Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]
Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

# The Use of Direct Current Stimulation to Investigate the Role of Each Hemisphere in Motor Learning of Reaching Task

**Mostafa Teymuri Kheravi[1], Alireza Saberi Kakhki[1*], Hamidreza Taheri[1], Ali Ghanaie Chaman Abad[2], Mohammad Darainy[3]**

[1]Department of Motor Behavior, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[2]Department of Psychology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[3]Department of Psychology, McGill University, Montreal, Canada

***Article Info:***
***Received*: 25 Apr 2017** ***Accepted*: 14 Aug 2017**

## ABSTRACT

***Introduction:*** Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) can improve or impair the function of the brain. This has turned tDCS into a tool that can be used for evaluation of hemispheric specialization in motor programming and final position accuracy, as components of motor control and learning. ***Materials and Methods:*** Two different studies were designed. 53 male students (21.34±1.61 years) and 43 male students (20.442±1.578 years) were participated in the first and second studies, respectively. Participants were randomly assigned into four groups. C3 /C4 and F3/F4 areas were stimulated with the 2mA current in the first and second studies, respectively. The Repeated Measure test was used to analyze data. ***Results:*** In the first experiment, left M1 group (left anode/right cathode stimulation) significantly improved motor programming compared to the other groups. In the second experiment, the right dorsolateral prefrontal cortex group (right cathode/left anode) significantly decreased final position accuracy compared to the other groups. ***Conclusion:*** Our data suggested that the left hemisphere is specialized for motor programming whereas the right hemisphere is specialized for final position accuracy. These results are interpretable with hybrid motor control hypothesis.

***Key words:***

1. Brain
2. Learning
3. Role

***Corresponding Author:** Alireza Saberi Kakhki

**E-mail:** *askakhki@um.ac.ir*



www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]

Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

# استفاده از تحریک جریان مستقیم جهت بررسی نقش هر یک از نیمکره‌های مغز در یادگیری و کنترل حرکت دسترسی

مصطفی تیموری خروی[۱]، علیرضا صابری کاخکی[۱*]، حمیدرضا طاهری[۱]، علی غنایی چمن آباد[۲]، محمد دارینی[۳]

[۱]گروه رفتار حرکتی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۲]گروه روانشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۳]گروه روانشناسی، دانشگاه مگیل، مونترال، کانادا

**اطلاعات مقاله:**

**تاریخ دریافت:** ۵ اردیبهشت ۱۳۹۶

**تاریخ پذیرش:** ۲۳ مرداد ۱۳۹۶

## چـــــکیده

***مقدمه:*** تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای می‌تواند سبب بهبود یا اختلال عملکرد مغز شود. این ویژگی tDCS را به ابزاری تبدیل کرده است که می‌تواند جهت ارزیابی تخصص عمل یافتگی نیمکره‌ای در برنامه‌ریزی حرکتی و دقت رسیدن به هدف به‌عنوان اجزا یادگیری و کنترل حرکتی استفاده شود. ***مواد و روش‌ها:*** دو مطالعهٔ متفاوت طراحی شده است. ۵۳ نفر دانشجوی مرد (۱/۶۱±۲۱/۳۴سال) و ۴۳ نفر دانشجوی مرد (۱/۵۷۸±۲۰/۴۴۲) در مطالعات اول و دوم به ترتیب شرکت کردند. شرکت‌کننده‌ها به صورت تصادفی در چهار گروه قرار گرفتند. نواحی C3/C4 و F3/F4 به ترتیب در مطالعات اول و دوم با جریان ۲ میلی‌آمپر تحریک شدند. آزمون Repeated Measure جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. ***یافته‌ها:*** در آزمایش اول، برنامه‌ریزی حرکتی گروه Left M1 (تحریک آندی چپ/کاتدی راست) به طور معنی‌داری در مقایسه با سایر گروه‌ها بهبود یافت. در آزمایش دوم، دقت رسیدن به هدف گروه قشر پیش -پیشانی -خلفی -جانبی (تحریک کاتدی راست/آندی چپ) به صورت معنی‌داری در مقایسه با سایر گروه‌ها کاهش یافت. ***نتیجه‌گیری:*** داده‌های ما پیشنهاد می‌کند که نیمکرهٔ چپ در برنامه‌ریزی حرکتی تخصص یافته است در حالی که نیمکرهٔ راست برای دقت رسیدن به هدف تخصص یافته است. این نتایج با فرضیهٔ هیبریدی کنترل حرکت قابل تفسیر است.

**کلید واژه‌ها:**

۱. مغز
۲. یادگیری
۳. نقش

* **نویسنده مسئول:** علیرضا صابری کاخکی

**آدرس الکترونیکی:** *askakhki@um.ac.ir*



www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]
Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

## مقدمه

بسیاری از حرکات ادراکی -حرکتی مانند حرکات دسترسی شامل دو بخش افزایش شتاب و کاهش شتاب هستند که بخش افزایش شتاب با مکانیزم‌های از پیش برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی حرکتی در ارتباط است و بخش اول یک حرکت دسترسی را تشکیل می‌دهد و بخش کاهش شتاب به مکانیسم‌های بازخوردی و بازخورد حسی وابسته است و بخش دوم یک حرکت دسترسی را تشکیل می‌دهد (۱). بر این اساس می‌توان گفت که برای کنترل یک حرکت دسترسی دو سیستم کنترل حلقه باز و بسته وجود دارد (۲) به طوری که بخش اول یک حرکت دسترسی از طریق فرایندهای پیش‌خورانده و برنامه‌ریزی حرکتی قبل از اجرای حرکت از طریق سیستم کنترل حلقهٔ باز کنترل می‌شود در حالی که بخش انتهایی حرکت و رسیدن به هدف به وسیلهٔ فرایندهای بازخوردی و کنترل حلقهٔ بسته کنترل می شود (۳). احتمالاً مکانیسم‌های کنترل حلقهٔ باز و برنامه‌ریزی حرکتی در نیمکرهٔ چپ و مکانیسم‌های بازخوردی و رسیدن به هدف در نیمکرهٔ راست تخصص عمل یافتگی بیشتری داشته باشند (۴).

