

تأثیر دست‌ب‌تری و دستکاری شاخص دشواری بر مؤلفه‌های رفتاری و عصبی اجرای تکلیف مبادله سرعت - دقت

محمد رضا دوستان^۱، لیلا فرزاد^۲، اسماعیل صائمی^۳

۱. مربی گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران*
۲. دبیر تربیت بدنی، اداره آموزش و پرورش شهرستان شوشتر، شوشتر، ایران
۳. استادیار گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۵

چکیده

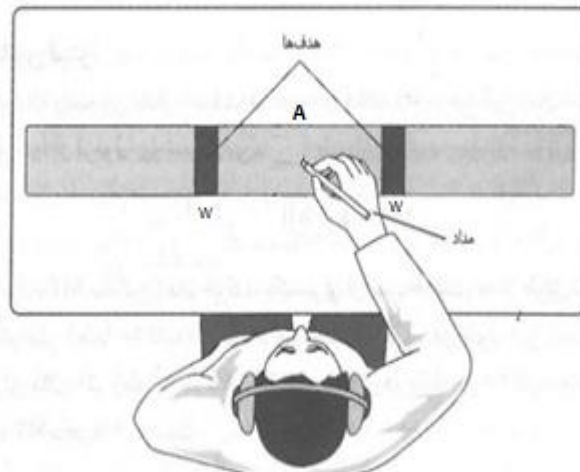
هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر دست‌ب‌تری و دشواری تکلیف بر مؤلفه‌های رفتاری و عصبی تکلیف مبادله سرعت - دقت بود. پژوهش از نوع نیمه تجربی و به لحاظ هدف، بنیادی بود. شرکت‌کنندگان ۲۰ دانش‌آموز ۱۴ و ۱۵ ساله بودند. ابزارها شامل EEG چهارکاناله، قلم نوری و حسگر، لپتاپ، مترونوم و نرم‌افزار-Target Tapping-Test بود. شرکت‌کنندگان براساس نمرات پرسش‌نامه دست‌ب‌تری ادینبرگ، به دو گروه چپ‌ب‌تر و راست‌ب‌تر تقسیم شدند و در مدت زمان ۳۰ ثانیه تکلیف سرعت - دقت ساده و دشوار را با دست برتر و غیربرتر انجام دادند؛ به طوری که خروجی رفتاری از قلم نوری و پد لمسی (خطاهای فضایی و زمانی) و داده‌های EEG از نواحی مغزی ثبت شد. برای تحلیل داده‌ها از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج نشان داد که دست غیربرتر بیش از دست برتر تحت تأثیر دشواری تکلیف قرار گرفت و خطای فضایی بیشتری داشت. دست‌ب‌تری و دشواری تکلیف بر پهنای مؤثر هدف تأثیر معناداری نداشت. میانگین وقفه زمانی در اندام غیربرتر برای تکلیف دشوار بیش از تکلیف آسان بود. در ناحیه C3، توان موج گاما در تکلیف دشوار بیشتر و در افراد راست‌دست در دست غیربرتر بالاتر بود. در ناحیه F4، توان موج آلفا برای افراد چپ‌دست در هنگام انجام حرکت دشوار بالاتر از تکلیف آسان بود. به نظر می‌رسد که در تکالیف نیازمند دقت و سرعت، خطاهای فضایی و زمانی تحت تأثیر دشواری تکلیف قرار می‌گیرند؛ ولی خطای زمانی بیش از خطای فضایی تحت تأثیر دشواری تکلیف است تا دست‌ب‌تری. همچنین، نواحی حرکتی نیمکره چپ و فورنتال نیمکره راست مهم‌تر از سایر نواحی در اجرای تکلیف هستند.

واژگان کلیدی: تکلیف فیتز، دست‌ب‌تری، دشواری تکلیف، نیمکره‌های مغز

مقدمه

یکی از اصول اساسی حرکات انسان، ارتباط میان سرعت و دقت حرکت است. تلاش برای انجام سریع تر حرکات احتمال خطای بیشتر را افزایش می دهد، از طرف دیگر، تمرکز بیشتر روی دقت حرکت باعث آهسته تر شدن حرکت می شود (۱). هنگامی که افراد برای رسیدن به هدف، سریع و دقیق عمل کنند، بین سرعت و دقت مبادله روی می دهد؛ بدین معنا که افزایش سرعت حرکت باعث کاهش دقت فضایی و کاهش سرعت حرکت و به دنبال آن، باعث افزایش دقت فضایی می شود (۲). در تکالیف بسیاری ایده عمومی مبادله سرعت-دقت (SAT) اثبات شده است؛ از این رو، یک قانون عمومی رفتار حرکتی در نظر گرفته شده است که قانون فیتز^۲ نام دارد (۳). قانون فیتز با استفاده از یک تکلیف آزمایشگاهی ضربه زنی دوطرفه با قلم ویژه به اهداف مشخص، یک معادله لگاریتمی برای مبادله سرعت و دقت پیشنهاد می کند که ارتباط زمان حرکت و شاخص دشواری^۳ (ID) را نشان می دهد (۴). فیتز دریافت که رابطه بین اندازه حرکت (A)، پهنای هدف (W) و میانگین زمان حرکت (MT) منتج از این دو، از یک فرمول تبعیت می کند:

$$MT = a + b \left[\log \left(\frac{2A}{W} \right) \right]$$



شکل ۱- تصویری از تکلیف ضربه زنی دوطرفه فیتز (اشمیت و لی، ۲۰۰۵)

1. Speed-Accuracy Trade Off
2. Fitts Law
3. Index of Difficulty

ارزش عددی $\log\left(\frac{2A}{W}\right)$ به‌عنوان شاخص دشواری (ID) بیان می‌شود و افزایش شاخص دشواری باعث کاهش سرعت حرکت (افزایش MT) می‌شود (۵). درواقع، زمان حرکت به دشواری تکلیف بستگی دارد (۶)؛ درنتیجه، کارایی سیستم حرکتی به دشواری تکلیف مربوط است (۹) و این اندازه‌گیری در تکالیف معمولاً با بررسی دقت یا خطای نقطه پایانی حرکت به‌دست می‌آید (۷-۹). خطای حرکت به‌صورت انحراف استاندارد (SD) درون‌فردی فاصله حرکت که به‌عنوان ناهمسانی یا «گسترده‌گی» در حرکات هدف‌گیری به‌سمت هدف شناخته می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود. نام این خطاها را پهنای مؤثر هدف (W_e) نامیده‌اند و آن را اندازه مؤثر هدفی در نظر می‌گیرند که فرد می‌تواند در MT و A خاصی به آن برسد. برای محاسبه W_e از SD نقاط پایانی هدف استفاده می‌شود (۱۰): $W_e = 4.133SD$

دانیون و همکاران (۱۱) به بررسی مبادله بین تغییرات فضایی و زمانی در حرکات هدف‌گیری دوجانبه انجام فوقانی پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرپذیری فضایی با مدت زمان حرکت کاهش می‌یابد؛ درحالی‌که تغییرپذیری زمانی با مدت زمان حرکت افزایش می‌یابد و همبستگی قوی منفی‌ای بین تغییرات فضایی و زمانی پس از تغییرات درطول حرکت مشاهده شد (۱۱). از زمان انتشار قانون فیتز، پژوهشگران در زمینه‌های مختلف روی آن پژوهش کرده‌اند و نشان داده‌اند که این قانون تعمیم‌پذیری قابل‌ملاحظه‌ای دارد؛ برای مثال، علاوه‌براینکه درمورد جوانان صدق می‌کند، درمورد کودکان و سالمندان نیز به‌خوبی صدق می‌کند. علاوه‌بر دست‌ها، در پاها، بازوها و انگشتان، حتی وقتی که حرکت انجام‌ها در زیر آب انجام شود، زمانی که تکالیف حرکتی آن‌قدر ظریف هستند که باید آن‌ها را با ذره‌بین مشاهده کرد و زمانی که حرکات فقط تصور می‌شوند (۵) و مهم‌تر از همه برای انواع موقعیت‌های حرکتی و اعمال روزمره انسان (۳) نیز کاربرد دارد؛ بااین‌وجود، بیشتر پژوهش‌ها به حرکات هدف‌گیری یک‌دستی پرداخته‌اند که اغلب در دست برتر بررسی شده‌اند.

در اندام‌های قرینه بدن، تسلط یا برتری یکی بر دیگری، «برتری جانبی» نامیده می‌شود. دست‌برتری یکی از آشکارترین نامتقارنی‌های کارکردی مغز است. انتخاب اندام برتر در اجرای مهارت‌ها می‌تواند نتیجه اجرا و عملکرد فرد را تحت‌تأثیر قرار دهد؛ به‌طوری‌که با دست برتر می‌توان کارها را با سرعت و دقت بیشتری انجام داد (۱۲). گروپوس^۱ (۱۳) نتیجه گرفت که افراد راست‌دست حرکات هدف‌گیری را با سرعت بهتر، ظرافت بیشتر و دقت فضایی بیشتری درهنگام اجرا با دست راست خود نشان می‌دهند. بگی^۲ و همکاران (۱۴) با به‌کارگیری دینامومتر و کلید برای اندازه‌گیری قدرت و سرعت

-
1. Danion
 2. Laterality
 3. Grouios
 4. Bagi

دست نشان دادند که فقدان تقارن کارکردی در هر دو تکلیف در راست دست‌ها بیشتر است. رودریگوئز^۱ و همکاران (۱۵) نشان دادند که در تکالیف نیازمند دقت، چپ دست‌ها نسبت به راست دست‌ها فقدان تقارن کارکردی کمتری دارند.

