیری پرخطر و

## ریسک‌پذیری

فرزانه پولادی<sup>1</sup>، \*مسعود باقری<sup>2</sup>، قاسم عسکری‌زاده<sup>3</sup>

1. دانشجوی دکتری روانشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

2. دانشیار روانشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

3. استادیار روانشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

(تاریخ وصول: 98/12/20 - تاریخ پذیرش: 99/03/02)

## Influence of tDCS on Right Hemisphere OFC on Executive Performance of High Risk Decision Making and Risk Taking

Farzaneh Pouladi<sup>1</sup>, \*Masoud Bagheri<sup>2</sup>, Ghasem Askarizadeh<sup>3</sup>

1. PhD Student in Psychology, Shahid Bahonar University of Kerman, Keerman, Iran.

2. Assistant professor of Psychology, Shahid Bahonar University of Kerman, Keerman, Iran.

3. Associate professor of Psychology, Shahid Bahonar University of Kerman, Keerman, Iran.

(Received: Mar.10, 2020- Accepted: May.22, 2020)

## Abstract

**Introduction:** Decision-making is part of the cognitive control that plays a key role in the evaluation of desires. The present study was performed to investigate the effects of tDCS on the left hemisphere DLPFC brain region in high-risk decision making and risk-taking. **Method:** The study was a single-blind experimental study performed on 30 healthy adults. In this study, subjects were randomly divided into two experimental and sham groups. In the experimental group, anodal stimulation over the right hemisphere OFC and cathodal stimulation over the left DLPFC was performed at 2 mA. The tasks used were computer versions of Balloon Analogue Risk Task (BART) and Iowa Gambling Task (IGT) for evaluating high-risk decision making and risk-taking. Data were analyzed using a one-way ANCOVA test. **Results:** Results showed a significant difference between the experimental and control groups in the Bart test ( $P < 0.05$ ) and the impact of the intervention in reducing risky decision making, and also no significant difference between the two groups in the Iowa test ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Based on the results, it can be said that tDCS anodic stimulation can be effective in reducing risky decision making.

**Keywords:** tDCS, OFC, right hemisphere, high risk decision making, risk taking.

## چکیده

**هدف:** تصمیم‌گیری بخشی از کنترل شناختی است که در ارزیابی خواسته‌ها نقش اساسی دارد. پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیرات tDCS روی ناحیه مغزی OFC نیمکره راست در تصمیم‌گیری پرخطر و ریسک‌پذیری انجام شد. روش: مطالعه حاضر از نوع مطالعه آزمایشی یک سو کور بود که روی 30 فرد بزرگسال سالم انجام شد. در این مطالعه افراد به دو گروه آزمایشی و شام قرار گرفتند. در گروه آزمایشی تحریک آنودی OFC نیمکره راست و تحریک کاتدی DLPFC نیمکره چپ در حدود 2 میلی‌آمپر اجرا شد. ابزارهای مورد استفاده نسخه‌های کامپیوتری آزمون بارت و آزمون آیوا برای بررسی تصمیم‌گیری پرخطر و ریسک‌پذیری بودند. داده‌ها با استفاده از آزمون کوواریانس تک‌متغیره (آنکوا) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. یافته‌ها: نتایج بیانگر تفاوت معنادار بین دو گروه آزمایش و کنترل در آزمون بارت ( $P < 0/05$ ) و تأثیر مداخله در کاهش تصمیم‌گیری پرخطر و عدم تفاوت معنادار در بین دو گروه در آزمون آیوا هستند ( $P > 0/05$ ). نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت تحریک آنودی tDCS می‌تواند در کاهش تصمیم‌گیری پرخطر تأثیرگذار باشد.

واژگان کلیدی: tDCS، OFC، نیمکره راست، تصمیم‌گیری پرخطر، ریسک‌پذیری.

Corresponding author: Masoud Bagheri

Email: dr.bagherim96@gmail.com

نویسنده مسئول: مسعود باقری

همکاران، 2013). در این بین، پره فرونتال کرتکس<sup>2</sup> (PFC) نقش مهمی را در تصمیم‌گیری پرخطر داوطلبانه بازی می‌کند (راو، هورسیووسکی، پلاتا، هانگ و دتری، 2008). ناحیه اربیتوفرونتال کرتکس<sup>3</sup> (OFC) جزئی از کرتکس پره‌فرونتال است که بخش شکمی لوب فرونتال را اشغال می‌کند. بر طبق مطالعات تصویربرداری و حیوانی لوب‌های تمپورال و OFC با تکانش‌گری و پرخاشگری ارتباط دارند (دارستون، توتنهام، دیویدسون، ایستی، یانگ و همکاران، 2003). نتایج مطالعات نظری و تجربی اخیر پیشنهاد می‌کنند OFC به طور خاصی در تصمیم‌گیری اقتصادی و مبتنی بر ارزش دخالت دارد (پادواآسکیپا و کانن، 2017). دیده شده افراد با ضایعات OFC در مقایسه با افراد سالم و افراد با دیگر ضایعات مغزی غیر از OFC بیشتر تکانه‌ای عمل می‌کنند و معمولاً قادر نیستند تصمیمات را علی‌رغم نتایج منفی مرتبط تغییر دهند و در شناسایی هیجان‌ات منفی در چهره یا کلام کمتر موفق هستند (فلودن، الکساندر، کوبو، کاتز و استوز، 2008). همچنین مطالعات بالینی درگیری ناحیه OFC را در اختلالات و رفتارهایی نشان می‌دهد که با تکانش‌گری یا تصمیم‌گیری پرخطر همراه هستند همانند اعتیاد (والکو و فلور، 2000)، اختلالات خوردن (اوهر، مورفی، برامر،

تصمیم‌گیری بخشی از کنترل شناختی است که در ارزیابی خواسته‌ها نقش اساسی دارد و پاسخ‌های رفتاری را به صورت هدفمند تعدیل می‌کند (کوتلی و هاتل، 2012). مطالعات عصب‌شناختی که بر روی تصمیم‌گیری انجام شده است معمولاً دو نوع تصمیم‌گیری را مقایسه می‌کنند تصمیماتی که تحت شرایط نامعلوم گرفته شده‌اند و تصمیم‌گیری در شرایط مشخص (کرین، ویلسون، آربوکل، کاستلادوس، میلهم<sup>1</sup>، 2006). مطالعات همچنین تصمیم‌گیری تحت شرایط نامشخص را به دو نوع تقسیم کرده‌اند: تصمیمات مربوط به خطر و تصمیمات مربوط به شرایط مبهم. در تصمیمات مربوط به خطر احتمال هر نتیجه مشخص است و شرکت‌کنندگان باید از بین یک انتخاب امن و یک انتخاب خطرناک تصمیم بگیرد. در انتخاب‌های ایمن احتمال بالایی برای کسب پاداش وجود دارد اما ارزش پاداش نسبتاً کم‌ارزش است. در مقابل انتخاب‌های پرخطر احتمال کمتری برای کسب پاداش دارد اگرچه پاداش به دست آمده دارای ارزش بیش‌تری است (بچارا، دامازیو، تانل و دامازیو، 2005).