در حمایت از این موضوع برخی مطالعات مانند استاکل و ویگلت که به برتری یافتگی مغز و یادگیری حرکتی پرداخته‌اند بر برتری یافتگی نیمکرهٔ چپ در کنترل ویژگی‌های مربوط به برنامه‌ریزی حرکتی (یعنی؛ توالی و زمانبندی حرکات، کنترل مسیرهای حرکتی حرکات[1] و تنظیم جنبه‌های پویای تکلیف) و برتری یافتگی نیمکرهٔ راست در کنترل ویژگی‌های مربوط به دقت رسیدن به هدف (مانند؛ پردازش‌های فضایی) اشاره کرده‌اند (۵، ۶). در همین راستا اسکیفر و همکاران (۲۰۰۹، ۲۰۱۲) گزارش کرده‌اند که آسیب به نیمکرهٔ چپ منجر به هماهنگی ضعیف بین اجزای حرکت و آسیب به نیمکرهٔ راست منجر به عدم توانایی در به پایان رساندن دقیق حرکت می‌شود (۷، ۸) و مهم‌تر اینکه بر برتری نیمکرهٔ راست در استفاده از اطلاعات بازخوردی حس عمقی (۹) و بینایی (۱۰) به‌عنوان مهم‌ترین متغیر سیستم کنترل حلقهٔ بسته تأکید شده است و به نظر می‌رسد مدارهای نیمکرهٔ راست از طریق تعدیل مکانیسم‌های تثبیت حسی -حرکتی در دقت وضعیت نهایی نقش مهم‌تری داشته باشد (۱۱، ۱۲). روی هم رفته بر اساس نتایج مقالات پیش‌بینی می‌شود که احتمالاً بخش اول یک حرکت دسترسی را نیمکرهٔ چپ با استفاده از مکانیزم‌های پیش‌خورانده و برنامهٔ حرکتی و بخش دوم آن را نیمکرهٔ راست با استفاده از مکانیزم‌های بازخوردی و کنترل حلقهٔ بسته کنترل کند و مطالعهٔ حاضر جهت روشن‌تر شدن این موضوع طراحی شده است. روش‌های مختلفی برای تعیین عملکرد هر یک از نواحی مغز در کنترل حرکت استفاده شده است که استفاده از تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای (tDCS)[2] یکی از روش‌های جدید می‌باشد (۱۳).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که tDCS می‌تواند عملکرد شناختی را در بسیاری از تکالیف، بسته به نواحی از مغز که تحریک شده افزایش دهد (۱۴). همچنین در ارتباط با اثرات tDCS روی تکالیف حرکتی، نتایج مطالعات نشان می‌دهد که tDCS می‌تواند سبب تحریک‌پذیری قشر حرکتی مغز شده و از این طریق با تسهیل کارکرد ناحیهٔ تحریک شده سبب تسهیل و بهبود یادگیری حرکتی شود (۱۶-۱۴). اثرات tDCS روی یادگیری حرکتی آن را به ابزاری جهت تعیین تخصص عمل یافتگی نیمکره‌ای تبدیل کرده است (۱۷). برای مثال اسچامبرا و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان "جستجو جهت تعیین تخصص عمل یافتگی نیمکره‌ای در یادگیری حرکتی: یک مطالعهٔ تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای" به بررسی تخصص عمل یافتگی نیمکره‌ای در یادگیری حرکتی پرداختند و نشان دادند که نیمکرهٔ چپ در یادگیری حرکتی از تخصص عمل یافتگی بیشتری برخوردار است. قابل ذکر است که تکلیف استفاده شده در مطالعهٔ آن‌ها تکلیف SVIPT[3] می‌باشد که بیشتر به فرایندهای برنامه‌ریزی حرکتی متکی است (۱۷).

روی هم رفته این موضوع که آیا تخصص عمل یافتگی نیمکره‌ای خاصی برای کنترل و یادگیری هر یک از اجزای یک حرکت دسترسی وجود دارد، یکی از مهم‌ترین مسائل حیطهٔ کنترل حرکتی می‌باشد که هنوز به روشنی مشخص نشده است و روشن شدن آن می‌تواند هم به لحاظ بنیادی به‌منظور درک و گسترش چگونگی کنترل و یادگیری حرکتی و هم به لحاظ کاربردی جهت کمک به بیمارانی که در هر یک از اجزای کنترل حرکت مشکل دارند مانند بیماران سندرم داون که به نظر می‌رسد در جزء برنامه‌ریزی حرکتی مشکل داشته باشند از اهمیت زیادی برخوردار باشد.

## مواد و روش‌ها

### آزمایش اول

**شرکت‌کنندگان:** پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی بود که در آزمایشگاه گروه رفتار حرکتی دانشکدهٔ تربیت بدنی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. جامعهٔ آماری این مطالعه، شامل تمامی پسران دانشجو بود که در سال تحصیلی ۹۵-۹۴ در دانشگاه فردوسی مشهد مشغول به تحصیل بودند. حجم نمونهٔ آماری با استفاده از نرم‌افزار Gpower با اندازهٔ اثر ۰/۲۵ و توان ۰/۹۵ تعیین شد. بر این اساس ۵۳ دانشجوی پسر داوطلب (۳۴۰/۶۱±۲۱/۶۱ سال) در تحقق حاضر شرکت کردند، همهٔ شرکت‌کنندگان فرم رضایت‌نامهٔ غیررسمی را برای شرکت در این مطالعه تکمیل کردند. مطالعهٔ حاضر توسط بخش پژوهش دانشگاه تأیید شد (کد: ۳/۴۱۰۱۴) و همهٔ آزمایش‌ها در آزمایشگاه رفتار حرکتی دانشکدهٔ علوم ورزشی انجام شد. شرکت‌کنندگان به طور تصادفی در چهار گروه تقسیم شدند. گروه M1 right (n=۱۴): شرکت‌کنندگان همزمان با تحریک در

[1] Trajectory of movement
[2] Transcranial direct current stimulation
[3] Sequential visual isometric pinch task



www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]
Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

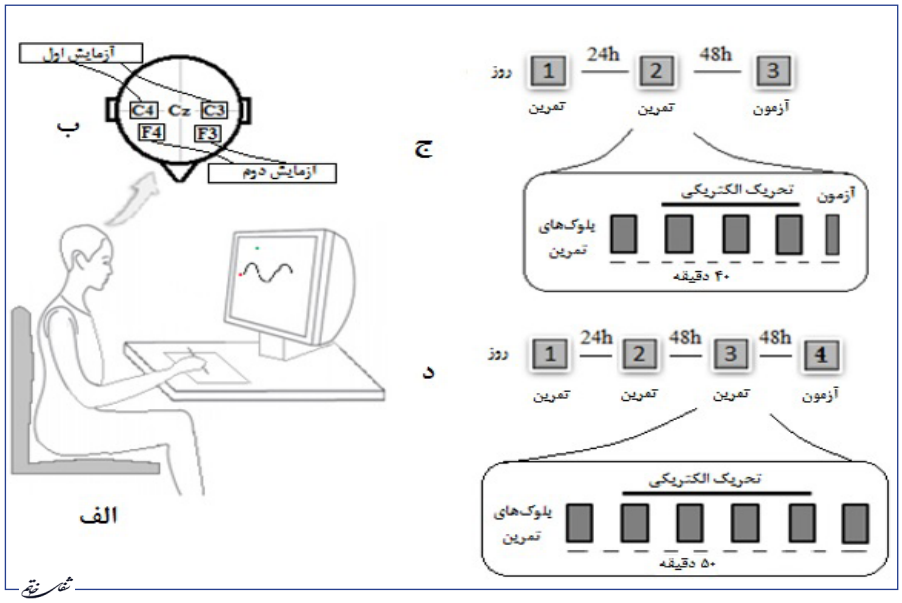
نیمکرهٔ راست به تمرین الگوهای[4] حرکتی می‌پرداختند. گروه left M1 (n=۱۳): افراد این گروه همزمان با تحریک در نیمکرهٔ چپ به تمرین الگوهای حرکتی می‌پرداختند. گروه Sham TDCS (n=۱۱): در حالی به تمرین الگوهای حرکتی می‌پرداختند که جریان الکتریکی تنها به مدت ۱۵ ثانیه در ابتدای تمرین اعمال می‌شد. تمرین (n=۱۵): شرکت‌کنندگان در این گروه بدون ایجاد تحریک در نیمکرهٔ راست یا چپ به تمرین الگوهای حرکتی می‌پرداختند.