نظریه‌ها و فرضیه‌های مختلفی با تحلیل‌های متفاوتی در زمینه SAT مطرح شده‌اند. فرضیه مبادله هزینه- سود^۲ (CBT)، مبادله بین تلاش عضلانی و ارزش ذهنی پاداش است (۱۷، ۱۶). ازیک‌سو، دریافت سریع پاداش به تلاش عضلانی بزرگ‌تر نیاز دارد (۱۸) و ازسوی دیگر، هنگامی که ارزش ذهنی پاداش کاهش می‌یابد، زمان لازم برای انجام آن تکلیف افزایش یابد (۱۹)؛ در نتیجه، سود خالص که شامل ارزش ذهنی منهای تلاش عضلانی است، برای یک زمان معین بهینه است. به عقیده پترنل^۳ و همکاران (۲۰)، هنگامی که مغز ما تصمیم می‌گیرد بدنمان را حرکت دهد، دو عامل اصلی در تعامل هستند: اول، مغز با مبادله هزینه- سود، بین اهمیت سرعت حرکت سریع‌تر به سمت هدف که با پاداش همراه است و افزایش هزینه عضلانی ناشی از سرعت حرکت، مبادله ایجاد می‌کند؛ دوم، مغز با مبادله سرعت- دقت، بین اینکه چگونه حرکت دقیق را انجام دهد و زمان لازم برای دستیابی به چنین دقتی، مبادله ایجاد می‌کند.

براساس فرضیه نوز وابسته به سیگنال، در سیگنال‌های کنترل عصبی، با افزایش سطح میانگین سیگنال‌ها به دلیل ماهیت وابسته به سیگنال آن، نوز افزایش می‌یابد (۲۱). با وجود چنین نوز وابسته به سیگنالی، حرکت با بیشترین سرعت ممکن به کنترل بیشتری بر سیگنال نیاز دارد که می‌تواند به افزایش تغییرپذیری حرکتی و در نتیجه، دقت کمتری در حرکت منجر شود (۶). فرضیه نوز وابسته به سیگنال بیانگر این است که دقت در یک تکلیف می‌تواند با داشتن سیگنال‌های کنترل کم؛ یعنی کاهش سرعت حرکت بهبود یابد؛ به این ترتیب، بین سرعت و دقت مبادله صورت گیرد (۲۱)؛ با این حال، زیربنای عصبی توانایی تنظیم عملکرد مبادله سرعت- دقت هنوز به خوبی درک نشده است (۱)؛ اما در این مورد می‌توان به مجموعه‌ای از شواهد برگرفته از پژوهش‌های مختلف استناد کرد که اکثر آن‌ها به پژوهش‌های جانبی و نزدیک به مبادله سرعت- دقت پرداخته‌اند. ون وین^۴ و همکاران (۱) بیان کردند که هنوز مشخص نیست مغز چگونه SAT را کنترل می‌کند. آن‌ها تلاش کردند این موضوع را با استفاده از تداخل پاسخ ساده نشان دهند. در تکلیف پژوهش آن‌ها مشارکت کنندگان باید به رنگ مربعی که در سمت راست و چپ آن‌ها قرار داشت، پاسخ می‌دادند؛ به طوری که موقعیت را نادیده بگیرند. آن‌ها دریافتند که با افزایش نیازمندی‌های توجه، سیگنال عصبی مربوط به ویژگی‌های محرک

-
1. Rodrigues
 2. Cost-Benefit Trade-Off
 3. Peternel
 4. Van Veen

گسترش می‌یابد و کنترل توجه در تکلیف SAT به انتقال سیگنال از بالا به پایین، از ناحیه پیش‌پیشانی خلفی- جانبی وابسته است. ون‌وین و همکاران (۱) بیان کردند که فعالیت ناحیه پیش‌پیشانی خلفی- جانبی، بیشتر با سرعت حرکت در ارتباط است تا با دقت حرکت. در عوض، وقتی که سرعت حرکت افزایش می‌یابد، فعالیت پایه‌ای شبکه درگیر در تصمیم‌گیری در انجام پاسخ افزایش می‌یابد. هیتز و شال^۲ (۲۲) بیان کردند که چندین آزمایش نشان داده است که نورون‌های ویژه‌ای در نواحی پیش-پیشانی و آهیانه‌ای در تعدیل سرعت و دقت فعالیت دارند؛ ولی همبستگی نوروفیزیولوژیکی SAT را گزارش نکردند. مدل‌های محاسباتی SAT را به‌عنوان مفاهیمی از تجمع تصادفی شواهد حسی پر از نویز از یک سطح پایه در طول زمان توصیف کرده‌اند. پاسخ‌ها هنگامی ایجاد می‌شوند که شواهد تجمع‌یافته برای یک انتخاب به یک حد آستانه برسند. افزایش آستانه تصمیم‌گیری (کاهش وضعیت پایه‌ای) باعث ایجاد پاسخ‌های آهسته‌تر و دقیق‌تر می‌شود. کاهش این آستانه باعث ایجاد حرکات سریع‌تر ولی با دقت کمتر می‌شود. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در این فرایند، نواحی جانبی درون آهیانه‌ای (۲۳)، برجستگی فوقانی (۲۴، ۲۵) و عقده‌های قاعده‌ای (۲۶) دخیل هستند؛ با این وجود، هنوز درباره نواحی درگیر مغزی در SAT چالش وجود دارد. در مجموع، مطالعات تصویربرداری عصبی نشان می‌دهند که SAT در پاسخ‌های پایه‌ای سطح بالاتر که سرعت بر دقت اولویت دارد، ممکن است با تغییرات در فعالیت‌های عصبی پایه در نواحی مرتبط با تصمیمات اجرا شود (۲۷-۲۹، ۱). این مطلب نشان می‌دهد که کاهش محدوده تصمیم‌گیری در مدل‌های رفتاری، با افزایش شروع سطح فعالیت‌های عصبی در مناطقی که مشاهدات را جمع می‌کنند، در مغز اجرا می‌شود؛ بنابراین، پژوهش گسترده حاضر به بررسی تأثیر دست‌برتری و دشواری تکلیف بر مؤلفه‌های رفتاری و عصبی در مبادله سرعت-دقت در آزمودنی‌های پسر ۱۴ تا ۱۵ ساله می‌پردازد.

روش پژوهش

نوع پژوهش حاضر، بنیادی- کاربردی با طرح درون‌گروهی و بین‌گروهی و روش پژوهش به‌صورت نیمه‌تجربی است که در آن به بررسی تأثیر دشواری تکلیف و دست‌برتری بر مبادله سرعت-دقت پرداخته شده است. دانش‌آموزان پسر پایه هشتم دبیرستان قیصر امین‌پور شوشتر (با میانگین سنی ۱۴/۲) جامعه آماری پژوهش حاضر را تشکیل دادند. شرکت‌کنندگان داوطلبانه در پژوهش شرکت کردند و از میان آن‌ها ۲۰ نفر به‌صورت هدفمند با معیارهای داشتن دامنه بینایی طبیعی، نداشتن

1. Dorsilateral Prefrontal Area (DLPFC)
2. Heitz & Schall

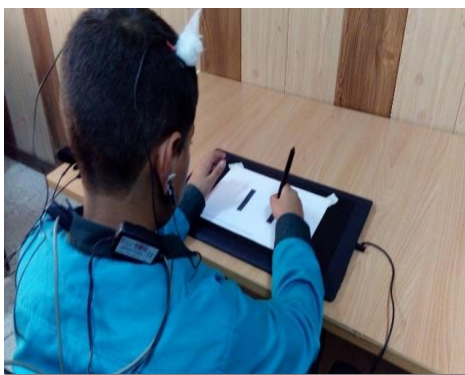
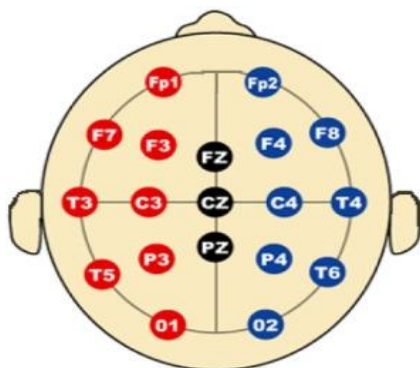
مشکل جسمانی و حرکتی انتخاب شدند. از سیاهه دست‌برتری ادینبورگ^۱ که توسط اولدفیلد^۲ (۱۹۷۱) طراحی شده است، برای ارزیابی دست‌برتری استفاده شد (۳۰) که از بین جامعه ذکر شده ۱۰ نفر راست‌دست و ۱۰ نفر چپ دست انتخاب شدند.

ابزارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر، دستگاه نوروفیدبک و بیوفیدبک چهار کاناله Vilistus ساخت کشور انگلستان، قلم نوری Wacom مدل Intous pen مجهز به صفحه حسگر، لپتاپ، مترونوم و کرومومتر بودند. در پژوهش حاضر، از نرم‌افزار محقق ساخته مشابه ابزار مورد استفاده فیتز (۵) استفاده شد. روایی نرم‌افزار به تأیید متخصصان و افراد خبره در حوزه رفتار حرکتی رسید. پایایی ابزار از طریق روش آزمون-بازآزمون و از طریق ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰/۸۲ به دست آمد. پیش از اجرای آزمون، آزمونگر تمامی شرکت‌کنندگان را با موارد آزمون و با نحوه اجرای تکالیف و هماهنگی با صدای مترونوم آشنا کرد. در این پژوهش از مترونوم شنیداری استفاده شد. سپس، به شرکت‌کنندگان فرصت داده شد قلم نوری را در دست بگیرند و علاوه بر هماهنگ شدن با صدای مترونوم که به شیوه‌ای تنظیم شده بود که فاصله هر ضربه ۳۰۰ هزارم ثانیه باشد، آزمون را تمرین کنند. آزمون شامل تکلیف آسان با فاصله اهداف ۱۵ سانتی‌متر و پهنای هدف ۰/۵ سانتی‌متر و نیز تکلیف دشوار با فاصله اهداف هشت سانتی‌متر و پهنای هدف ۱/۵ سانتی‌متر بود.