مطالعات زیادی درباره مکانیزم‌های عصب‌شناختی تصمیم‌گیری پرخطر انجام شده که نشان می‌دهند یک شبکه عصبی گسترده‌ای متشکل از جسم مخطط شکمی، آمیگدال، اینسولا، سینگولیت و کورتکس پره‌فرونتال درگیر است (موهر، بیلر و هیکن، 2010؛ کوهلز، پرینو، تیلر، مدوا، کایلس و

2. prefrontal cortex  
3. orbitofrontal cortex

1. Krain & Wilson

خطرناک داوطلبانه می‌شود (یالپ، مارتینز سیتو، آستی، فیورا، شستاکووا و کلوچارو، 2017). در دیگر مطالعه انجام شده با استفاده از tACS نشان داد افرادی که تحریک نیمکره چپ را دریافت داشته‌اند در مقایسه با گروه کنترل و گروه با تحریک نیمکره راست تصمیمات ریسک‌پذیرتر بیشتری داشته‌اند (سلا، کیلیم و لاویدور، 2012). در مطالعه‌ای که با استفاده از تحریک کاتدی tDCS بر روی بیماران وسواس در ناحیه OFC انجام شد بیانگر بهبود عملکرد در این افراد بوده است (موندینو، هازبرت، پالت، ساود و برانلین، 2015). همچنین مطالعه‌ای مشابه با استفاده از rTMS در ناحیه OFC نتیجه مشابهی در بهبود عملکرد بیماران را گزارش داد (نوزیسیل، لی جونی، نادت، دوآیین، اسکوین، 2014). در مطالعات مختلف شرکت‌کنندگانی که تحت بازدارنده کاتدی DLPFC نیمکره چپ قرار گرفتند نتایج مختلفی را گزارش دادند از جمله قدرت تصمیم‌گیری‌شان افزایش (گورینی، لوچیاری، راشل ادو و پراوتونی، 2014) و انعطاف شناختی‌شان بهبود یافته است (لاف، زیگا، بنیسی و هاتاچری، 2017). همچنین مطالعاتی نشان داده‌اند که افزایش رفتار ریسک‌پذیری در افراد سالم با کاهش فعالیت در کرتکس پره فرونتال شکمی - میانی<sup>2</sup> (VMPFC) (که OFC یک عنصر کلیدی آن است) (اسکانبرگ، فوکس، مامفورد، کاندن، تریپل و همکاران، 2012) ارتباط دارد.

دالگلیش، فیلیپس و همکاران، 2004) و اختلال وسواس جبری (کانو رامیرز و هافمن، 2017). رشد تکنیک‌های غیرتهاجمی تحریک مغزی، تنظیم عملکردهای شناختی و هیجانی را در هر دو گروه افراد سالم و جمعیت بالینی ممکن ساخته است (صالحی‌نژاد، رستمی و قنواواتی، 2015). تحریک مستقیم الکتریکی مغز از روی جمجه<sup>1</sup> (tDCS) یک روش تحریک مغزی غیرتهاجمی است (نیچه، کو، پولاس و آنتال، 2015) که به عنوان یک روش ساده، موثر و ایمن برای تنظیم قابلیت تحریک کرتکس (نیچه و پولاس، 2011) و عملکردهای شناختی (وازرمان و گرافمن، 2005) در هر دو گروه افراد سالم و بیماران ساخته شد (پلونیا، اسکرودر و ولکستین، 2015). این روش می‌تواند عملکرد رفتاری را در افراد سالم تنظیم نماید (مارشال، موله، سیبیر و بورن، 2005). به خاطر اثرات عصب‌شناختی tDCS از آن به طور فزاینده‌ای برای بررسی ارتباط بین ابعاد رفتاری/شناختی و مدارهای عصبی مرتبط استفاده می‌شود (کافمن، کلارک و پاراسورمن، 2014). چندین تسک شناختی در طول استفاده از tDCS به کار گرفته شده تا عملکرد شناختی کلی، سرعت پردازش، حافظه کاری، توجه و دیگر عملکردهای اجرایی را مورد بررسی قرار دهند (کو و نیچه، 2012). مطالعه انجام شده با استفاده از tACS نشان داد با تحریک 20 هرتز در ناحیه پره فرونتال نیمکره چپ به طور معناداری باعث افزایش تصمیم‌گیری

2. ventromedial prefrontal cortex

1. Transcranial direct current stimulation

## روش

این مطالعه از نوع مطالعه آزمایشی یک سوکور بود که روی 30 فرد بزرگسال سالم و راست‌دست انجام شد. افراد شرکت‌کننده دانشجویان مقطع تحصیلی لیسانس و فوق‌لیسانس و ساکن در شهرستان ساری بودند. همه افراد بر اساس نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و به تصادف در هر یک از دو گروه قرار گرفتند. محل اجرای مداخله در مطب روانپزشکی قرار داشت که با هماهنگی قبلی در محل حضور می‌یافتند. ملاک‌های ورود شامل قرار داشتن در محدوده سنی بین 20 تا 32 سال، سلامت روانی و مغزی، تحصیلات لیسانس و فوق‌لیسانس، راست‌دستی می‌شد؛ ملاک‌های خروج شامل این موارد می‌شد: تاریخچه قبلی از جراحی مغزی، صرع، تشنج یا آسیب مغزی، سابقه مصرف مواد یا هرگونه اختلال روانپزشکی، بارداری.