**تکلیف:** برای تمرین برنامه از سه الگو استفاده شد که از مطالعهٔ ولف و اشمیت اقتباس شد (۱۸). هر الگو به مدت یک ثانیه برای شرکت‌کنندگان نمایش داده و سپس ناپدید می‌شد، سپس از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شد که نشانه‌گر را به نقطهٔ شروع (دایرهٔ کوچک قرمز، تصویر ۲) حرکت دهند. بلافاصله بعد از خروج از نقطهٔ شروع، زمان برای افراد ثبت می‌شد و حرکت با عبور سریع افراد از خط انتهایی که با یک خط عمودی غیرقابل رویت در انتهای حرکت مشخص می‌شد تمام می‌شد. به هنگام ترسیم الگو رد نشانه‌گر روی صفحهٔ مانیتور باقی نمی‌ماند. این عمل باعث جلوگیری از استفاده از بازخورد همزمان برای ترسیم الگوها می‌شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد که الگوی مشاهده شده را با سرعت و به صورت خودکار در یک محدودهٔ ۳/۳ ثانیه‌ای اجرا کنند. این رویکرد تمرینی شرایطی را فراهم می‌کرد که افراد را وادار می‌کرد قبل از اجرای هر کوشش حرکت را با استفاده از اطلاعات بینایی پیش‌خورانده و مکانیسم‌های پیش‌گویانه برنامه‌ریزی و سپس اجرا کنند. یک ثانیه بعد از ترسیم الگو توسط فرد، الگوی ترسیم شده همراه با الگوی ملاک نمایش داده می‌شد تا افراد بتوانند الگوی انجام شده و الگوی ملاک را مقایسه و میزان خطای خود را شناسایی کنند. از میزان خطای RMS، زمان حرکت، نسبت خطای RMS به زمان حرکت و میزان مهارت (۱۰۰×زمان حرکت/۱×میزان خطا/۱=مهارت) در اجرای تکلیف برای تعیین پیشرفت در یادگیری برنامهٔ حرکتی استفاده شد.

**تحریک:** از دو الکترود ۲۵ $cm^2$ که در محلول آب شور خیس می‌شد[5] با شدت جریان mA2 و چگالی[6] جریان ۰/۰۸ $mA/cm^2$ و مدت زمان ۲۰ دقیقه برای تحریک با استفاده از tDCS (oasis pro; mind alive device) استفاده شد (۲۱-۱۹)- (تصویر ۱ ب). در طول همهٔ جلسات تمرین به صورت مکرر از شرکت‌کننده‌ها دربارهٔ اثرات جانبی (مانند: سردرد، ناراحتی پوست، عدم توجه و خواب‌آلودگی) احتمالی تحریک سؤال می‌شد (۱۷).

## آزمایش دوم

**شرکت‌کنندگان:** ۴۳ نفر دانشجوی مرد داوطلب (۱/۵۷۸±۲۰/۴۴۲) به طور تصادفی در چهار گروه right DLPFC[7] (n=۱۲)، left DLPFC (n=۱۱)، Sham tDCS (n=۹)، Practice (n=۱۱)) تقسیم شدند.




**تصویر ۱**- روش‌ها: الف: شمای کلی تحقیق: چهار گروه تکلیف را با استفاده از قلم نوری روی یک صفحهٔ ۹ در ۱۲ اینچ انجام می‌دادند. ب: الگوی تحریک: در آزمایش اول در طول دورهٔ تمرین برای تحریک M1 چپ آند روی C3 و کاتد روی C4 قرار می‌گرفت و برای تحریک M1 راست نحوهٔ قرارگیری آند و کاتد برعکس می‌شد. در آزمایش دوم در طول دورهٔ تمرین برای تحریک DLPFC چپ آند روی F3 و کاتد روی F4 قرار می‌گرفت و برای تحریک DLPFC راست نحوهٔ قرارگیری آند و کاتد برعکس می‌شد. ج: الگوی تمرین آزمایش اول: در یک دورهٔ ۳ روزه شرکت‌کنندگان ابتدا در یک پیش‌آزمون (همهٔ آزمون‌ها شامل یک بلوک ۵ کوششی بود) شرکت کردند و سپس دو روز تمرین کردند. هر جلسه تمرین تقریباً ۴۰ دقیقه طول می‌کشید و شامل ۴ بلوک ۳۰ کوششی بود. ۱۰ دقیقه بعد از هر جلسه تمرین آزمون اکتساب و ۴۸ ساعت بعد آزمون یادداری انجام شد. تحریک به مدت ۲۰ دقیقه در طول ۳ بلوک آخر اعمال می‌شد. د: الگوی تمرین آزمایش دوم: شرکت‌کنندگان در این آزمایش بعد از یادگیری الگوها (مطابق با الگوی تمرینی در آزمایش اول) در یک پیش‌آزمون و سپس در یک جلسه تمرین که شامل ۶ بلوک ۳۰ کوششی با ۳۰ ثانیه استراحت بین هر دو بلوک بود شرکت می‌کردند. بعد از ۱۰ دقیقه آزمون اکتساب و بعد از ۴۸ ساعت آزمون یادداری انجام شد. تحریک به مدت ۲۰ دقیقه در طول ۴ بلوک وسط اعمال می‌شد.