در بخش دیگری از پژوهش، برخی نواحی به وسیله EEG امواج مغزی ارزیابی شد. سیگنال مبتنی بر رویداد از فعالیت مغزی پیوسته با میانگین توان EEG استخراج شد که در زمان جفت‌شده با آغاز و پایان حرکت است. در پژوهش حاضر، زمان انجام تکلیف مداوم مبادله سرعت-دقت ۳۰ ثانیه بود و بدین دلیل میانگین این زمان ثبت شد. تغییرات و دامنه‌های امواج EEG همبسته با عملکرد بودند و با نوع رویداد، سطح انگیختگی، سن و پاتولوژی‌ها تعدیل می‌شدند (۳۱-۳۳). ریتم‌ها و باندهای فرکانس ویژه مستلزم فعالیت‌های حرکتی در پژوهش‌های EEG آلفا یا Mu و بتا در ناحیه مرکزی و گاما در ناحیه پس‌مرکزی و پیش‌پیشانی هستند. آلفا و بتا مهم‌ترین سیگنال‌ها در نواحی حسی حرکتی برای حرکات تصویرسازی شده (۳۴)، حرکات واقعی دست (۳۵) و حرکات مشاهده شده (۳۶) بودند. به‌طور مکرر در مطالعات، بر ارتباط باند بتا در طول حرکات تأکید شده است (۳۷، ۳۸). رفتار ریتم‌های بتا و آلفا یا مو در توقف یا پایان حرکت یعنی هنگامی که عضله آرام می‌شود، متفاوت است. همانند ارتباط بین توان بتا و EMG، باند گاما در ناحیه پس‌مرکزی وابستگی زیادی با فعالیت عضله نشان می‌دهد (۳۹). در مقایسه با پاسخ‌های آلفا و بتا، پاسخ‌های گاما بیشتر ویژه حسی‌تنی هستند. باند گاما مرتبط با یکپارچگی حسی حرکتی است (۴۰) و همچنین، پیشنهاد شده است که مغز به وسیله آن جنبه‌های

1. Edinburgh Handedness Inventory
2. Oldfield

ادراکی را کامل می‌کند (۴۱)؛ بر همین اساس، در پژوهش حاضر، تمرکز اصلی بر باندهای آلفا، تتا به بتا و گاما است و سعی شده است تحلیل‌ها بر اساس تغییرات توان این امواج انجام شوند. آزمایش‌های الکتروانسفالوگرافی (EEG) توسط متخصص و کارشناس این ابزار، در نواحی موردنظر انجام شدند. در این روش، الکترودها روی سطح جمجمه، جایی نزدیک به مکان آناتومیکی موردنظر قرار می‌گیرند. EEG معمولاً پتانسیل‌های الکتریکی در الکترودهای واحد نسبت به یک الکترودی بی‌طرف سنجیده می‌شود که معمولاً روی لاله گوش قرار داده می‌شود. با توجه به محدودیت در تعداد الکترودهای ثبتي، جفت‌شدگی نواحی حرکتی C3 (مرکزی یا حرکتی چپ) با C4 (مرکزی یا حرکتی راست)، F3 (فورنتال یا پیشانی چپ) با F4 (فورنتال یا پیشانی راست) در آزمون موردبررسی قرار داده شد. الکترودهای دستگاه EEG ابتدا در نواحی C3 و C4 سر قرار می‌گرفتند. سپس، شرکت‌کننده به مدت ۳۰ ثانیه تکلیف آسان را با دست برتر و هماهنگ با صدای مترونورم انجام می‌داد. سپس، ۳۰ ثانیه همان تکلیف آسان را با دست غیربرتر انجام می‌داد. همین کار برای تکلیف دشوار تکرار می‌شد. حال، باید جای الکترودهای دستگاه EEG تغییر می‌کرد و در نواحی F3 و F4 سر قرار می‌گرفت تا فرد در مدت زمان ۳۰ ثانیه هرکدام از تکالیف ساده و دشوار را با دست برتر و غیربرتر انجام می‌داد؛ به طوری که هم‌زمان هم خروجی رفتاری به صورت اعداد خروجی از قلم نوری و پدلمسی و هم داده‌های EEG از نواحی مغزی C3، C4، F3 و F4 ثبت شدند.



شکل ۲- تصویری از اجرای تکلیف ضربه‌زنی دوطرفه فیتز (سمت راست) و نواحی قشری مشخص شده (سمت چپ)

نتایج

از میانگین و انحراف معیار به عنوان آمار توصیفی استفاده شد. طبیعی بودن داده‌ها از طریق آزمون شاپیرو-ویلک^۱ و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون^۲ بررسی شد و سطح معناداری بالای ۰/۰۵ به دست آمد؛ بنابراین هر دو مورد تایید شد. برای بررسی استنباطی و تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون‌های آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری، تی مستقل و وابسته در سطح معناداری $P < 0.05$ استفاده شد. برای انجام تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس نسخه ۲۱ استفاده شد.

الف- یافته‌های مربوط به خروجی‌های رفتاری

جدول ۱- نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری مرکب (۲ * ۲ * ۲) برای بررسی تفاوت بین تعداد ضربات درست و خطا به اهداف، در دو دشواری تکلیف، در دست برتر و غیربرتر افراد راست دست

و چپ دست

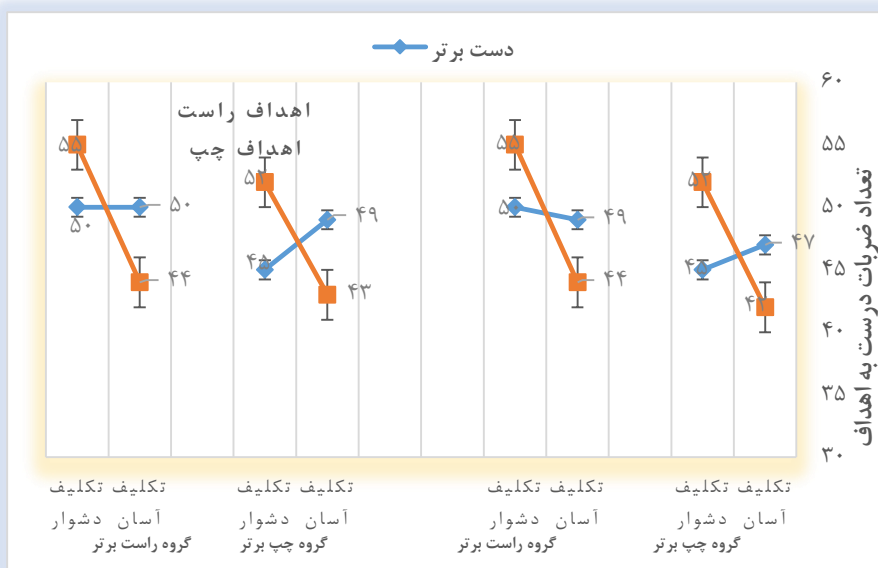
منبع تغییرات	تعداد ضربات درست به اهداف			تعداد ضربات خطا به اهداف		
	مقدار اف	سطح معناداری	مجذور اتا	مقدار اف	سطح معناداری	مجذور اتا
دشواری تکلیف	۳/۴۵۸	۰/۰۷۸	۰/۱۶۱	۱۹۰/۷۱۳	۰/۰۰۱*	۰/۹۱۴
دشواری تکلیف * گروه	۰/۳۱۹	۰/۵۷۹	۰/۰۱۷	۱/۷۵۹	۰/۲۰۱	۰/۰۸۹
اندام (دست برتر- غیربرتر)	۰/۰۳۳	۰/۷۲۳	۰/۰۰۲	۴/۹۷۶	۰/۰۳۹*	۰/۲۱۷
اندام * گروه	۰/۱۳۰	۰/۷۲۳	۰/۰۰۷	۰/۰۵۷	۰/۸۱۳	۰/۰۰۳
دشواری تکلیف * اندام	۸/۷۷۶	۰/۰۰۸*	۰/۳۲۸	۱۱/۳۸۸	۰/۰۰۳*	۰/۳۸۸
دشواری تکلیف * اندام * گروه	۰/۲۰۶	۰/۶۴۸	۰/۰۱۲	۰/۳۱۸	۰/۵۸۰	۰/۰۱۷

* معناداری در سطح $P < 0.05$

همان‌طور که در جدول شماره یک مشاهده می‌شود، یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری‌های تکراری نشان داد که برای تعداد ضربات درست به هدف، اثر اصلی دشواری تکلیف و تعامل دشواری تکلیف در گروه و نیز اثر اصلی اندام (دست برتر- غیربرتر) و تعامل اندام در گروه

1. Shapiro-Wilk
2. Levene's Test
3. SPSS

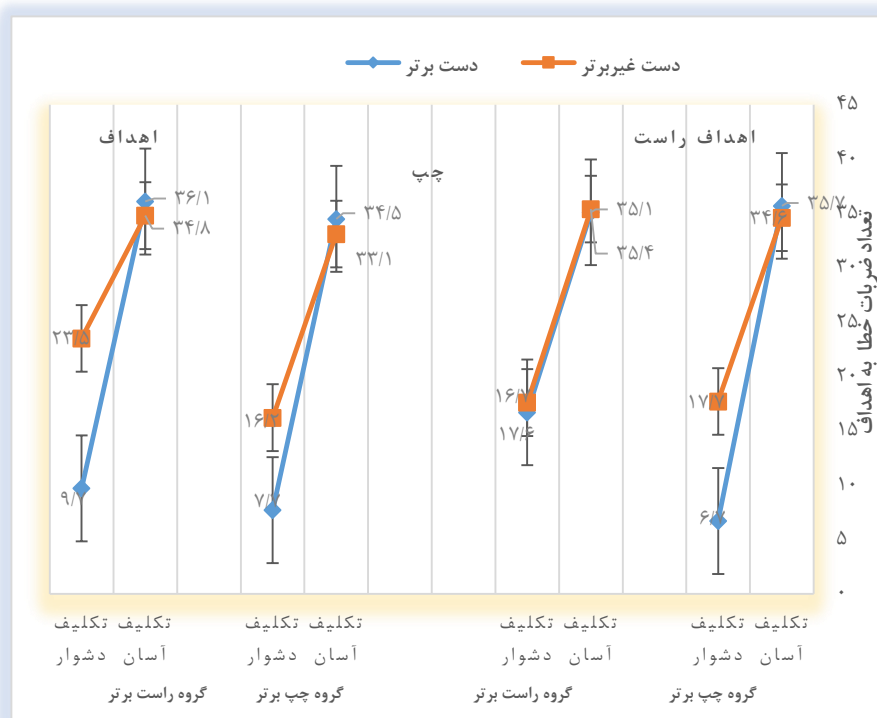
معنادار نشد؛ با این وجود، تعامل دشواری تکلیف در اندام معنادار شد؛ اما تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشد. آزمون‌های تی وابسته نشان داد که در دست برتر، بین تکلیف آسان و دشوار در تعداد ضربات درست به سمت اهداف تفاوت معناداری وجود نداشت ($\text{sig} = 0.296$)؛ ولی در دست غیربرتر، این تفاوت وجود داشت ($t = -0.508$)؛ و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تکلیف آسان نسبت به تکلیف دشوار، تعداد ضربات درست به سمت اهداف بیشتر بود ($53/67$ در برابر $43/77$). به علاوه، هم در تکلیف آسان و هم در تکلیف دشوار، بین دست برتر و هم دست غیربرتر در تعداد ضربات درست به سمت اهداف تفاوت معناداری وجود نداشت ($t = 1.807$ ، $\text{sig} = 0.087$ ؛ $t = -1.969$ ، $\text{sig} = 0.064$).