مطالعه شامل دو گروه آزمایش و شم بود. افراد گروه آزمایش منطبق با سیستم 10-20 نواحی مشخصی از مغز مورد تحریک آندی و کاتدی قرار گرفت. در گروه شم یا پلاسیبو آزمودنی‌ها همان پروتکل‌ها را دریافت کردند ولی تحریک در این افراد به گونه‌ای متفاوت انجام شد، بدین صورت که در هر دو مطالعه آزمایشی و شم تحریک به صورت صعودی تا 2 میلی‌آمپر انجام می‌شود ولی تفاوت در این جاست که در مطالعه آزمایشی این تحریک بعد از 20 دقیقه به طور اتوماتیک خاموش می‌گردد ولی در مطالعه شم بعد از 30 ثانیه تحریک توسط آزمایشگر خاموش

ریسک‌پذیری زیان‌آور و تصمیم‌گیری نامناسب می‌تواند منجر به رفتارهای مشکل‌ساز همانند سوء‌مصرف مواد (رادرفورد، مایز و پوتنزا، 2010)، قماربازی (پوتنزا، 2014) و یا اختلال بازی اینترنت (دانگ، لین و پوتنزا، 2015) بشود. این درحالی است که کاهش ظرفیت شناختی می‌تواند با افزایش مشکلات بالینی مختلف همانند انواع اعتیادهای رفتاری و مواد و یا رفتارهای خودکشی ارتباط داشته باشد (پوتنزا، بالودیس، فرانکو، بالوک اکزیو و همکاران، 2013؛ اولدرشو، گرمای، جولانت، ریچاردز، سیمیک، 2009). افراد با چنین اختلالاتی ممکن است در هنگام تصمیم‌گیری نتایج را در نظر نگیرند (دانگ، هو، لین و لو، 2013).

بر اساس مطالعات، ریسک‌پذیری و تصمیم‌گیری های پرخطر به عنوان بخشی از ویژگی‌های اختلالاتی چون اختلال شخصیت مرزی (اسوالدی، فیلیپسن و ماتیس، 2012) و یا بیش‌فعالی (ماتیس، فیلیپسن و اسوالدی، 2012) هستند که فرد را با آسیب زیادی مواجه می‌سازد. ضرورت مطالعه حاضر می‌تواند گامی در جهت کنترل و بخش از پروتکل‌های درمانی این اختلالات در نظر گرفته شود. در این مطالعه سعی بر آن است با تحریک آندی ناحیه OFC اثرات آن بر تصمیم‌گیری و ریسک‌پذیری بررسی شود. سوال این است تحریک این ناحیه چه تاثیراتی را روی تصمیم‌گیری و ریسک‌پذیری می‌گذارد؟

**دستگاه tDCS:** دستگاه مورد استفاده در این مطالعه دستگاه ActiveDose ساخت شرکت ActiveTek آمریکا بود. این دستگاه شامل یک دستگاه تولیدکننده جریان الکتریکی است که منبع جریان آن یک باتری 9 ولتی آلکالاین است. حداکثر شدت جریان الکتریکی 4 میلی‌آمپر DC است که در این مطالعه جریان ثابت الکتریکی 2 میلی‌آمپر از طریق دو الکترود از روی مجموعه به مغز منتقل شد. الکترودها با ابعاد 5×5 در داخل اسفنج آغشته به آب نمک (سدیم کلراید 0/9) قرار گرفته و با نوارهای چسبی بر روی پوسته سر تثبیت شدند.

**آزمون خطرپذیری بادکنکی بارت<sup>1</sup>:** این آزمون میزان خطرپذیری فرد را در شرایط واقعی بررسی می‌کند. در این آزمون روی صفحه نمایش رایانه تصویر یک بادکنک ظاهر می‌شود که فرد با فشار دادن دکمه زیر آن می‌تواند آن را باد کند. با هر بار باد کردن بادکنک فرد امتیاز بیشتری کسب می‌کند اما ممکن است در جایی بادکنک بترکد که در این صورت فرد تمام امتیازات خود را از دست می‌دهد. از آنجایی که شرایط آزمون به نحوی است که فرد در شرایط واقعی تصمیم‌گیری قرار دارد و از طرفی آزمون وابسته به فرهنگ نیست و مبنای عصب‌شناختی دارد، استناد به روایی و پایایی مقاله‌های خارجی کافی است (اختیاری و بهزادی، 2007). مطالعات خارجی انجام شده بیانگر اعتبار و روایی آزمون است (هانت، هوپکو، بار، لجوز و رابینسون، 2005).

می‌شود. پروتکل پیشنهادی این مداخله بر اساس نقش ناحیه OFC در کنترل تکانه و ریسک‌پذیری (اولت، مکگیر، ون دن ایندر، جولانت، لپاگ و برلیم، 2015) و مطالعاتی بوده که نشان دادند تحریک آندی نیمکره چپ ناحیه OFC با بهبود در عملکرد اجرایی (وایوگ، واگر، فردریک سان، نول و تیلر، 2008) همراه است، بر این اساس در این مطالعه tDCS به دو شکل اجرا شد: (1) مداخله در گروه آزمایشی به صورت تحریک آندی OFC نیمکره راست و تحریک کاتدی DLPFC نیمکره چپ در حدود 2 میلی‌آمپر؛ (2) گروه شم یا کنترل با قرارگیری الکترود آندی در OFC نیمکره راست و الکترود کاتدی در DLPFC نیمکره چپ بدون ارسال جریان الکتریکی. بر طبق سیستم EEG 20-10، مناطق مغزی شامل F3 برای ناحیه DLPFC چپ و Fp2 برای ناحیه OFC راست می‌شود.

در ابتدا، اهداف طرح برای افراد توضیح داده شد سپس بعد از کسب اطلاعات دموگرافی اولیه و رضایت‌نامه آگاهانه کتبی، هر فرد دو نوع نرم افزار عملکرد اجرایی بارت و آیوا را به عنوان پیش‌تست تکمیل نمودند. سپس هر یک در اتاقی آرام و در صندلی راحت قرار گرفته تحت تحریک tDCS قرار گرفتند. مداخله تا ده روز به طور پی در پی انجام شد و در پایان 10 روز بعد از اتمام مداخله دو نرم‌افزار عملکرد اجرایی بارت و آیوا را به عنوان پس‌تست تکمیل نمودند. در پژوهش حاضر از ابزار ذیل استفاده شد:

1. Balloon Analogue Risk Taking Task(BART)

فرزانه پولادی و همکاران: تاثیر tDCS روی OFC نیمکره راست در عملکرد اجرایی تصمیم‌گیری پرخطر و ریسک‌پذیری

تحلیل کوواریانس تک‌متغیره (آنکوا) برای هر یک از آزمون‌ها استفاده شد.