[4] Paradigm
[5] Soaked in a saline solution
[6] Density
[7] Dorsolateral prefrontal cortex



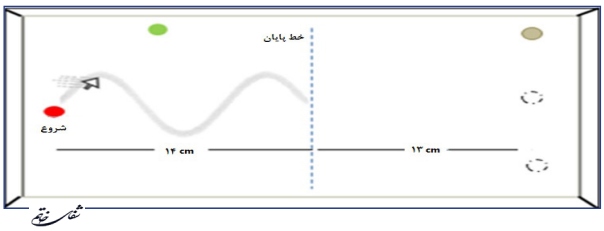
www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]
Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

**تکلیف:** در این مرحله بعد از ارائهٔ تصادفی الگوها اهدافی شبیه به صفحهٔ دارت به صورت تصادفی در سه منطقهٔ (بالا، وسط و پایین) در سمت راست صفحهٔ مانیتور ظاهر می‌شد (تصویر ۲) که شرکت‌کنندگان لازم بود بعد از اجرای الگو نشانه‌گر قلم را با سرعت به نقطهٔ وسط صفحهٔ دارت مانند ظاهر شده برسانند. از متغیرهای خطای ثابت، زمان حرکت، نسبت خطای ثابت به زمان حرکت و مهارت به‌منظور بررسی میزان پیشرفت در دقت رسیدن به هدف استفاده شد.




**تصویر ۲**- تکلیف حرکتی. الگوی حرکتی که در قسمت اول یک حرکت دسترسی ظاهر می‌شد و قسمت دوم که در آن هدف رساندن نشانه‌گر به هدفی بود که در گوشهٔ سمت راست (بالا، وسط یا پایین) مانیتور ظاهر می‌شد.

**تحریک:** الگوی تحریک همانند آزمایش اول بود با این تفاوت که از آنجایی که احتمالاً قشر پیش -پیشانی -خلفی -جانبی (DLPFC) (۲۲) در وضعیت پایانی و اصلاح حرکت نقش بیشتری داشته باشند، در این آزمایش از نواحی F3 و F4 به‌منظور تحریک استفاده شد (تصویر ۱ الف).

**ارزیابی روانی فیزیکی:** در ابتدای همهٔ جلسات تمرینی از همهٔ شرکت‌کنندگان اطلاعاتی دربارهٔ میزان خواب آن‌ها (۱۷)، توانایی تصویرسازی (۲۳)، دست برتری (۲۴)، درک آن‌ها از tDCS پرسیده شد (جدول ۱).

**تحلیل آماری:** کلیهٔ تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط کامپیوتر و نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۸ صورت گرفت. با توجه به برقرار بودن پیش فرض‌های مربوط به آمار پارامتریک و ضرورت بررسی ۴ گروه در ۴ زمان در آزمایش اول و ۴ گروه در ۳زمان در آزمایش دوم از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری[8] به‌منظور بررسی هر یک از متغیرهای تحقیق استفاده شد. از آزمون تحلیل واریانس یک راهه برای مقایسهٔ گروه‌ها در هر یک از مراحل و از آزمون تعقیبی بونفرونی برای پیدا کردن محل معنی‌داری بین زوج گروه‌های مورد مطالعه استفاده شد. معنی‌داری در سطح $P\leq ۰/۰۵$ و به صورت دو دامنه ارزیابی شد.

## یافته‌ها

مشخصات تعداد افراد، سن، توانایی تصویرسازی، دست برتری و مدت خواب افراد هر گروه در جدول ۱ آورده شده است. آزمون تحلیل واریانس یک راهه در هیچ یک از متغیرها بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P>۰/۰۵$).

**آزمایش اول:** تخصص عمل یافتگی نیمکرهٔ چپ در برنامه‌ریزی حرکتی

**خطای RMS:** از بین سه اثر اصلی زمان، گروه و تعامل زمان و گروه تنها اثر زمان معنی‌دار بود به طوری که بین پیش‌آزمون و همهٔ مراحل تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P\leq ۰/۰۵$). آزمون تحلیل واریانس یک راهه در پیش‌آزمون تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها نشان نداد ($P=۰/۷۸۹$، $f_{(۳)}=۰/۳۵۱$)، اما در مرحلهٔ یادداری تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده شد ($P=۰/۰۰۷$، $f_{(۳)}=۴/۴۷۶$) که آزمون تعقیبی بونفرونی این تفاوت را تنها بین گروه left M1 و گروه تمرین نشان داد ($P=۰/۰۰۴$)-(نمودار ۱ الف).

**زمان حرکت:** نتایج نشان داد هیچ کدام از سه اثر

**جدول ۱**- میانگین و انحراف استاندارد مربوط به مشخصات ریخت‌شناسی (سن) و روانشناختی (توانایی تصویرسازی، دست برتری، مدت خواب) شرکت‌کنندگان.
الف: با استفاده از پرسشنامهٔ توانایی تصویر سازی هال و مارتین ۱۹۹۷.
ب: با استفاده از آزمون ادینبورگ (۱۹۷۱).
ج: میزان خواب افراد بر حسب ساعت می‌باشد.
د: تفاوت بین میانگین گروه‌ها در هر متغیر با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک راهه بررسی شد.

| | گروه | تعداد | سن (سال) | توانایی تصویرسازی[الف] | دست برتری[ب] | مدت خواب (h)[ج] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| آزمایش ۱ | Right M1 | ۱۴ | ۲۱/۴۲±۱/۵۵ | ۴۹/۱۴±۶/۷۸ | ۹۶/۴۲±۴/۹۷ | ۷/۱۴±۱/۰۲ |
| | Left M1 | ۱۳ | ۲۰/۶۹±۱/۶۰ | ۴۶/۳۰±۶/۹۳ | ۹۵/۳۸±۶/۶۰ | ۷/۶۱±۱/۱۲ |
| | Sham tDCS | ۱۱ | ۲۱/۰۹±۱/۴۴ | ۴۴/۶۳±۷/۷۱ | ۹۶/۳۴±۶/۷۴ | ۷/۲۷±۱/۱۰ |
| | Practice | ۱۵ | ۲۲/۰۰±۱/۶۹ | ۴۵/۲۶±۶/۳۸ | ۹۴/۶۶±۶/۳۹ | ۷/۰۶±۱/۰۹ |
| | P value[د] | - | ۰/۱۸ | ۰/۳۵۴ | ۰/۸۵۶ | ۰/۵۷۱ |
| آزمایش ۲ | Right DLPFC | ۱۲ | ۲۰/۴۱±۱/۵۰ | ۴۶/۸۳±۷/۲۷ | ۹۳/۳۳±۵۱/۶ | ۷/۰۱±۱/۲۰ |
| | Left DLPFC | ۱۱ | ۲۰/۰۹±۱/۳۰ | ۴۷/۳۶±۶/۹۸ | ۹۴/۵۴±۶/۸۷ | ۷/۳۶±۱/۰۲ |
| | Sham tDCS | ۹ | ۲۰/۲۲±۲/۱۶ | ۴۶/۵۵±۶/۵۲ | ۹۷/۷۷±۴/۴۰ | ۷/۰۰±۰/۸۶ |
| | Practice | ۱۱ | ۲۱/۱۰±۱/۴۱ | ۴۴/۸۱±۶/۱۷ | ۹۵/۴۵±۶/۷۸ | ۷/۴۵±۰/۹۳ |
| | P value[د] | - | ۰/۵۶ | ۰/۶۳ | ۰/۸۳ | ۰/۴۵ |

[8] Repeated measure



www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]
Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

اصلی زمان، گروه و تعامل زمان و گروه معنی‌دار نیست.