شکل ۳- تعداد ضربات درست به هدف سمت راست، در دو دشواری تکلیف، در دست برتر و غیربرتر افراد راست‌دست و چپ‌دست

یافته‌های مربوط به تعداد ضربات خطا به اهداف نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف معنادار است. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که تعداد ضربات خطای به اهداف در تکلیف دشوار نسبت به تکلیف ساده بیشتر است ($69/82$ در برابر $35/55$)؛ با این وجود، تعامل دشواری تکلیف در گروه معنادار نشد. اثر اصلی اندام (دست برتر- غیربرتر) نیز معنادار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تعداد ضربات خطای به اهداف در دست غیربرتر نسبت به دست برتر بیشتر بود ($53/225$ در برابر $45/55$)؛

باین وجود، تعامل اندام در گروه معنادار نشد. همچنین، تعامل دشواری تکلیف در اندام معنادار شد؛ ولی تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشد. آزمون‌های تی وابسته نشان دادند که در تکلیف آسان، بین دست برتر و غیربرتر در تعداد ضربات خطای به سمت اهداف تفاوت معناداری وجود داشت ($t = -4.467$ ، $sig = 0.0001$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که دست غیربرتر نسبت به دست برتر دارای تعداد ضربات خطای به سمت اهداف بیشتری بود ($37/50$ در برابر $20/40$)؛ ولی در تکلیف دشوار، بین دو دست برتر و غیربرتر در تعداد ضربات خطای به سمت اهداف تفاوت معناداری وجود نداشت ($t = 0.366$ ، $sig = 0.719$). آزمون‌های تی وابسته نشان داد که هم در دست برتر و هم در دست غیربرتر، بین تکالیف آسان و دشوار در تعداد ضربات خطای به سمت اهداف تفاوت معناداری وجود داشت ($t = -10.850$ ، $sig = 0.0001$ و $t = -10.089$ ، $sig = 0.0001$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو دست برتر ($70/70$ در برابر $20/40$) و غیربرتر ($68/95$ در برابر $37/50$)، تکالیف دشوار نسبت به آسان دارای تعداد ضربات خطای به سمت اهداف بیشتری بودند.



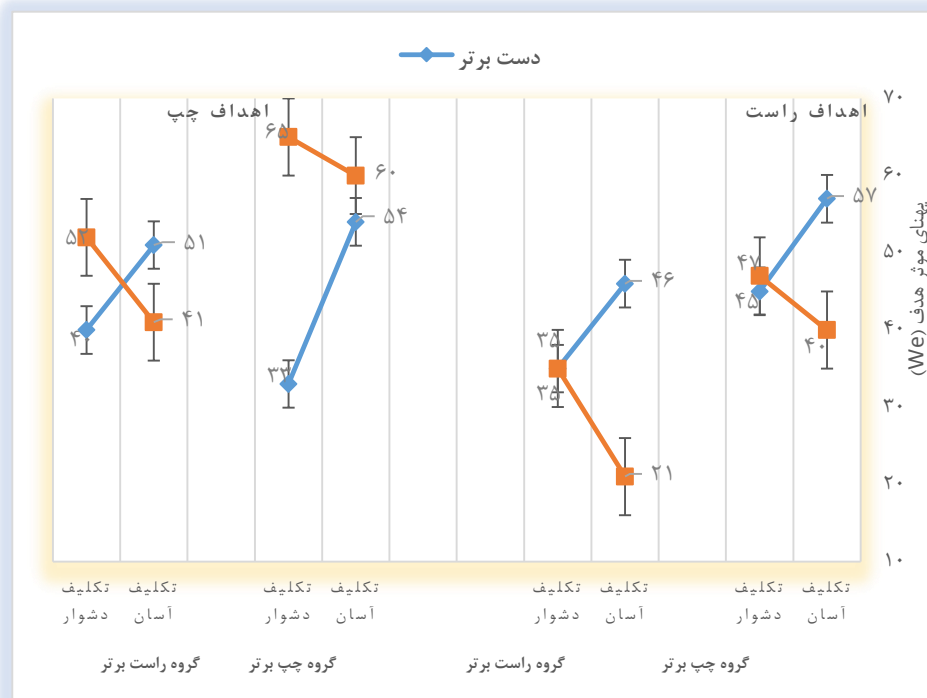
شکل ۴- تعداد ضربات خطای به هدف سمت راست، در دو دشواری تکلیف، در دست برتر و غیربرتر افراد راست‌دست و چپ‌دست

جدول ۲- نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری مرکب (۲ * ۲ * ۲) برای بررسی تفاوت بین پهنای مؤثر هدف (We) و میانگین وقفه زمانی بین ضربات (MT) به اهداف در دو دشواری تکلیف، در دست برتر و غیربرتر افراد راست‌دست و چپ‌دست

میانگین وقفه زمانی (MT)			پهنای مؤثر هدف (We)			منبع تغییرات
مجدور مقدار اتا	سطح معناداری	مقدار اف	مجدور مقدار اتا	سطح معناداری	مقدار اف	
۰/۱۲۰	۰/۱۳۵	۲/۴۴۵	۰/۰۱۵	۰/۶۱۱	۰/۲۶۸	دشواری تکلیف
۰/۰۰۹	۰/۶۸۴	۰/۱۷۱	۰/۰۲۳	۰/۵۲۳	۰/۴۲۵	دشواری تکلیف * گروه
۰/۰۰۴	۰/۷۸۵	۰/۰۷۷	۰/۰۰۱	۰/۹۷۳	۰/۰۰۱	اندام (دست برتر- غیربرتر)
۰/۰۲۳	۰/۵۲۲	۰/۴۲۶	۰/۰۷۱	۰/۲۵۸	۱/۳۶۵	اندام * گروه
۰/۳۹۰	۰/۰۰۳	۱۱/۴۹۴	۰/۳۰۵	*۰/۰۱۲	۷/۹۰۵	دشواری تکلیف * اندام
۰/۰۰۱	۰/۸۹۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱	۰/۹۲۰	۰/۰۱۰	دشواری تکلیف * اندام * گروه

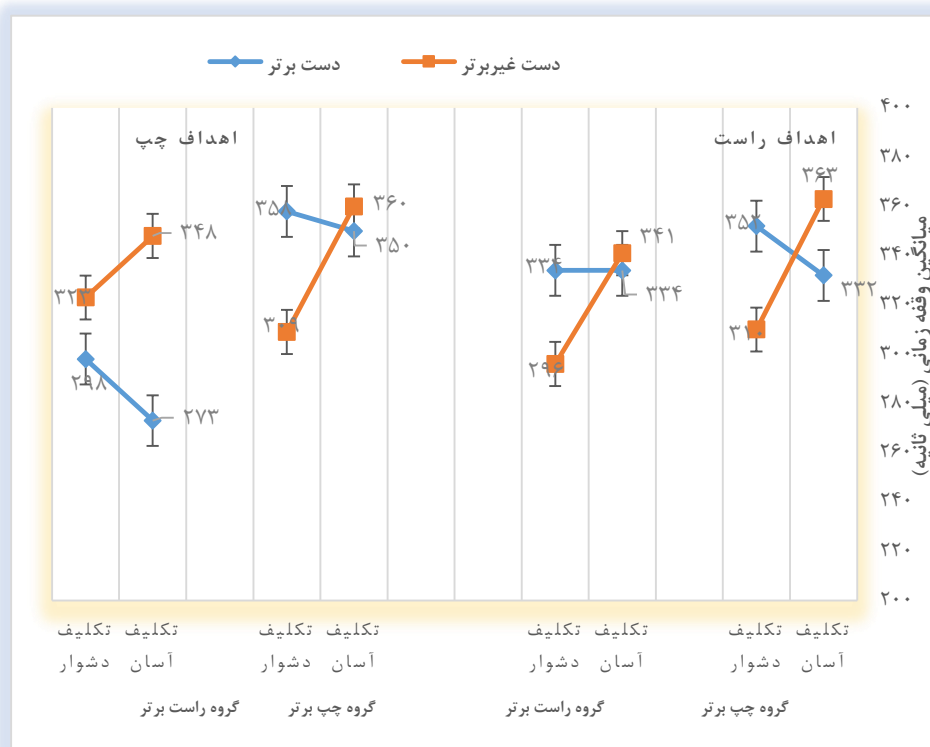
* معناداری در سطح $P < 0.05$

همان‌طور که در جدول شماره دو مشاهده می‌شود، یافته‌های مربوط به پهنای مؤثر هدف (We) نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف و تعامل دشواری تکلیف در گروه و نیز اثر اصلی اندام (دست برتر- غیربرتر) و تعامل اندام در گروه معنادار نشد؛ با این وجود، تعامل دشواری تکلیف در اندام معنادار شد؛ ولی تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشد. جالب اینکه آزمون‌های تی مستقل نشان دادند که هم در تکلیف آسان و هم در تکلیف دشوار، بین اندام برتر و غیربرتر تفاوت معناداری وجود نداشت ($t = -1.929$, $sig = 0.069$ و $t = 1.718$, $sig = 0.102$)؛ اما در اندام برتر، بین دو تکلیف آسان و دشوار تفاوت معناداری وجود داشت ($t = -2.140$, $sig = 0.049$). این نسبت برای تکلیف دشوار به آسان ۵۲/۳۵ در برابر ۳۸/۷۰ بود؛ ولی در اندام غیربرتر تفاوتی وجود نداشت ($sig = 0.086$, $t = 1.813$).