#### یافته‌ها

در این پژوهش 16 زن و 15 مرد با حدود سنی 20 تا 32 سال و با میانگین سنی 25/83 و انحراف معیار 3/91 در دو گروه آزمایش و کنترل قرار گرفتند. 16 نفر تحصیلات لیسانس و 14 نفر تحصیلات فوق‌لیسانس داشتند. به منظور بررسی اثر tDCS روی منطقه OFC نیمکره راست روی تصمیم‌گیری و ریسک‌پذیری در هر دو آزمون بارت و آیوا و در دو گروه آزمایش و کنترل از روش تحلیل کوواریانس تک‌متغیره یک‌راهه (آنکوا) استفاده شد. پیش از استفاده از این مدل مفروضه‌های اصلی آنکوا مورد بررسی قرار گرفت: مفروضه اول: مستقل بودن گروه‌ها. شرکت‌کنندگان مطالعه به طور تصادفی و مستقل از یکدیگر در دو گروه آزمایش و کنترل قرار گرفتند. مفروضه دوم: نرمال بودن توزیع متغیر. جهت بررسی نرمال بودن داده از آزمون کولموگراف-اسمیرنف استفاده شد. عدم معناداری داده‌ها بیانگر نرمال بودن توزیع است ( $P > 0/05$ ). مفروضه سوم: همگنی شیب خط رگرسیون. عدم معناداری اثر متقابل پیش‌آزمون و گروه، شرط همگنی شیب خط رگرسیون را برای انجام تحلیل کوواریانس برقرار می‌سازد ( $P > 0/05$ ).

آزمون قمار آیوا<sup>1</sup>: این آزمون به طور گسترده‌ای برای ارزیابی تصمیم‌گیری در شرایط دارای ریسک، خطر و ابهام در جمعیت‌های مختلف بالینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (مالوی دینیز، فنتیز، لیته کورا و بچارا، 2007). در نسخه کامپیوتری این آزمون چهار دسته کارت 100 تایی پیش روی آزمودنی قرار می‌گیرد. آزمودنی می‌بایست از بین چهار دسته یک کارت بردارد. پس از هر انتخاب میزان برد یا باخت به او اطلاع داده می‌شود. اعتبار آزمون در مطالعات خارجی قابل اطمینان ارزیابی شده است (گانسلر، جرام، وانودال و چریلن، 2011). نسخه فارسی این آزمون توسط حامد اختیاری و همکاران (1380) در موسسه مطالعات علوم شناختی طراحی و کارایی آن در جمعیت ایرانی به اثبات رسید. نسخه به دست آمده ایرانی در مقایسه با نسخه اصلی انگلیسی نتایج یکسانی را نشان می‌دهد (اختیاری و بهزادی، 2001). نتایج این مطالعه شامل نمره تنظیم‌شده برای آزمون بادکنی بارت و نمره خالص برای آزمون قمار آیوا بود. نتایج با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ورژن 16 مورد تحلیل قرار گرفتند. داده‌ها ابتدا با استفاده از میانگین و انحراف معیار گزارش شدند، سپس از

1. Iowa Gambling Task (IGT)

مفروضه چهارم: همگنی واریانس‌ها. عدم واریانس گروه‌ها برابر است ( $P > 0/05$ ).  
معناداری آزمون لوین نشان می‌دهد

جدول 1. آماره‌های توصیفی آزمون بارت

گروه کنترل		گروه آزمایش		آزمون بارت
انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
8/39	76/93	4/38	80/73	پیش‌آزمون
7/67	78/27	5/83	76/93	پس‌آزمون

جدول 1 میانگین و انحراف معیار نمره‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون را در آزمون بارت در دو گروه آزمایشی و کنترل نشان می‌دهد. بر طبق نمرات به دست آمده در جدول، نمرات پس‌آزمون گروه آزمایش در مقایسه با پیش‌آزمون کاهش داشته است.

جدول 2. تحلیل کوواریانس تک‌متغیره آزمون بارت با کنترل اثر پیش‌تست

منبع تغییرات	SS	df	MS	F	سطح معناداری	مجذور اتا
پیش‌آزمون	826/80	1	826/80	46/99	0/00	0/63
گروه	134/68	1	134/68	7/65	0/01	0/22
خطا	745/05	27	17/95	-	-	-

نتایج جدول 2 نشان می‌دهد بین دو گروه آزمایش و کنترل در آزمون بارت تفاوت معناداری وجود دارد و اثرات مداخله tDCS توانسته موجب تغییر در نتیجه آزمون بارت در گروه آزمایش شود ( $P < 0/05$ ). کاهش نمرات میانگین در پس‌آزمون در مقایسه با گروه کنترل نشان می‌دهد که مداخله tDCS توانسته بر تصمیم‌گیری اثر گذاشته موجب کاهش در فرآیند تصمیم‌گیری شود.

جدول 3. آماره‌های توصیفی آزمون آیوا

گروه کنترل		گروه آزمایش		آزمون آیوا
انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
23/89	0/33	25/23	0/33	پیش‌آزمون
14/46	5/60	12/02	6/93	پس‌آزمون

جدول 3 میانگین و انحراف معیار نمره‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون را در آزمون آیوا در دو گروه آزمایشی و کنترل نشان می‌دهد. نمرات پس‌آزمون در هر دو گروه آزمایش و کنترل در مقایسه با نمرات پیش‌آزمون بالا رفته است.

جدول 4. تحلیل کوواریانس تک‌متغیره آیوا با کنترل اثر پیش‌تست

منبع تغییرات	SS	df	MS	F	سطح معناداری	مجذور اتا
پیش‌آزمون	724/11	1	724/11	4/62	0/04	0/14
گروه	13/33	1	13/33	0/08	0/77	0/00
خطا	4228/41	27	156/60	-	-	-

اودالی، مالافوس و همکاران، 2010) همچنين همسو با مطالعاتی بود که گزارش دادند افزایش رفتار ریسک‌پذیری در افراد سالم با کاهش فعالیت در VMPFC (که OFC یک عنصر کلیدی آن است) (اسکانبرگ، فوکس، مامفورد، کاندن، تریپل و همکاران، 2012) ارتباط دارد.

نواحی OFC و VMPFC بیشترین درگیری را در جنبه‌های ولنس و هیجانی کنترل بازداری را دارند در حالی که ناحیه DLPFC بیش‌ترین دخالت را در جنبه‌های شناختی کنترل بازداری نشان می‌دهد (گازانگیا، 2014). شواهد در حال افزایشی قویا پیشنهاد می‌کنند تصمیم‌گیری و کنترل تکانه توسط شبکه عصبی توزیع‌شده‌ای که شامل چندین ناحیه پره فرونتال، لیمبیک و نواحی زیرقشری می‌شود، وساطت می‌گردد (روزنبلوم، اسپچمان و پریس، 2012). در بین آنها OFC به نظر می‌رسد نقش مهمی را بازی می‌کند (ولز و وون کرامون<sup>1</sup>، 2009). این از اینجا نشات می‌گیرد که افراد با ضایعات OFC در مقایسه با افراد سالم و افراد با دیگر ضایعات مغزی غیر از OFC بیش‌تر تکانه‌ای عمل می‌کنند و معمولاً قادر نیستند تصمیمات را علی‌رغم نتایج منفی مرتبط

نتایج جدول 4 نشان می‌دهد بین دو گروه آزمایش و کنترل در آزمون آیوا تفاوت معناداری وجود نداشته است و اثرات مداخله tDCS نتوانسته موجب تغییر در نتیجه آزمون آیوا در گروه آزمایش شود ( $P > 0/05$ ).