**خطای RMS/زمان حرکت:** نتایج اثر اصلی زمان را معنی‌دار نشان داد به طوری که بین پیش‌آزمون و همهٔ مراحل تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($P\leq$۰/۰۵). اما اثر گروه و تعامل زمان و گروه معنی‌دار نبود ($P=$۰/۲۸۳).

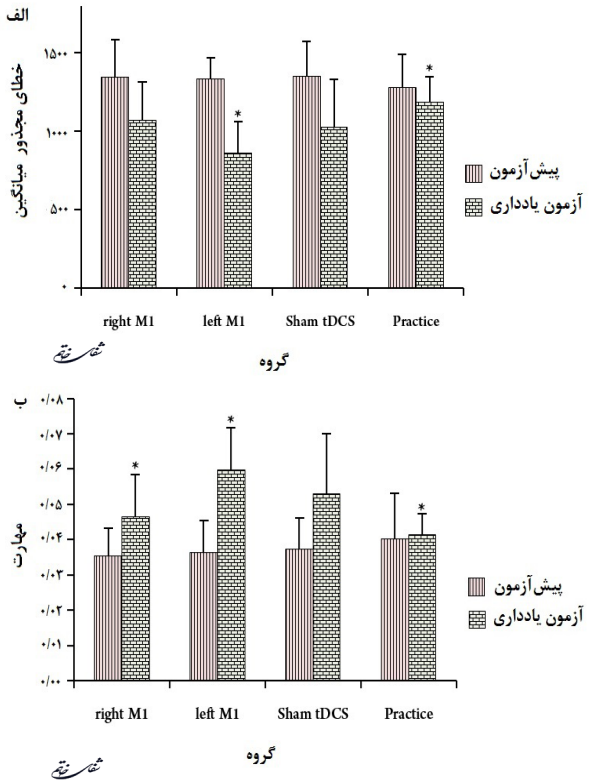
**مهارت:** اثر اصلی زمان معنی‌دار می‌باشد به طوری که بین پیش‌آزمون و همهٔ مراحل تفاوت معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۵). همچنین اثر اصلی گروه معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۵). این تفاوت‌ها در مرحلهٔ یادداری ($P=$۰/۰۰۲، $f_{(۳)}=$۵/۷۵۷) بین گروه‌های left M1 و گروه right M ($P=$۰/۰۴۲) و همچنین بین گروه left M1 و گروه تمرین ($P=$۰/۰۰) مشاهده شد (نمودار ۱ ب).

**آزمایش دوم:** تخصص عمل یافتگی نیمکرهٔ راست در دقت رسیدن به هدف

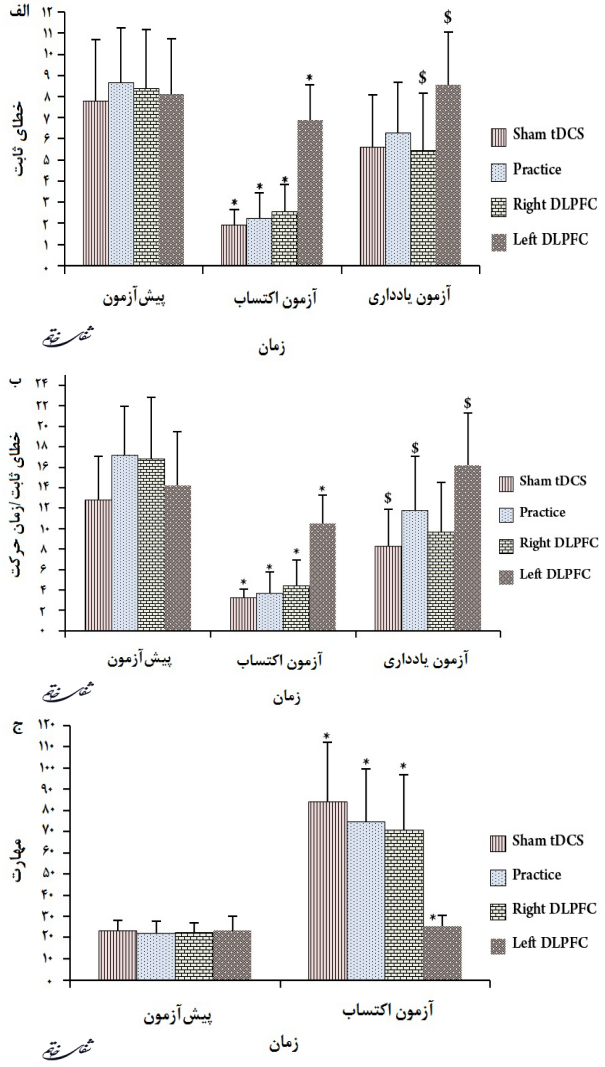
**خطای ثابت:** اثر اصلی زمان معنی‌دار است به طوری که بین پیش‌آزمون و همهٔ مراحل تفاوت معنی‌داری وجود داشت همچنین اثر اصلی گروه و تعامل زمان × گروه نیز معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۵). آزمون تحلیل واریانس یک راهه در پیش‌آزمون تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها نشان نداد ($P=$۰/۹۲۳، $f_{(۳)}=$۰/۱۵۹)، اما در مراحل اکتساب ($P=$۰/۰۰۱، $f_{(۳)}=$۳۳/۲۶۲) و یادداری ($P=$۰/۰۲۶، $f_{(۳)}=$۳/۴۳۴) تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده شد. این تفاوت در مرحلهٔ اکتساب بین گروه Left DLPFC نسبت به سایر گروه‌ها ($P\leq$۰/۰۵) و در مرحلهٔ یادداری بین گروه right DLPFC و left DLPFC مشاهده شد (نمودار ۲ الف).

**زمان حرکت:** اثر اصلی زمان، گروه و تعامل زمان × گروه معنی‌دار نمی‌باشد.

**خطا/زمان:** اثر زمان معنی‌دار می‌باشد به طوری که بین همهٔ مراحل تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($P\leq$۰/۰۵)، اثر گروه و تعامل زمان × گروه نیز معنی‌دار می‌باشد. در حالی که در مرحلهٔ پیش‌آزمون تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها وجود نداشت ($P=$۰/۲۲۷، $f_{(۳)}=$۱/۵۱۱)، در مراحل اکتساب ($P=$۰/۰۰۱، $f_{(۳)}=$۲۴/۱۵۵) و یادداری ($P=$۰/۰۰۴، $f_{(۳)}=$۵/۳۴۰) تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده شد. این تفاوت در مرحلهٔ اکتساب بین گروه Left DLPFC با سایر گروه‌ها ($P\leq$۰/۰۵) و در مرحلهٔ یادداری بین گروه Left DLPFC با گروه right DLPFC و گروه Sham می‌باشد (نمودار ۲ ب).