شکل ۵- پهنای مؤثر هدف (We) اهداف، در دو دشواری تکلیف، در دست برتر و غیر برتر افراد راست دست و چپ دست

یافته‌های مربوط به میانگین وقفه زمانی بین ضربات (MT) نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف و تعامل دشواری تکلیف در گروه و نیز اثر اصلی اندام (دست برتر- غیر برتر) و تعامل اندام در گروه معنادار نشد؛ با این حال، تعامل دشواری تکلیف در اندام معنادار شد؛ ولی تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه (F = 0.018, sig = 0.894, $\eta^2 = 0.001$) معنادار نشد. آزمون‌های تی مستقل نشان دادند که در میانگین وقفه زمانی (MT) در دست برتر، بین دو تکلیف آسان و دشوار تفاوت معناداری وجود نداشت (t = 1.355, sig = 0.191)؛ ولی در میانگین وقفه در دست غیر برتر، بین دو تکلیف آسان و دشوار تفاوت معناداری وجود داشت (t = -3.371, sig = 0.001). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تکلیف آسان نسبت به تکلیف دشوار دارای میانگین وقفه کمتری است (۰/۳۰۳ در برابر ۰/۳۵۳ میلی-ثانیه).



شکل ۶- میانگین وقفه زمانی (MT) در دو دشواری تکلیف، در دست برتر و غیربرتر افراد راست‌دست و چپ‌دست

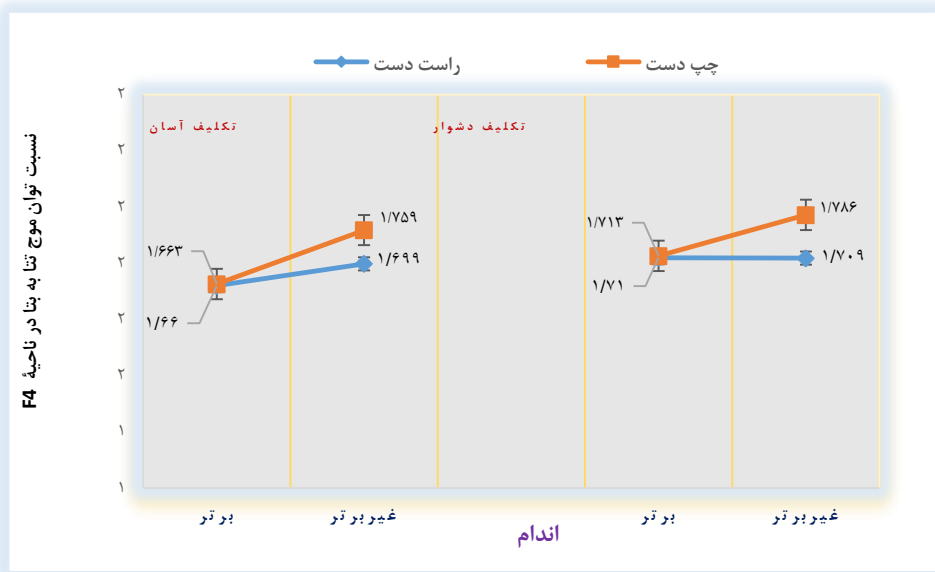
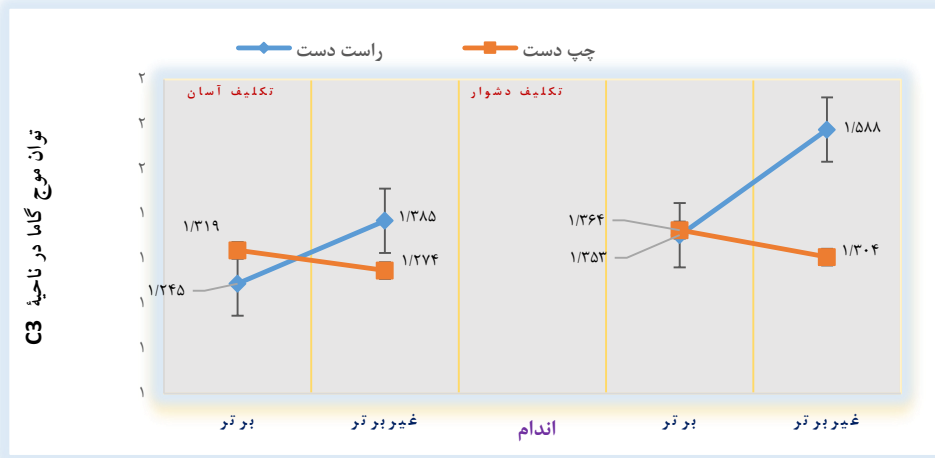
الف- یافته‌های مربوط به خروجی‌های EEG

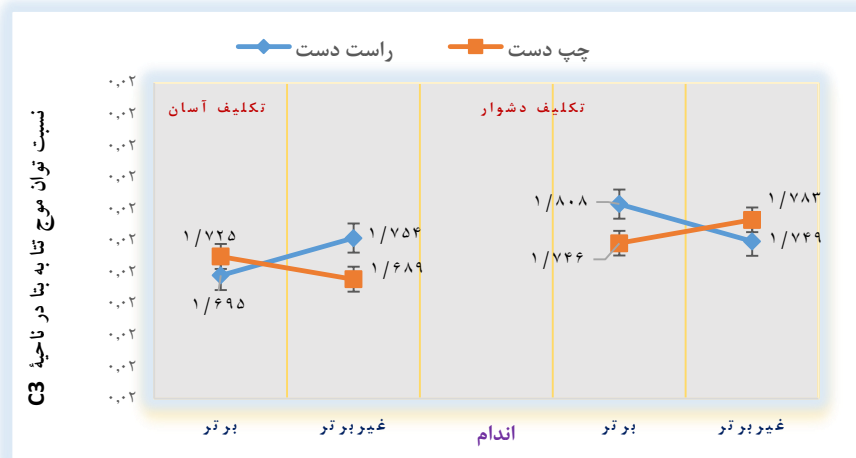
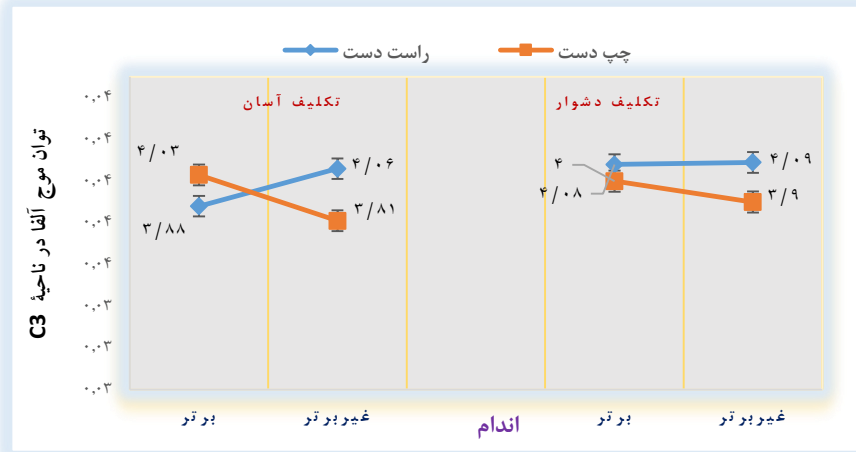
نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که توان امواج در نواحی C3، C4، F3 و F4 قشری در آزمون‌ها دارای توزیع طبیعی است. همچنین، نتایج آزمون لون برای بررسی برابری واریانس‌ها نشان داد با توجه به سطح معناداری به دست آمده که بیشتر از ۰/۰۵ بود، واریانس‌ها در تمامی آزمون‌ها برای توان همه امواج در نواحی مختلف برابرند. برای ارزیابی تأثیر دست‌برتری و دشواری تکلیف در مبادله سرعت-دقت بر توان امواج آلفا، گاما و نسبت تتا به بتا در نواحی C3، C4، F3 و F4 قشری، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری مرکب (۲ * ۲ * ۲) استفاده شد (تکلیف آسان و دشوار، دست برتر و غیربرتر، دو گروه راست‌دست و چپ‌دست).

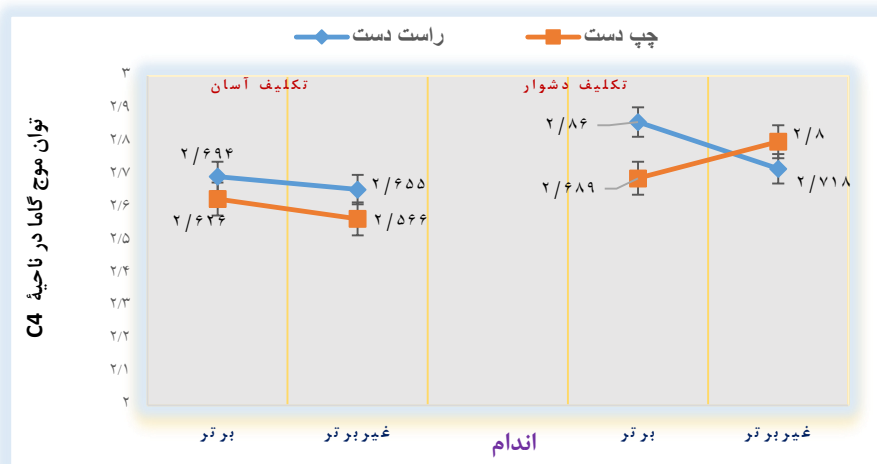
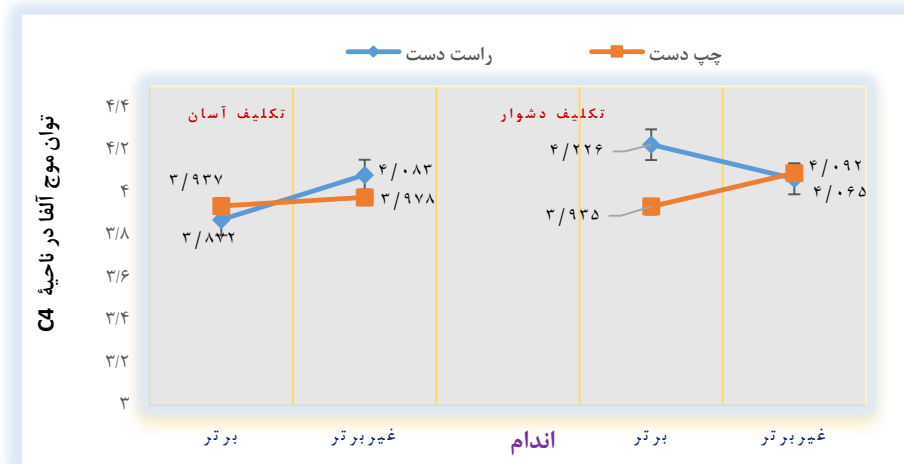
یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری‌های تکراری نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف و تعامل دشواری تکلیف و همچنین، اثر اصلی اندام (دست برتر- غیربرتر) و تعامل

اندام در گروه معنادار نبود. اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام و تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه نیز معنادار نشد.