#### بحث و نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر بررسی تاثیر تحریک مغز با جریان مستقیم الکتریکی از روی جمجمه (tDCS) بر منطقه مغزی OFC نیمکره راست در تصمیم‌گیری و ریسک‌پذیری بود که بر روی دو گروه آزمایشی و کنترل انجام شد. مطالعه انجام شده با استفاده از دو آزمون شناختی بارت برای ارزیابی تصمیم‌گیری و آیوا جهت ارزیابی ریسک‌پذیری انجام شد. نتایج نشان داد بین دو گروه تنها در آزمون بارت تفاوت معناداری وجود دارد و تحریک مغز با استفاده از tDCS در ناحیه OFC نیمکره راست موجب کاهش تصمیمات پرخطر می‌شود.

نتایج مطالعه حاضر همسو با مطالعاتی بوده که نشان دادند کاهش فعالیت در ناحیه OFC با کاهش تصمیم‌گیری‌های زیان‌آور رفتارهای خودکشی همراه است (جولانت، لاورنس، اولی،

1. Li, Chen & Tsai



سودمندتری را گرفتند و همچنین کنترل تکانه شناختی بهتری را نشان دادند (اولت، مکگیر، ون دن ایندر، جولانت، لپاگ و برلیم، 2015). آسیب به OFC یک الگوی نامتعارفی از نواقص را ایجاد می‌کند. این دست از بیماران توانایی‌های شناختیشان سالم می‌ماند اما در تصمیم‌گیری‌های روزانه دچار آسیب هستند. OFC نقش کلیدی را در پردازش پاداش دارد: این ناحیه چندین منبع اطلاعات را با توجه به پیامد پاداش آور آن ادغام می‌کند تا سیگنال ارزشی از آن استنباط کند. در نتیجه OFC محاسبه می‌کند که چگونه پاداش یک پاداش است. این سیگنال ارزشی می‌تواند در حافظه کاری نگهداری شود جایی که به وسیله کرتکس پره فرونتال دوطرفه برای برنامه‌ریزی و سازمان‌دهی رفتار در جهت کسب نتیجه و به وسیله کرتکس میانی پره فرونتال برای ارزیابی اقدامی کلی از لحاظ موفقیت و تلاش مورد نیاز مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین با همکاری این نواحی از پره فرونتال می‌توان اطمینان حاصل کرد که رفتار ما در جهت رضایت نیازهای ما به طور کارآمدتری هدایت می‌شود (والیس، 2007). بر این اساس با بازداری فعالیت DLPFC و فعالیت همزمان ناحیه OFC به نظر می‌رسد فرد با اطمینان بیشتری دست به انتخاب تصمیم درست می‌زند.

شواهد پیشنهاد داده‌اند که فرایندهای عصبی زمینه‌ساز تصمیم‌گیری و کنترل تکانه به وسیله تعامل ما بین "حلقه لیمبیک"<sup>1</sup> (عاطفی/هیجانی)

تغییر دهند و در شناسایی هیجان‌ات منفی در چهره یا کلام کمتر موفق هستند (فلودن، الکساندر، کوبو، کاتز و استوز، 2008). به طور وسیع‌تر این ناحیه مغزی نقش اصلی را در رمزگشایی ارزش پاداش پیش‌بینی شده (یا سودمندی مورد انتظار) از گزینه‌های انتخابی و یکپارچه‌سازی با اطلاعات غیرمرتبط (همانند حالت درونی، زمینه جاری، برنامه‌های بعدی) دارد (ولز و وون کرامون، 2009). OFC به وسیله تسک‌هایی که نیاز به پردازش پاداش یا اطلاعات هیجانی دارد، فعال می‌شود. برای مثال این ناحیه بیش‌ترین فعالیت را نسبت به تصاویر مطلوب (همانند چهره کودک) یا تصاویر نامطلوب (همانند بدن‌های متلاشی) به عنوان تصاویر غیرخستگی، نشان می‌دهد. نتایج مشابه حتی در دیگر متغیرها همانند بوها، مزه‌ها، صداها و تماس‌های مطلوب یا نامطلوب نیز مشاهده شده‌اند. OFC به این سادگی مسئول حضور این پاداش‌ها نیست، بلکه به نظر می‌رسد از این اطلاعات استفاده می‌کند تا تصمیم‌گیری و انتخابات ما را هدایت کند. برای مثال OFC در زمانی که افراد در حال انتخاب یک وعده غذایی از منو هستند فعال می‌شود نه این که آن‌ها به سادگی منو را بدون قصد سفارش بخوانند (میلر و والیس، 2012). OFC با اسناد ارزشی (متری و دریهر، 2015) پیش‌بینی پاداش، کسب پاداش و از دست دادن پاداش (لی، چن و تسایی، 2015) ارتباط دارد. در مطالعه‌ای که بر روی افراد سالم انجام شد بیانگر آن بود افرادی که تحریک OFC را دریافت داشتند در برابر گروه شم تصمیم‌گیری

1. limbic loop

فرزانه پولادی و همکاران: تاثیر tDCS روی OFC نیمکره راست در عملکرد اجرایی تصمیم‌گیری پرخطر و ریسک‌پذیری

دیدگاه عصب شناختی این پیشنهاد وجود دارد فعالیت آندی tDCS روی OFC می‌تواند به طور انگیزشی توانایی رمزگشایی اطلاعات برجسته را در آزمون‌های بارت و آیوا را افزایش دهد (همانند احتمال پاداش و مجازات آن‌ها)، در نتیجه فرد قادر خواهد بود استراتژی با تصمیم‌گیری سودمندتر در پیش گیرد.