**نمودار ۱**- الف: نمرات خطای RMS، همانطور که مشاهده می‌شود در مرحلهٔ یادداری بین گروه Left M1 و Practice تفاوت معنی‌داری وجود دارد. ب: نمرات مهارت چهار گروه را نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌شود بین گروه‌های left M1 وگروه right M و همچنین بین گروه left M1 و گروه تمرین تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود.




**نمودار ۲**- الف: نمرات خطای ثابت، این تفاوت در مرحلهٔ اکتساب بین گروه Left DLPFC با سایر گروه‌ها و در مرحلهٔ یادداری بین گروه right DLPFC و left DLPFC مشاهده می‌شود. ب: نسبت خطای ثابت به زمان حرکت، این تفاوت در مرحلهٔ اکتساب بین گروه Left DLPFC با سایر گروه‌ها و در مرحلهٔ یادداری بین گروه Left DLPFC با گروه right DLPFC و گروه Sham می‌باشد. ج: نمرات مهارت، در مرحلهٔ اکتساب تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های Left DLPFC با سایر گروه‌ها مشاهده می‌شود.



www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]
Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

**مهارت:** اثر زمان معنی‌دار بود به طوری که بین همهٔ مراحل تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($P\leq$۰/۰۵). اثر گروه و تعامل زمان × گروه نیز معنی‌دار بود. این تفاوت تنها در مرحلهٔ اکتساب ($P$=۰/۰۰۱، $f_{(۳)}$=۱۳/۸۹۸) بین گروه‌های Left DLPFC نسبت به سایر گروه‌ها ($P\leq$۰/۰۵) مشاهده شد (نمودار ۲ ج).

## بحث و نتیجه‌گیری

### تخصص عمل یافتگی نیمکرهٔ چپ در برنامه‌ریزی حرکت

کمّی کردن الگوهای تعمیم یافته یک روش مفید برای استنباط وجود یک ساختار عصبی از فرایند یادگیری حرکتی (برنامهٔ حرکتی) در مغز است (۲۶، ۲۵). در مطالعهٔ حاضر نیز با کمّی کردن الگوهای حرکتی و استفاده از تحریک آندی در نیمکرهٔ چپ فرض تخصص عمل یافتگی نیمکرهٔ چپ در برنامه‌ریزی حرکتی تأیید شد. همچنین تضعیف شدن دقت حرکت در نتیجهٔ تحریک کاتدی نیمکرهٔ راست بر تخصص عمل یافتگی نیمکرهٔ راست در دقت رسیدن به هدف اشاره دارد.

نتایج مطالعاتی که به بررسی تخصص عمل یافتگی نیمکره‌های مغز در کنترل عملکردهای مختلف حرکتی پرداخته‌اند از برتری نیمکرهٔ چپ در استفاده از مکانیزم‌های پیش گویانه برای الگوهای هماهنگ و هماهنگی بین اجزای حرکت (۱۲، ۸، ۷)، کنترل توالی و زمانبندی حرکت که مهم‌ترین ویژگی برنامه‌ریزی حرکتی است (۵)، برتری نیمکرهٔ چپ در یادگیری مهارت‌هایی که نیاز به سازگاری ندارند و در آن فرد می‌تواند حرکت را بدون نیاز به تغییر با استفاده از مکانیسم‌های پیش‌خورانده برنامه‌ریزی و اجرا کند (۲۷، ۱۷) و کنترل اطلاعات دینامیکی که مشخصهٔ برنامه‌ریزی حرکتی و مکانیسم‌های پیش‌گویانه است (۱۰) حمایت می‌کنند که همگی بر برتری یافتگی نیمکرهٔ چپ در کنترل حرکت با استفاده از اطلاعات پیش‌خورانده و مکانیسم‌های برنامه‌ریزی حرکتی تأکید می‌کنند. این درحالی است که نتایج بسیاری از مطالعات که روی بیماران با آسیب در یک نیمکره انجام شده است نشان می‌دهد که نیمکرهٔ راست به صورت عمده‌ای مکانیزم‌های کنترلی مربوط به زمان اجرای فعالیت، نه مکانیسم‌های پیش‌خورانده قبل از اجرا را برعهده دارد و آسیب به نیمکرهٔ راست منجر به عدم توانایی در به پایان رساندن دقیق حرکت می‌شود (۲۸، ۸، ۷).

نتایج استاکل و وانگ نشان داد که جهت انتقال بین عضوی بسته به شرایط تغییر می‌کند، هنگامی که روی ویژگی‌های دینامیکی تمرکز می‌شد میزان انتقال از راست به چپ و هنگامی که روی ویژگی‌های فضایی تمرکز می‌شد میزان انتقال از چپ به راست بیشتر می‌شد. برتری در انتقال اطلاعات دینامیکی (ایمپالس نیرو) که مشخصهٔ برنامه‌ریزی حرکتی می‌باشد از راست به چپ می‌تواند نشان‌دهندهٔ تخصص عمل یافتگی سیستم نیمکرهٔ چپ در کنترل مکانیسم‌های پیش‌خورانده و برنامه‌ریزی حرکتی باشد در حالی که برتری در انتقال اطلاعات فضایی از چپ به راست نشان‌دهندهٔ تخصص عمل یافتگی نیمکرهٔ راست در پردازش اطلاعات فضایی است. اسچامبرا و همکاران نیز نشان دادند که تحریک الکتریکی نیمکرهٔ چپ باtDCS بهبود بیشتری را در اجرا نسبت به تحریک نیمکرهٔ راست و گروه کنترل ایجاد کرده است و پیشنهاد شد که احتمالاً نیمکرهٔ چپ نسبت به راست در یادگیری مهارت‌های حرکتی تخصص عمل یافتگی بیشتری دارد (۱۷). بنابراین نتایج مطالعهٔ استاکل و وانگ و همچنین اسچامبرا و همکاران با نتایج این مطالعه همراستا بود، اما با نتایج مطالعهٔ توماس و همکاران که در آن از کودکان سالم به‌عنوان آزمودنی و از دستگاه آنالیز حرکت برای بررسی وجود برنامهٔ حرکتی استفاده کردند همخوانی ندارد. ذکر این مطلب منطقی است که در افراد سالم به خاطر ارتباط بین دو نیمکره توسط جسم پینه‌ای، برنامهٔ حرکتی توسط هر نیمکره از مغز که کنترل و به وسیلهٔ هر اندامی از بدن که اجرا شود ویژگی‌های کلی خود را حفظ می‌کند. زیرا بنا به گفتهٔ الکساندر تنها بعد از آسیب دیدن جسم پینه‌ای یا صدمه دیدن یک نیمکره می‌توان شواهد جانبی شدن را به وضوح مشاهده کرد (۲۹). بنا به نتایج گزارش شده از مطالعات دیگر و نتایج مطالعهٔ حاضر می‌توان پیشنهاد کرد که این احتمال وجود دارد که نیمکرهٔ چپ در فرایندهای پیش‌خورانده و برنامه‌ریزی حرکتی و نیمکرهٔ راست در دقت رسیدن به هدف تخصص عمل یافتگی بیشتری داشته باشند.