یافته‌های مربوط به موج گاما در ناحیه C3 نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف معنادار بود؛ بدین معنای که در توان موج گاما در ناحیه C3 بین دو تکلیف ساده و دشوار، صرف‌نظر از نوع اندام و راست‌دست و چپ‌دستی تفاوت وجود داشت. آزمون تی وابسته در توان موج گاما در ناحیه C3 نشان داد که بین دو تکلیف آسان و دشوار در توان موج گاما در ناحیه C3 تفاوت معناداری وجود داشت؛ به طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تکلیف دشوار بالاتر است (۱/۳۰۵ در مقابل ۱/۴۰۲). تعامل دشواری تکلیف در گروه معنادار نشد. همچنین، یافته‌ها نشان داد که اثر اصلی اندام (دست برتر- غیربرتر) معنادار نبود؛ ولی تعامل اندام در گروه معنادار شد. نتایج آزمون‌های تی وابسته نشان داد که در گروه راست‌دست در توان موج گاما در ناحیه C3 بین دست برتر و غیربرتر تفاوت وجود داشت (F = 13.627, sig = 0.031)؛ به طوری که در اجرای تکلیف با دست غیربرتر بالاتر بود (۱/۴۸۶ در مقابل ۱/۲۹۹). در گروه چپ‌دست، در توان موج گاما در ناحیه C3، بین دست برتر و غیربرتر تفاوت وجود نداشت (۱/۲۸۹ در مقابل ۱/۳۴۱). این موضوع نشان می‌دهد که راست‌دست‌ها در انجام حرکت با دست غیربرتر نسبت به چپ‌دست‌ها بیشتر مشکل دارند. همچنین، نتایج آزمون‌های تی مستقل نشان داد که در اجرا با دست برتر، توان موج گاما در ناحیه C3 در چپ‌دست‌ها بالاتر بود؛ ولی از نظر آماری معنادار نبود (F = 1.838, t = -0.335, sig = 0.183). این نسبت در راست‌دست‌ها نسبت به چپ‌دست‌ها ۱/۲۹۹ به ۱/۳۴۱ است. به طور جالب توجهی، در اجرا با دست غیربرتر توان موج گاما در ناحیه C3 در راست‌دست‌ها نسبت به چپ‌دست‌ها بالاتر بود (F = 5.045, t = 1.304, sig = 0.031). این نسبت در راست‌دست‌ها نسبت به چپ‌دست‌ها ۱/۴۸۶ به ۱/۲۸۹ بود که نشان می‌دهد در اجرا با دست غیربرتر راست‌دست‌ها با مشکلات بالاتری مواجه هستند. همچنین، یافته‌ها نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشد. یافته‌ها برای نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام و تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشد. گروه، اثر اصلی اندام (دست برتر- غیربرتر) و تعامل اندام در گروه نیز معنادار نشد. همچنین، نتایج نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام و تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشد. یافته‌های مربوط به امواج آلفا، گاما و نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) در ناحیه C4 نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف و تعامل دشواری تکلیف در گروه معنادار نبود. همچنین، برای هر سه موج، اثر اصلی اندام (دست برتر- غیربرتر) و تعامل اندام در گروه معنادار نشد. در توان امواج آلفا، گاما و نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) در ناحیه C4، اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام و تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه نیز معنادار نشد.







شکل ۷- نمودار خطی تفاوت در نسبت توان موج آلفا، گاما و تتا به بتا در نواحی C3 و C4 در شرایط آسان و دشوار در دست برتر و غیر برتر در دو گروه راست دست و چپ دست

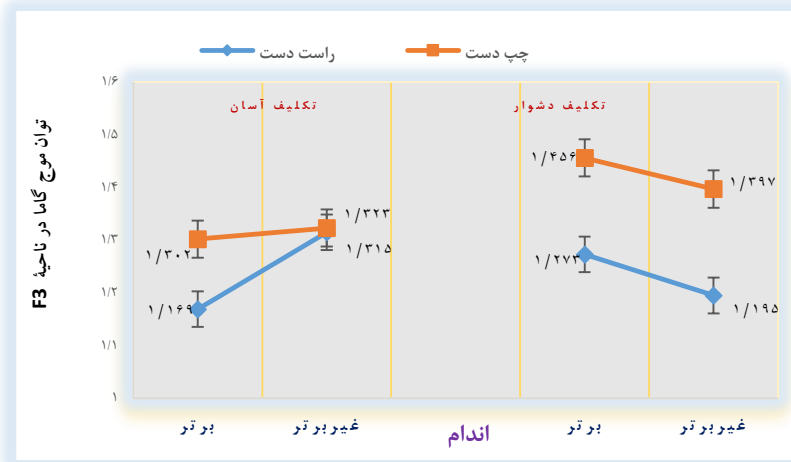
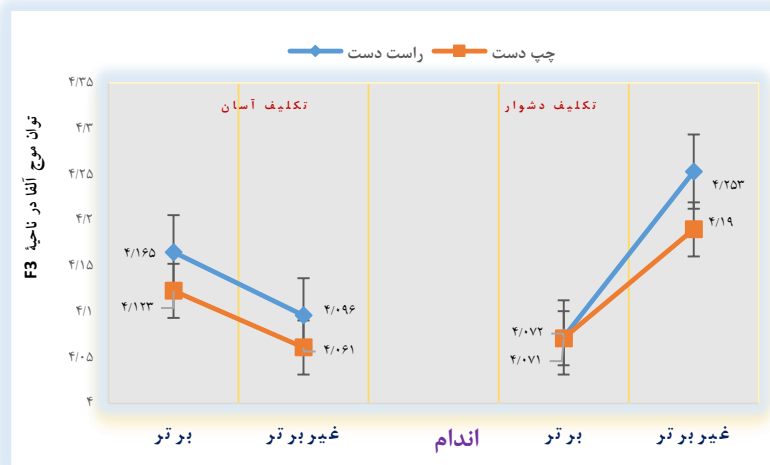
یافته‌های مربوط به توان امواج آلفا، گاما و نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) در ناحیه F3 نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف و تعامل دشواری تکلیف در گروه معنادار نشد. اثر اصلی اندام (دست برتر- غیر برتر) و تعامل اندام در امواج آلفا، گاما و نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) معنادار نشد. همچنین، اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام و تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشد.

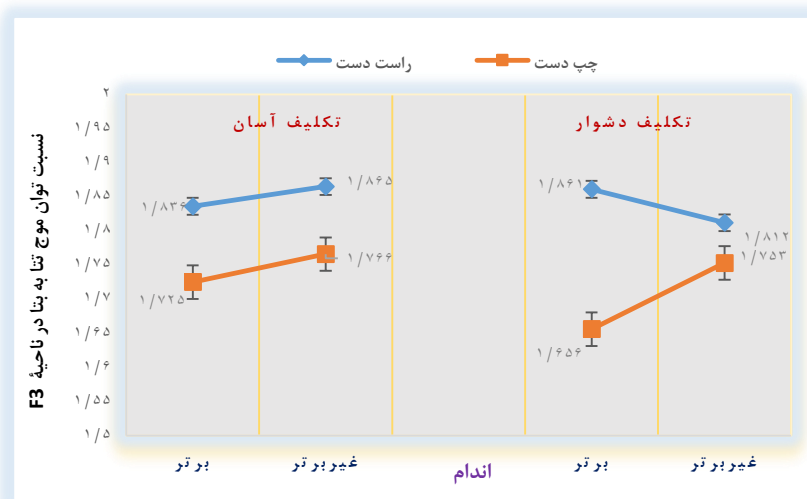
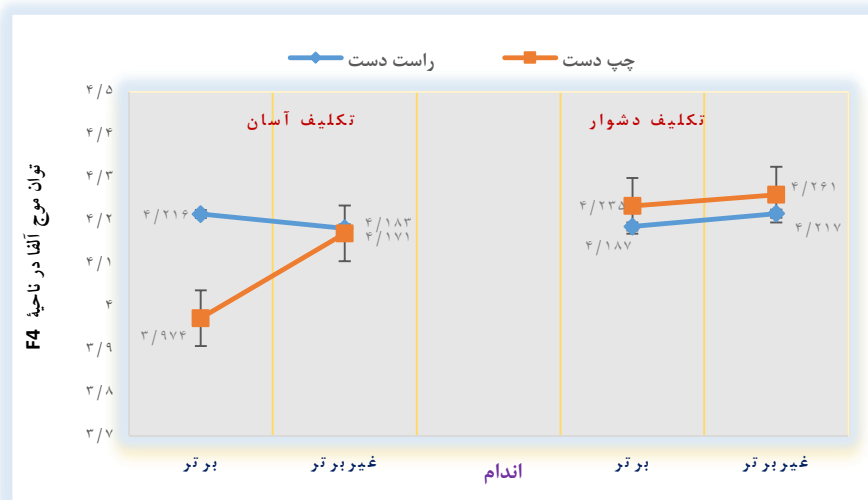
باین وجود، یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری مرکب نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف معنادار بود؛ بدین معنای که در توان موج آلفا در ناحیه F4، بین دو تکلیف ساده و دشوار صرف نظر از نوع اندام و راست دست و چپ دستی تفاوت وجود داشت. آزمون تی وابسته نشان داد که بین دو تکلیف آسان و دشوار در توان موج آلفا در ناحیه F4 تفاوت معناداری وجود نداشت ($t = -1.787$, $sig = 0.082$). علاوه بر این، تعامل دشواری تکلیف در گروه معنادار شد؛ بدین معنای که بین دو گروه راست دست و چپ دست در توان موج آلفا در ناحیه F4 تفاوت وجود داشت. آزمون‌های تی وابسته نشان دادند که در گروه راست دست در توان موج آلفا در ناحیه F4، بین تکلیف آسان و دشوار تفاوت وجود نداشت ($t = -0.036$, $sig = 0.972$)؛ اما در گروه چپ دست در توان موج آلفا در ناحیه F4، بین تکلیف آسان و دشوار تفاوت وجود داشت ($t = -2.595$, $sig = -0.018$)؛ به طوری که توان موج آلفا در ناحیه F4 در تکلیف دشوار نسبت به آسان بالاتر بود ($F(4/248)$ در برابر $4/072$). همچنین، آزمون‌های تی مستقل نشان دادند که هم در اجرای تکلیف آسان ($t = 1.210$, $sig = 0.289$) و هم در اجرای تکلیف دشوار، توان موج آلفا در ناحیه F4 بین دو گروه تفاوت نداشت ($F = 0.151$, $sig = -0.467$, $t = -2.152$). یافته‌های مربوط به توان موج آلفا در این ناحیه مغزی نشان داد که اثر اصلی اندام (دست برتر غیر برتر) تعامل اندام در گروه و نیز اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام و تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نبودند.