هر دو آزمون بارت و آیوا، تصمیم‌گیری و ریسک‌پذیری را مورد سنجش قرار می‌دهند، اما سوال این است که چرا دو آزمون که یک مقوله را می‌سنجند نتایج متفاوتی را به همراه داشتند؟ چرا آزمون بارت معنادار شده و آیوا معنادار نشده است؟ در پاسخ به این سوال باید گفت بحثی وجود دارد مبنی بر اینکه تجارب گذشته عمدتاً به وسیله هیجان منتقل می‌گردد. به عبارتی جهت‌گیری هیجانی می‌تواند بین تجارب گذشته و تصمیم‌گیری در آینده ارتباط اصلی را برقرار می‌سازد. تئوری ترجیح<sup>4</sup> که یک رویکرد مبتنی بر هیجان و عاطفه در تصمیم‌گیری مجدد است، بیان می‌دارد واکنش‌های هیجانی می‌توانند رفتار تصمیم‌گیری را تحت تاثیر قرار دهند (بتج، 2009). بر اساس این تئوری می‌توان گفت اجرای اولیه آزمون بارت توسط آزمودنی‌ها توانسته اجرای آزمون آیوا را تحت تاثیر قرار دهد. بدین معنا تجارب به دست آمده در آزمون بارت در نتایج به دست آمده در آزمون آیوا را از نظر هیجانی متاثر ساخته است. گرچه سبک اجرای هر دو آزمون متفاوت از یکدیگر بوده اند اما انتقال

شامل OFC، آمیگدال و جسم مخطط شکمی<sup>1</sup> و "حلقه شناختی"<sup>2</sup> (اجرایی/حرکتی) شامل ACC، DLPFC و جسم مخطط پشتی وساطت می‌شوند (کابل و کلیمچر، 2009؛ روزنلوم، اسپمهمان و پریس، 2012). به طور خاص، به نظر می‌رسد حلقه لیمبیک با رمزگشایی فوری و پاسخ به پاداش‌ها، ضررها یا تهدیدهای بالقوه و تنظیم هیجان درگیر است، در حالی که حلقه شناختی عمدتاً در پیش‌بینی بلندمدت پاداش، ارائه عمل و حفظ هدف و همچنین در نظارت انتخاب‌های مبهم یا متعارض نقش دارد (اولت، مکگیر، ون دن ایندر، جولانت، لپاگ و برلیم، 2015). بر اساس این مدل به نظر می‌رسد تغییرات عصب شناختی مشاهده شده در این مطالعه بعد از ارائه مداخله می‌تواند ناشی از اثرات تسهیل‌کننده مستقیم روی فعالیت OFC همراه با تعدیل غیرمستقیم دیگر نواحی مرتبط با فرونتال همانند DLPFC و ACC باشد (کرینیچ و رولز، 2004). همچنین ارتباطات دوطرفه بین OFC و هیپوکامپ، آمیگدال و هسته اکومبنس<sup>3</sup> می‌تواند با مکانیزم عمل tDCS ارتباط داشته باشد (کرینیچ و رولز، 2004). اساساً، این فرضیه به وسیله مطالعات اخیر تصویربرداری عملکردی حمایت می‌شود که گزارش داده‌اند tDCS نه تنها قادر به افزایش تحریکات کورتکس است بلکه در فعالیت عصبی مکان‌های نزدیک و دور نیز تاثیرگذار است (وبر، مسینگ، روی، دتریتامسون شیل، 2014). از

1. Ventral striatum
2. Cognitive loop
3. nucleus accumbens

4. Preference theory

جنس زن و مرد در عملکردهای اجرایی و ارتباط آن با الگوهای فعالیت مغزی (باتلر، پن، امپراتو مکجینلی، ویر، کانینگام باسل، 2007)، محل آناتومی (میلوس، آیچ، اهدب، فرهات، زواری، 2013)، و یا تفاوت‌های هورمونی (باگو، روچا، دا سیلوا و فرگنی، 2008)، می‌تواند پیش‌بینی‌کننده اثرگذاری این متغیر در نتایج باشد. پیشنهاد بر این است مطالعات آینده بتوانند با افزایش تعداد نمونه‌های آزمودنی متغیر جنس را تحت کنترل قرار دهند و یا اثربخشی مداخله را به تفکیک جنسیت مورد بررسی قرار دهند همچنین به خاطر اثرات دو نیمکره راست و چپ ناحیه OFC در تصمیم‌گیری پرخطر، پیشنهاد می‌شود پژوهشگران در آینده اثرات tDCS را علاوه بر اجرا در ناحیه OFC نیمکره راست، در نیمکره چپ نیز اجرا نمایند تا تفاوت اثرات مداخله در هر دو گروه مشخص گردد.

بار هیجانی آزمون اول توانسته نتایج آزمون دوم را تحت تاثیر قرار دهد. از محدودیت‌های تکنیک‌های تحریک مغزی رزولوشن کم tDCS است. تحریک OFC ممکن است دیگر نواحی فرونتال را نیز تحریک کند و نتایج داده‌ها را تحت تاثیر قرار دهد. همچنین از محدودیت‌های این مطالعه کنترل متغیر جنس بوده است. مطالعات نشان دادند متغیرهایی چون سن، جنس، سطح تحصیلات (بریهیل و جونس، 2912) یا بیماری‌های زمینه‌ای می‌تواند در نتایج اثربخشی tDCS نقش داشته باشند (اووه، پارک، یو، کو، چوی، 2008). در این مطالعه گرچه متغیرهای مداخله‌گری چون سن (فرگنی، مارکولین، میژوکوی، آمیاز، هزی، 2006)، سطح تحصیلات یا بیماری‌های زمینه‌ای حذف شدند، اما عدم حذف متغیر مداخله‌گر جنس از جمله محدودیت‌های مطالعه حاضر بوده است. بررسی‌های انجام شده در رابطه با تفاوت دو

## منابع

الف (1397). «اثربخشی بازی‌درمانی گروهی شناختی رفتاری و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای مغز بر کارکردهای اجرایی حافظه فعال و بازداری پاسخ کودکان دارای اختلال بیش‌فعالی/نقص توجه». فصلنامه علمی - پژوهشی عصب‌روانشناسی. 4(14)، 73-90.

واقف، ل؛ بافنده‌قراملکی، ح. و سلطانی‌مارگانی، ف (1398). «اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر زمان واکنش و تصمیم‌گیری پرخطر در افراد مبتلا به افسردگی». فصلنامه علمی - پژوهشی عصب‌روانشناسی، 5(18)، 57-74.