### بررسی تأثیر tDCS و تخصص عمل یافتگی نیمکره‌ای

به هنگام یادگیری حرکتی تغییرات کارکردی و ساختاری‌ای در برخی شبکه‌های عصبی مانند: M1 و DLPFC به وجود می‌آید و روابط رفتاری و عصبی مربوط به یادگیری حرکتی را تغییر می‌دهد (۳۱، ۳۰) و پیشنهاد می‌شود که تأثیرات سودمند tDCS روی یادگیری حرکتی به تقویت این شبکه‌های عصبی و بهبود تغییرات فیزیولوژی -سلولی که همراه با تمرین اتفاق می‌افتد مربوط شود، به ویژه این که می‌تواند باعث کاهش میزان ناقلین عصبی[9] بازدارنده (مانند گاما آمینوبوتریک اسید (GABA)[10]) و یا افزایش ناقلین عصبی تحریک شده و با بهبود پارامترهایی که تحریک‌پذیری قشر حرکتی را افزایش می‌دهد عملکرد و یادگیری حرکتی را تسهیل کند (۳۲، ۱۴). از دیگر اثرات tDCS افزایش سطوح BDNF درنتیجهٔ تحریک می‌باشد که می‌تواند به ذخیرهٔ پتانسیل عصبی کمک کند و یادگیری حرکتی را بهبود دهد (۳۳). آخرین اثر

[9] Neurotransmitter
[10] gamma-aminobutyric acid



www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]
Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

احتمالی tDCS تأثیرات مثبت تحریک به علت بهبود فرایندهای کدگذاری در حافظهٔ حرکتی در قشر حرکتی اولیه می‌باشد که از اثرات بسیار مهم تمرین به هنگام یادگیری حرکتی می‌باشد (۳۴).

موضوع مهم این است که به هنگام اکتساب مهارت‌های حرکتی اثرات tDCS می‌تواند بسته به شرایط (۳۵)، کاتد و آند بودن (۳۶، ۲۱) و نوع تکلیف (۳۷) متفاوت باشد. به‌عنوان مثال فرنگی و همکاران در مطالعه‌ای روی بیماران سکتهٔ مغزی نشان دادند که افزایش فعالیت با تحریک در نیمکرهٔ آسیب دیده می‌تواند منجر به بهبود ریکاوری شود، در حالی که فعالیت اضافی در نیمکرهٔ سالم ممکن است به یک راهبرد ناسازگارانه منجر شود (۳۵). منصوری و همکاران نیز نشان دادند که اثرات tDCS روی DLPFC بسته به نوع تکلیف می‌تواند متفاوت باشد. نتایج نشان داد که تحریک کاتدی و تحریک آندی DLPFC به ترتیب منجر به بیشترین اثر در تکلیف جور کردن کارد ویسکونسین (WCST)[11] و تکلیف Stop task شد. در WCST و تکلیف توقف، تعدیل‌های ایجاد شده منعکس کنندهٔ فرایندهای متفاوتی است که به ترتیب در تعدیل انتقال قوانین مربوط به رفتار و تعدیل کنترل بازداری از پاسخ درگیر می‌باشند و قطبی از tDCS که می‌تواند بیشترین اثر را داشته باشد بین دو تکلیف متفاوت می‌باشد. بنابراین تعدیلات به وجود آمده به وسیلهٔ tDCS به قطبیت و ویژگی تکلیف وابسته است (۳۷). در مطالعهٔ حاضر نیز فرض تخصص عمل یافتگی نیمکرهٔ چپ در برنامه‌ریزی حرکتی به وسیلهٔ بهبود عملکرد در نتیجهٔ تحریک آندی و فرض تخصص عمل یافتگی نیمکرهٔ راست در دقت رسیدن به هدف در نتیجهٔ تضعیف عملکرد به وسیلهٔ تحریک کاتدی تأیید شد.

درگیر شدن مؤثر در دنیا نیازمند درک درست قواعدی است که دنیا را می‌سازند، چیزی که در واقع مدل‌های درونی نامیده می‌شود. موفقیت هر مدل ذهنی به توانایی سازگار شدن با تغییرات ایجاد شده یعنی به‌روز رسانی مدل بستگی دارد (۳۸). از آنجایی که نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد که نیمکرهٔ چپ در مکانیسم‌های پیش‌خوراندی و برنامه‌ریزی حرکتی و نیمکرهٔ راست در دقت رسیدن به هدف تخصص عمل یافتگی بیشتری دارند، نتایج با فرضیهٔ هیبریدی کنترل حرکت یادا و ساینبورگ قابل تفسیر است. در این فرضیه که شامل دو بخش است پیشنهاد می‌شود هر نیمکره برای مکانیزم‌های کنترل حرکتی متفاوتی تخصص عمل یافته است. بخش A- کنترل پیش‌گویانه[12] که مسئول کنترل مسیر و جهت حرکت از طریق برنامه‌ریزی حرکت با استفاده از اطلاعات پیش‌خوراندی است و بخش B- کنترل مقاومتی[13] که مسئول کنترل دقت پایانی حرکت از طریق استفاده از بازخورد حسی حرکتی است (۳۹). در ارتباط با این که این تخصص عمل یافتگی از نوع ضعیف است که در آن هر دو نیمکره می‌توانند پردازش را انجام دهند اما یکی با کارامدی بیشتر یا این که از نوع قوی است که در آن تنها یک نیمکره پردازش را انجام می‌دهد و جسم پینه‌ای برای عملکرد یکپارچه‌سازی ضروری است (۱۲)، پیش‌بینی می‌شود این تخصص عمل یافتگی از نوع ضعیف باشد، زیرا تمرین و تحریک نیمکرهٔ راست نیز منجر به بهبود برنامه‌ریزی حرکتی شده است با این وجود اثبات این موضوع نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه را طلب می‌کند.

[11] Wisconsin card sorting test
[12] Predictive control
[13] Impedance control



www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]
Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

## منابع

1. Sainburg RL, Schaefer SY. Interlimb differences in control of movement extent. J Neurophysiol. 2004; 92(3): 1374-83.

2. Serrien DJ, Ivry RB, Swinnen SP. Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. Nat Rev Neurosci. 2006; 7(2): 160-6.

3. Sainburg RL. Handedness: differential specializations for control of trajectory and position. Exerc Sport Sci Rev. 2005; 33(4): 206-13.