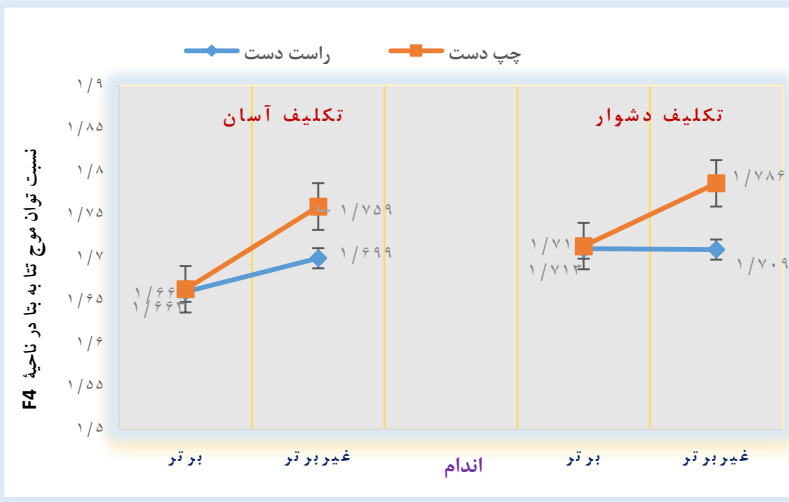
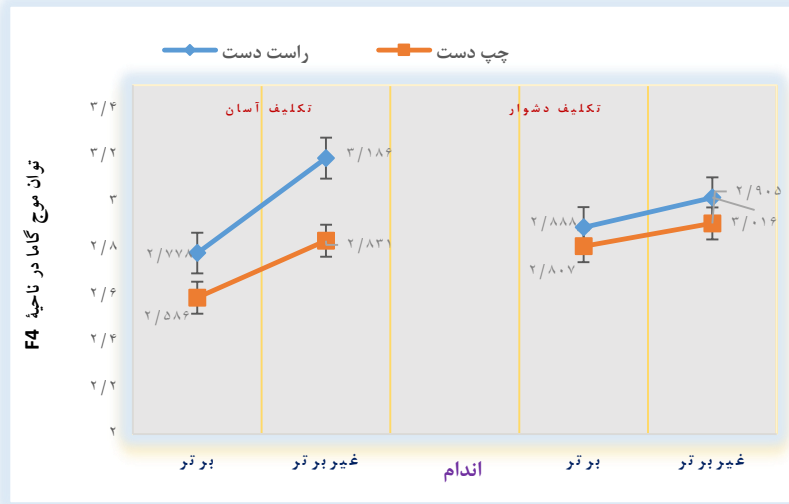
یافته‌های مربوط به توان موج گاما در ناحیه F4 نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف و تعامل دشواری تکلیف در گروه معنادار نشد؛ ولی اثر اصلی اندام (دست برتر - غیر برتر) ($\eta^2 = 0.330$, $sig = 0.008$) معنادار شد. آزمون تی وابسته نشان داد که در شرایط اجرای حرکت با دست‌ها، بین دو دست برتر و غیر برتر در توان موج گاما در ناحیه F4 تفاوت معناداری وجود داشت ($F = 8.854$, $sig = 0.001$) - $t = 3.492$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که توان موج گاما در هنگام اجرا با دست غیر برتر بالاتر بود ($2/984$ در مقابل $2/764$).

همچنین، اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام معنادار شد؛ باین وجود، تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشد. آزمون‌های تی وابسته نشان دادند که در اندام برتر، در توان موج گاما در ناحیه F4 بین تکلیف آسان و دشوار تفاوت وجود نداشت ($t = -1.783$, $sig = 0.091$). همچنین، در اندام غیر برتر، در توان موج گاما در ناحیه F4 بین تکلیف آسان و دشوار تفاوت وجود نداشت ($sig = 0.572$). آزمون‌های تی وابسته نشان دادند که در اجرای تکلیف آسان، توان موج گاما در ناحیه F4 بین دو اندام برتر و غیر برتر تفاوت داشت ($t = -3.373$, $sig = 0.003$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که توان این موج در هنگام اجرا با دست غیر برتر بالاتر بود ($3/008$ در برابر $2/682$)؛ باین وجود، در اجرای

تکلیف در شرایط دشوار، توان موج گاما در ناحیه F4 بین دو اندام برتر و غیربرتر تفاوت نداشت ($t = -1.498$, $sig = 0.0151$). یافته‌های مربوط به نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) نشان داد که اثر اصلی دشواری تکلیف، تعامل دشواری تکلیف در گروه، اثر اصلی اندام (دست برتر - غیربرتر) و تعامل اندام در گروه نیز معنادار نشدند. همچنین، اثر اصلی دشواری تکلیف در اندام و تعامل دشواری تکلیف در اندام در گروه معنادار نشدند.







شکل ۸- نمودار خطی تفاوت در نسبت توان امواج آلفا، گاما و نسبت تتا به بتا در نواحی F3 و F4 در شرایط آسان و دشوار در دست برتر و غیربرتر در دو گروه راست‌دست و چپ‌دست

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در اجرای تکالیف مبادلهٔ سرعت-دقت، تعداد ضربات درست به هدف در اجرا با دست برتر در تکلیف آسان نسبت به دشوار بیشتر است. همچنین، بین تعداد ضربات خطای به هدف، در دو نوع تکلیف آسان و دشوار و نیز در دست برتر و غیربرتر تفاوت وجود داشت. این نتایج با نتایج بسیاری از پژوهش‌های پیشین هم‌راستا بود (۴۳، ۴۲، ۱۳). در هر دو اندام برتر و غیربرتر، تعداد ضربات خطا در تکالیف دشوار نسبت به آسان بیشتر بود. همچنین، در اندام غیربرتر نسبت به برتر تعداد این خطاها بیشتر بود. در این راستا، آسای^۱ و همکاران (۴۳) بیان کرده‌اند که دو دست تفاوت‌های خاصی برای کنترل حرکت در وضعیت‌های مختلف دارند؛ به طوری که در تکالیف نیازمند سرعت و دقت، دست راست (برتر) سریع‌تر و دست چپ دقیق‌تر عمل می‌کند. دست راست توسط نیمکرهٔ چپ که در فعالیت‌های زمانی (پردازش سریع‌تر) درگیر است، کنترل می‌شود و کنترل دست چپ توسط نیمکرهٔ راست که در فعالیت‌های فضایی (تولید خطای کمتر) درگیر است، صورت می‌گیرد.

لاتاش^۲ (۴۴) عملکرد حرکتی در هر دست را متفاوت از دیگری می‌داند. از نظر او، در زندگی روزمره دست برتر دارای چالاکی و دقت بالاتر و دست غیربرتر دارای ثبات بیشتری است؛ با این وجود، نتایج پژوهش حاضر با نظر استوکل^۳ و ویگلت^۴ (۴۵) هم‌خوان نبود. آن‌ها نشان دادند که تکالیف دقت فضایی که با دست غیربرتر تمرین شوند، بهتر یادگرفته می‌شوند؛ در حالی که تمرین با دست برتر برای تکالیفی با تولید حداکثر نیرو کارآمدترند. همچنین، دست برتر در کسب مسیرهای مستقیم در میدان نیروی جدید بهتر عمل می‌کند و دست غیربرتر در توقف روی هدف، دقیق‌تر است. همچنین، رابرت ریسبرگ فرضیه‌ای (فرضیهٔ برتری پویا) پیشنهاد کرد که دست برتر در مورد پویایی حرکت به ویژه در طول اعمال سریع آماده‌تر است؛ در حالی که دست غیربرتر برای کسب وضعیت موازنهٔ موردنیاز مناسب‌تر است (۴۴).