فتاحی‌اندبیل، الف؛ صابری، ه. و کاظمی‌کواکی،

Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions

Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A. R. (2005). The Iowa

- and answers. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(4), 159-62.
- Berryhill, M. E. & Jones, K. T. (2012). tDCS selectively improves working memory in older adults with more education. *Neuroscience letters*, 521(2), 148-51.
- Betsch, T. (2005). *Preference theory: an affect-based approach to recurrent decision making*. In: T. Betsch & S. Haberstroh, (Eds). *The routines of decision making*. Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates, p. 39-65.
- Boggio, P. S., Rocha, R. R., da Silva, M. T. & Fregni, F. (2008). Differential modulatory effects of transcranial direct current stimulation on a facial expression go-no-go task in males and females. *Neurosci Lett*, 447(2-3), 101-5.
- Butler, T., Pan, H., Imperato-McGinley, J., Voyer, D., Cunningham-Bussel, A. C. & et al. (2007). A network approach to fMRI condition-dependent cognitive activation studies as applied to understanding sex differences. *Clinical Neuroscience Research*, 6(6), 391-8.
- Cano-Ramírez, H. & Hoffman, K. L. (2017). Activation of the orbitofrontal and anterior cingulate cortices during the expression of a naturalistic compulsive-like behavior in the rabbit. *Behav Brain Res*, 320, 67-74.
- Clark, L., Cools, R. & Robbins, T. W. (2004). The neuropsychology of ventral prefrontal cortex: decision-making and reversal learning. *Brain Cogn*, 55, 41-53.
- Coffman, B. A., Clark, V. P. & Parasuraman, R. (2014). Battery powered thought: enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *Neuroimage*, 85(3), 895-908.
- Coutlee, C. G. & Huettel, S. A. (2012). The functional neuroanatomy of decision making: prefrontal control of thought and action. *Brain research*, 1428, 3-12.
- Dong, G., Hu, Y., Lin, X. & Lu, Q. (2013). What makes Internet addicts continue playing online even when faced by severe negative consequences? Possible explanations from an fMRI study. *Biological psychology*, 94, 282-9.
- Dong, G., Lin, X. & Potenza, M. N. (2015). Decreased functional connectivity in an executive control network is related to impaired executive function in Internet gaming disorder. *Progress in neuro-psychopharmacology & biological psychiatry*, 57, 76-85.
- Durston, S., Tottenham, N. T., Thomas, K. M., Davidson, M. C., Eigsti, I-M., Yang, Y. & et al. (2003). Differential patterns of striatal activation in young children with and without ADHD. *Biological psychiatry*, 53(10), 871-8.
- Ekhtiari, H. & Behzadi, A. (2001). Evaluation of risk full decision making: Evidence of transcultural

- differences. *Journal of new cognitive sciences*, 3(4), 36-48.
- Ekhtiari, H. & Behzadi, A. Which one has negative effect on us? Investigating the risky decision making strategies by AIWA gambling test. *J Cogn Sci*. 2007;6(3-4): 17-25
- Floden, D., Alexander, M. P., Kubu, C. S., Katz, D. & Stuss, D. T. (2008). Impulsivity and risk-taking behavior in focal frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 46(1), 213-23.
- Fregni, F., Marcolin, M. A., Myczkowski, M., Amiaz, R., Hasey, G. & et al. (2006). Predictors of antidepressant response in clinical trials of transcranial magnetic stimulation. *Int J Neuropsychopharmacol*, 9(6), 641-54.
- Gansler, D. A., Jerram, M. W., Vannorsdall, T. D. & Schretlen, D. J. (2011). Does the iowa gambling task measure executive function? *Arch Clin Neuropsychol*, 26(8), 706-17.
- Gazzaniga, M. S. (2014). *Handbook of cognitive neuroscience*. Springer.
- Gorini, A., Lucchiari, C., Russell-Edu, W. & Pravettoni, G. (2014). Modulation of risky choices in recently abstinent dependent cocaine users: a transcranial direct-current stimulation study. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 661.
- Hunt, M. K., Hopko, D. R., Bare, R., Lejuez, C. W. & Robinson, E. V. (2005). Construct validity of the Balloon Analog Risk Task (BART): associations with psychopathy and impulsivity. *Assessment*, 12(4), 416-28.
- Jollant, F., Lawrence, N. S., Olie, E., O'Daly, O., Malafosse, A & et al. (2010). Decreased activation of lateral orbitofrontal cortex during risky choices under uncertainty is associated with disadvantageous decision-making and suicidal behavior. *Neuroimage*, 51(3), 1275-81.
- Kable, J. W. & Glimcher, P. W. (2009). The neurobiology of decision: consensus and controversy. *Neuron*, 63, 733-745.
- Kohls, G., Perino, M. T., Taylor, J. M., Madva, E. N., Cayless, S. J. & et al (2013). The nucleus accumbens is involved in both the pursuit of social reward and the avoidance of social punishment. *Neuropsychologia*, 51, 2062-2069.
- Krain, A. L., Wilson, A. M., Arbuckle, R., Castellanos, F. X. & Milham, M. P. (2006). Distinct neural mechanisms of risk and ambiguity: a meta-analysis of decision-making. *NeuroImage*, 32(1), 477-84.
- Kringelbach, M. L. & Rolls, E. T. (2004). The functional neuroanatomy of the human orbitofrontal cortex: evidence from neuroimaging and neuropsychology. *Prog. Neurobiol*, 72, 341-372.
- Kuo, M. F. & Nitsche, M. A. (2012). Effects of transcranial electrical stimulation on cognition. *Clin EEG Neurosci*, 43(3):192-9.

- Li, C. W., Chen, J. H. & Tsai, C. G. (2015). Listening to music in a risk-reward context: The roles of the temporoparietal junction and the orbitofrontal/insular cortices in reward-anticipation, reward-gain, and reward-loss. *Brain research*, 1629, 160-70.
- Luft, C. D. B., Zioga, I., Banissy, M. J. & Bhattacharya, J. (2017). Relaxing learned constraints through cathodal tDCS on the left dorsolateral prefrontal cortex. *Scientific Reports*, 7(1), 2916.
- Malloy-Diniz, L., Fuentes, D., Leite, W. B., Correa, H. & Bechara, A. (2007). Impulsive behavior in adults with attention deficit/hyperactivity disorder: characterization of attentional, motor and cognitive impulsiveness. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 13(4), 693-8.
- Marshall, L., Mölle, M., Siebner, H. R. & Born, J. (2005). Bifrontal transcranial direct current stimulation slows reaction time in a working memory task. *BMC neuroscience*, 6:23.
- Matthies S., Philipsena, A. & Svaldi, J. (2012). Risky decision making in adults with ADHD. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 43(3), 938-946
- Miller, E. K. & Wallis, J. D. (2012). *The prefrontal cortex and executive brain functions*. Academic Press.
- Metereau, E. & Dreher, J. C. (2015). The medial orbitofrontal cortex encodes a general unsigned value signal during anticipation of both appetitive and aversive events. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 63, 42-54.
- Mohr, P. N., Biele, G. & Heekeren, H. R. (2010). Neural processing of risk. *J Neurosci*, 30, 6613–6619.
- Mondino, M., Haesebaert, F., Poulet, E., Saoud, M. & Brunelin, J. (2015). Efficacy of Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation Over the Left Orbitofrontal Cortex in a Patient with Treatment-Resistant Obsessive-Compulsive Disorder. *Journal of ECT*, 31(4), 271-272.
- Mylius, V., Ayache, S. S, Ahdab, R., Farhat, W. H, Zouari, H. G. & et al. (2013). Definition of DLPFC and M1 according to anatomical landmarks for navigated brain stimulation: inter-rater reliability, accuracy, and influence of gender and age. *Neuroimage*, 78, 224-32.
- Nauczyciel, C., Le Jeune, F., Naudet, F., Douabin, S., Esquevin, A. & et al. (2014). Repetitive transcranial magnetic stimulation over the orbitofrontal cortex for obsessive-compulsive disorder: a double-blind, crossover study. *Transl Psychiatry*, 4, e436.
- Nitsche, M. A., Kuo, M. F., Paulus, W. & Antal, A. (2015). *Transcranial direct current stimulation: protocols and physiological mechanisms of action*. In: A.H. Knotkov., D. Rasche,(Eds). *Textbook of Neuromodulation: Principles,*