4. Sainburg RL. Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. E Exp Brain Res. 2002; 142(2): 241-58.

5. Stöckel T, Weigelt M. Brain lateralisation and motor learning: selective effects of dominant and non-dominant hand practice on the early acquisition of throwing skills. Laterality. 2012; 17(1): 18-37.

6. Suzuki T, Higashi T, Takagi M, Sugawara K. Hemispheric asymmetry of ipsilateral motor cortex activation in motor skill learning. Neuroreport. 2013; 24(13): 693-7.

7. Schaefer SY, Haaland KY, Sainburg RL. Dissociation of initial trajectory and final position errors during visuomotor adaptation following unilateral stroke. Brain Research. 2009; 1298: 78-91.

8. Schaefer SY, Mutha PK, Haaland KY, Sainburg RL. Hemispheric specialization for movement control produces dissociable differences in online corrections after stroke. Cerebral Cortex. 2012; 22(6): 1407-19.

9. Goble DJ, Brown SH. Upper limb asymmetries in the matching of proprioceptive versus visual targets. Journal of Neurophysiology. 2008; 99(6): 3063-74.

10. Stöckel T, Wang J. Transfer of short-term motor learning across the lower limbs as a function of task conception and practice order. Brain and Cognition. 2011; 77(2): 271-9.

11. Mutha PK, Sainburg RL, Haaland KY. Critical neural substrates for correcting unexpected trajectory errors and learning from them. Brain. 2011; 134(12): 3647-61.

12. Mutha PK, Haaland KY, Sainburg RL. The effects of brain lateralization on motor control and adaptation. Journal of Motor Behavior. 2012; 44(6): 455-69.

13. Marquez CMS, Zhang X, Swinnen SP, Meesen R, Wenderoth N. Task-specific effect of transcranial direct current stimulation on motor learning. Front Hum Neurosci. 2013; 7: 333. doi: 10.3389/fnhum.2013.00333.

14. Reis J, Fritsch B. Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. Current Opinion in Neurology. 2011; 24(6): 590-6.

15. Hunter T, Sacco P, Nitsche MA, Turner DL. Modulation of internal model formation during force field-induced motor learning by anodal transcranial direct current stimulation of primary motor cortex. The Journal of Physiology. 2009; 587(12): 2949-61.

16. Nitsche MA, Schauenburg A, Lang N, Liebetanz D, Exner C, Paulus W, et al. Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. Journal of Cognitive Neuroscience. 2003; 15(4): 619-26.

17. Schambra HM, Abe M, Luckenbaugh DA, Reis J, Krakauer JW, Cohen LG. Probing for hemispheric specialization for motor skill learning: a transcranial direct current stimulation study. Journal of Neurophysiology. 2011; 106(2): 652-61.

18. Wulf G, Schmidt RA. Feedback-induced variability and the learning of generalized motor programs. Journal of Motor Behavior. 1994; 26(4): 348-61.

19. Stagg C, O'shea J, Kincses Z, Woolrich M, Matthews P, Johansen-Berg H. Modulation of movement-associated cortical activation by transcranial direct current stimulation. European Journal of Neuroscience. 2009; 30(7): 1412-23.

20. Wagner T, Fregni F, Fecteau S, Grodzinsky A, Zahn M, Pascual-Leone A. Transcranial direct current stimulation: a computer-based human model study. Neuroimage. 2007; 35(3): 1113-24.

21. Lindenberg R, Renga V, Zhu L, Nair D, Schlaug G. Bihemispheric brain stimulation facilitates motor recovery in chronic stroke patients. Neurology. 2010; 75(24): 2176-84.

22. Shadmehr R, Holcomb HH. Neural correlates of motor memory consolidation. Science. 1997; 277(5327): 821-5.

23. Hall CR, Martin KA. Measuring movement imagery abilities: a revision of the movement imagery questionnaire. Journal of Mental Imagery. 1997; 21(1-2): 143-54.

24. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the edinburgh inventory. Neuropsychologia. 1971; 9(1): 113-97.

25. Shadmehr R. Generalization as a behavioral window



www.SID.ir

Archive of SID



[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.4.66 ]

Downloaded from shefayekhatam.ir at 15:55 +0330 on Wednesday November 15th 2017

to the neural mechanisms of learning internal models. Human Movement Science. 2004; 23(5): 543-68.

26. de Xivry J-JO, Marko MK, Pekny SE, Pastor D, Izawa J, Celnik P, et al. Stimulation of the human motor cortex alters generalization patterns of motor learning. The Journal of Neuroscience. 2011; 31(19): 7102-10.

27. Stöttinger E, Filipowicz A, Marandi E, Quehl N, Danckert J, Anderson B. Statistical and perceptual updating: correlated impairments in right brain injury. Experimental Brain Research. 2014; 232(6): 1971-87.

28. Mutha PK, Sainburg RL, Haaland KY. Left parietal regions are critical for adaptive visuomotor control. The Journal of Neuroscience. 2011; 31(19): 6972-81.

29. Kalat JW. Biological Psychology. 9th ed. 2007; p. 287.

30. Ungerleider LG, Doyon J, Karni A. Imaging brain plasticity during motor skill learning. Neurobiol Learn Mem. 2002; 78(3): 553-64.

31. De Xivry J-jO, Shadmehr R. Electrifying the motor engram: effects of tDCS on motor learning and control. Exp Brain Res. 2014; 232(11): 3379-95.

32. Reis J, Robertson EM, Krakauer JW, Rothwell J, Marshall L, Gerloff C, et al. Consensus: can transcranial direct current stimulation and transcranial magnetic stimulation enhance motor learning and memory formation? Brain Stimul. 2008; 1(4): 363-9.

33. Fritsch B, Reis J, Martinowich K, Schambra HM, Ji Y, Cohen LG, et al. Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. Neuron. 2010; 66(2): 198-204.

34. Bütefisch CM, Khurana V, Kopylev L, Cohen LG. Enhancing encoding of a motor memory in the primary motor cortex by cortical stimulation. Journal of Neurophysiology. 2004; 91(5): 2110-6.

35. 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.

36. Vines BW, Nair D, Schlaug G. Modulating activity in the motor cortex affects performance for the two hands differently depending upon which hemisphere is stimulated. European Journal of Neuroscience. 2008; 28(8): 1667-73.

37. Mansouri FA, Fehring DJ, Feizpour A, Gaillard A, Rosa M, Rajan R, et al. Direct current stimulation of prefrontal cortex modulates error-induced behavioral adjustments. Eur J Neurosci. 2016; 44(2): 1856-69.

38. Danckert J, Anderson B. Updating representations of temporal intervals. Experimental Brain Research. 2015; 233(12): 3517-26.

39. Yadav V, Sainburg RL. Handedness can be explained by a serial hybrid control scheme. Neuroscience. 2014; 278: 385-96.



www.SID.ir