- Methods and Clinical Applications. New York, NY: Springer New York.
- Nitsche, M. A. & Paulus, W. (2011). Transcranial direct current stimulation--update 2011. *Restorative neurology and neuroscience*, 29(6), 463-92.
- Ohn, S. H., Park, C. I., Yoo, W. K., Ko, M. H., Choi, K. P. & et al. (2008). Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. *Neuroreport*, 19(1), 43-7.
- Oldershaw, A., Grima, E., Jollant, F., Richards, C., Simic, M. et al. (2009). Decision making and problem solving in adolescents who deliberately self-harm. *Psychol Med*, 39, 95-104
- Ouellet, J., McGirr, A., Van den Eynde, F., Jollant, F., Lepage, M., Berlim, M. T. (2015). Enhancing decision-making and cognitive impulse control with transcranial direct current stimulation(tDCS) applied over the orbitofrontal cortex(OFC): A randomized and sham-controlled exploratory study. *Journal of psychiatric research*, 69, 27-34.
- Padoa-Schioppa, C. & Conen, K. E. (2017). Orbitofrontal Cortex: A Neural Circuit for Economic Decisions. *Neuron*, 96(4), 736-54.
- Plewnia, C., Schroeder, P. A. & Wolkenstein, L. (2015). Targeting the biased brain: non-invasive brain stimulation to ameliorate cognitive control. *Lancet Psychiatry*, 2(4), 351-6.
- Potenza, M. N. (2014). The neural bases of cognitive processes in gambling disorder. *Trends Cogn Sci*, 18, 429-38.
- Potenza, M. N., Balodis, I. M., Franco, C. A., Bullock, S., Xu, J. & et al. (2013). Neurobiological considerations in understanding behavioral treatments for pathological gambling. *Psychology of addictive behaviors: journal of the Society of Psychologists in Addictive Behaviors*, 27, 380-92.
- Rao, H., Korkczykowski, M., Pluta, J., Hoang, A. & Detre, J. A. (2008). Neural correlates of voluntary and involuntary risk taking in the human brain: an fMRI Study of the Balloon Analog Risk Task(BART). *Neuroimage*, 42, 902-910.
- Rosenbloom, M. H., Schmahmann, J. D. & Price, B. H. (2012). The functional neuroanatomy of decision-making. *The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences*, 24(3), 266-77.
- Rutherford, H. J. V., Mayes, L. C. & Potenza, M. N. (2010). Neurobiology of Adolescent Substance Use Disorders: Implications for Prevention and Treatment. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am*, 19(3), 479-92.
- Salehinejad, M. A., Rostami, R. & Ghanavati, E. (2015). Transcranial Direct Current Stimulation of Dorsolateral Prefrontal Cortex of Major Depression: Improving Visual Working Memory,

- Reducing Depressive Symptoms. *NeuroRegulation*, 2, 37-49.
- Schonberg, T., Fox, C. R., Mumford, J. A., Congdon, E., Trepel, C. (2012). Poldrack, R.A. Decreasing ventromedial prefrontal cortex activity during sequential risk-taking: an fMRI investigation of the balloon analog risk task. *Frontiers in neuroscience*, 6, 80.
- Sela1, T., Kilim, A. & Lavidor, M. (2012). Transcranial alternating current stimulation increases risk-taking behavior in the Balloon Analog Risk Task. *Front Neurosci*, 14(6), 22.
- Svaldi, J., Philipsen, A. & Matthies, S. (2012). Risky decision-making in borderline personality disorder. *Psychiatry Research*, 197(1-2), 112-118.
- Uher, R., Murphy, T., Brammer M. J., Dalgleish, T., Phillips, M. L. & et al. (2004). Medial prefrontal cortex activity associated with symptom provocation in eating disorders. *Am J Psychiat*, 161, 1238-1246.
- Volkow, N. D. & Fowler, J. S. (2000). Addiction, a disease of compulsion and drive: involvement of the orbitofrontal cortex. *Cereb Cortex*, 10, 318-325.
- Volz, K. G., & von Cramon, D. Y. (2009). How the orbitofrontal cortex contributes to decision making — A view from *neuroscience*. In: M. Raab., J.G. Johnson., & H.R. Heekeren,(Eds). Progress in Brain Research. 174: Elsevier, p. 61-71.
- Wallis, J. D. (2007). Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making. *Annual review of neuroscience*, 30, 31-56.
- Wassermann, E. M. & Grafman, J. (2005). Recharging cognition with DC brain polarization. *Trends in cognitive sciences*, 9(11), 503-5.
- Waugh, C. E., Wager, T. D., Fredrickson, B. L., Noll, D. C. & Taylor, S. F. (2008). The neural correlates of trait resilience when anticipating and recovering from threat. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 3(4), 322-332.
- Weber, M. J., Messing, S. B., Rao, H., Detre, J. A. & Thompson-Schill, S. L. (2014). Prefrontal transcranial direct current stimulation alters activation and connectivity in cortical and subcortical reward systems: a tDCS-fMRI study. *Hum. Brain Mapp*, 35, 3673-3686.
- Yaple, Z., Martinez-Saito, M., Awasthi, B., Feurra, M., Shestakova, A. & Klucharev, V. (2017). Transcranial Alternating Current Stimulation Modulates Risky Decision Making in a Frequency-Controlled Experiment. *eNeuro*. ENEURO.0136-17.2017.