نتایج در مورد پهنای مؤثر هدف (We) نشان داد که بین دو تکلیف ساده و دشوار تفاوت وجود نداشت. بین دو گروه راست‌دست و چپ‌دست نیز تفاوت وجود نداشت. همچنین، در پهنای مؤثر هدف (We)، صرف‌نظر از دشواری تکلیف و دست‌برتری، بین دست برتر و غیربرتر تفاوت وجود نداشت و تنها در تکلیف آسان، پهنای مؤثر هدف اندکی در دست غیربرتر بیشتر از دست برتر بود که معنادار نشد. این نتایج جالب توجه است و نشان می‌دهد که پراکندگی فضایی ضربات حتی در دو اندام برتر و غیربرتر تفاوت نداشته است؛ در حالی که تفاوت در الگوهای زمانی در قالب میانگین وقفهٔ زمانی (MT) واضح‌تر

-
1. Asai
 2. Latash
 3. Stockel
 4. Weigelt

و بیشتر بود. در MT، بین دو تکلیف ساده و دشوار صرف‌نظر از نوع اندام و دست‌برتری تفاوت وجود نداشت؛ ولی بین دست برتر و غیربرتر دو گروه راست‌دست و چپ‌دست تفاوت وجود داشت؛ به طوری که MT در دست غیربرتر، در تکلیف آسان نسبت به تکلیف دشوار کمتر بود. این نتایج نشان می‌دهد که در دست غیربرتر، الگوی زمانی و سرعت حرکت به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند. همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تکلیف آسان نسبت به تکلیف دشوار دارای MT کمتری است. دانیون^۱ و همکاران (۱۱) در پژوهشی دریافتند که تغییرپذیری فضایی با مدت زمان حرکت کاهش می‌یابد؛ درحالی که تغییرپذیری زمانی با مدت زمان حرکت افزایش می‌یابد و همبستگی قوی منفی‌ای بین تغییرات فضایی و زمانی پس از تغییرات درطول حرکت مشاهده می‌شود. هسیه^۲ و همکاران (۴۶) نیز بیان کرده‌اند که از لحاظ نظری، مبنای قانون فضا- زمان این است که خطاهای فضایی همیشه باید نسبت به زمان، اندازه‌گیری شوند و برعکس. با استناد به این قانون، دشوار شدن حرکت باعث برهم خوردن روابط فضایی- زمانی می‌شود و برای کاهش خطای حرکت بر زمان آن افزوده می‌شود. اشمیت و لی^۳ (۵) نیز اشاره کرده‌اند که برای هر حرکت آهسته‌تر کاهش در دقت زمانی وجود دارد و کنترل حرکت را درهم می‌شکند.

به نظر می‌رسد که شرکت‌کنندگان در تکالیف دشوار سرعت را فدای دقت کرده‌اند. این اتفاق در دست غیربرتر بیشتر روی داده است؛ به طوری که کمترین سرعت در اجرای تکلیف دشوار با دست غیربرتر مشاهده می‌شود. پژوهش‌های مختلف تفاوت برتری یک عضو را در اجرای حرکت به اثبات رسانده‌اند. وودورث^۴ نشان داد که دست چپ دقت کمتری نسبت به دست راست (دست برتر) دارد (۵). همچنین میکویچین^۵ و همکاران (۴۳) نشان دادند که حرکات هدف‌گیری یک‌دستی با دقت بیشتری در دست چپ نسبت به دست راست کنترل می‌شوند. آن‌ها هیچ اطلاعاتی درباره تفاوت تغییرات درون فردی، زمان حرکت، سرعت و دقت حرکت درطول تکالیف سریع و دقیق بین دست چپ و راست درحین تکالیف دودستی یافت نکردند. گاتنیک^۶ و همکاران (۴۷) نیز بیان کردند که الگوی پایدار دست راست و دست چپ برای کنترل حرکت و به کارگیری راهبرد کنترل حرکت متفاوت است. دست برتر، حرکات را با حلقه بسته کنترل می‌کند (کنترل از طریق بازخورد بینایی) و دست غیربرتر حرکات را از طریق حلقه باز کنترل می‌کند (کنترل پیش‌خوراندی) (۴۷). دست چپ به زمان بیشتری برای محاسبه دقیق‌تر برنامه‌ریزی حرکت نیاز دارد و دست چپ بدون حضور بینایی، حرکت را بهتر از دست راست

-
1. Danion
 2. Hsieh
 3. Schmidt & Lee
 4. Wood Worth
 5. Mickevičienė
 6. Gutnik

کنترل می‌کند. دست راست زمان کمتری برای برنامه‌ریزی حرکت نیاز دارد؛ اما به‌ازای دقت کمتر (۴۲). شاید تسلط سمت چپ بدن بر کنترل نویزهای وابسته به سیگنال کمتر باشد که برای جبران این موضوع، مبادلهٔ هزینه- سود را محتاطانه در جهت افزایش دقت به قیمت از دست رفتن سرعت تغییر می‌دهد. این مورد می‌تواند راهبردی تطابقی برای دست غیربرتر باشد.

یافته‌های حاصل از علوم عصب‌شناختی نشان می‌دهد که با توجه به جانب‌برتری نیمکره‌ها و کنترل تکلیف، دو نیمکرهٔ مغز مسئول پردازش مؤلفه‌های مختلف به‌صورت اختصاصی هستند. نیمکرهٔ چپ، در درجهٔ اول مسئول کنترل زمانی و دائمی الگوهای حرکت (مانند کنترل حرکات پرتابی) و تنظیم دینامیک حرکت (یعنی کنترل نیرو) است؛ با این حال، جنبه‌های فضایی بصری حرکت و هماهنگی عمل (مانند کنترل موقعیت هدف) در نیمکرهٔ راست پردازش می‌شوند. این مطلب، بیشتر در راستای فرضیهٔ برتری پویای کنترل حرکتی است (۴۸). در این فرضیه بیان می‌شود که حرکات ارادی به‌وسیلهٔ دو نیمکرهٔ مغز- سیستم اندام که ویژگی‌های مختلف تکلیف را پایدار می‌کنند، به‌صورت اختصاصی کنترل می‌شوند (۵۰، ۴۹). در این راستا، تخصص سیستم دست راست- نیمکرهٔ چپ در کنترل پویایی مسیر شرح داده شده است؛ در حالی که سیستم دست چپ- نیمکرهٔ راست موقعیت نهایی حرکت را کنترل می‌کند (۵۲، ۵۱). به‌نظر می‌رسد که در ابتدای تمرین، سیستم دست راست- نیمکرهٔ چپ باعث بهتر شدن مهارت‌های حرکتی‌ای می‌شود که به تولید نیرو نیاز دارند و این‌گونه پویایی حرکت را کنترل می‌کند. از سوی دیگر، سیستم دست چپ- نیمکرهٔ راست سبب اکتساب بهتر مهارت‌هایی می‌شود که به هماهنگی بصری- فضایی و دقت زیاد نیاز دارند که علت آن پدیدار شدن بهتر یک حرکت در نیمکره‌ای خاص است (۴۵).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که دست‌برتری و دشواری در اجرای تکلیف مبادلهٔ سرعت- دقت بر توان موج آلفا در ناحیهٔ C3 قشری تأثیر ندارد. بین دو گروه راست‌دست و چپ‌دست در توان این موج در ناحیهٔ C3 تفاوت وجود نداشت؛ ولی در توان موج گاما بین دو تکلیف آسان و دشوار تفاوت معناداری وجود داشت؛ به‌طوری‌که مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که در تکلیف دشوار توان موج گاما بالاتر است. در توان موج گاما در این ناحیه، بین دست برتر و غیربرتر تفاوت وجود داشت، به‌طوری‌که در راست- دست‌ها در اجرای تکلیف با دست غیربرتر بالاتر است؛ ولی در چپ‌دست‌ها تفاوتی نبود. با توجه به اینکه در تکلیف دشوار در راست‌دست‌ها توان این موج بالاتر بود، می‌توان گفت که راست‌دست‌ها در انجام حرکت با دست غیربرتر نسبت به چپ‌دست‌ها بیشتر دچار مشکل هستند. در نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) در ناحیهٔ C3، در تکالیف آسان و دشوار و در هنگام اجرا با دست برتر و غیربرتر، تفاوتی وجود نداشت. همچنین، بین دو گروه راست‌دست و چپ‌دست در هیچ‌کدام از شرایط اجرا تفاوتی وجود نداشت. با توجه به اینکه موج گاما مرتبط با یکپارچگی حسی- حرکتی است، آشکار است که

نیازمندی به درگیری سیستم عصبی و به‌طور ویژه ناحیه حرکتی نیمکره چپ (C3) در راست‌دست‌ها، در انجام حرکت با دست غیربرتر نسبت به چپ‌دست‌ها در همین شرایط بیشتر است. شاید مشکلات بیشتر راست‌دست‌ها در اجرای تکلیف با دست غیربرتر به استفاده کمتر آن‌ها از این اندام برمی‌گردد. این مشکل در چپ‌دست‌ها مشاهده نشد. شاید این امر به دلیل استفاده بیشتر چپ‌دست‌ها از دست غیربرتر (راست) آن‌ها با توجه به فرهنگ عمومی و ساختار ابزارهای موجود در جامعه باشد؛ زیرا، اکثر ابزارها و تکالیف برای افراد راست‌دست طراحی شده‌اند که آن‌ها را وادار به استفاده از دست راست می‌کند. به‌طور کلی، هم با توجه به نتایج خروجی‌های دستگاه مبادله سرعت-دقت و هم داده‌های مغزی، به نظر می‌رسد که راست‌دست‌ها به شدت راست‌دست هستند؛ درحالی‌که چپ‌دست‌ها بیشتر افرادی دودست هستند. در پژوهش ون‌وین و همکاران (۱) مشاهده شد که تکلیف مبادله سرعت-دقت هم فعالیت خط پایه پایدار و هم فعال‌سازی مربوط به پاسخ ناپایدار در IPL چپ را تنظیم می‌کند. نتایج پژوهش آن‌ها، این دیدگاه را که قشر آهیانه‌ای با تکلیف مبادله سرعت-دقت در ارتباط است، تأیید می‌کند. جانب‌گیری سمت چپ مغز از ناحیه آهیانه‌ای که در پژوهش آن‌ها درگیر بود، هماهنگی بیشتری را با نقش قشر آهیانه‌ای چپ در «توجه» معطوف به حرکت، آشکار می‌کند (۱). این موضوع با درگیری ناحیه حرکتی چپ (C3) نسبت به ناحیه حرکتی راست (C4) در پژوهش حاضر، کاملاً هم‌خوانی دارد.

در توان موج آلفا، گاما و نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) در ناحیه C4، بین دو تکلیف ساده و دشوار صرف‌نظر از نوع اندام و راست‌دست و چپ‌دستی تفاوت وجود نداشت. همچنین، در توان این ریتم‌ها بین اجرا در شرایط تکلیفی ساده و دشوار تفاوت وجود نداشت. بین دو گروه راست‌دست و چپ‌دست در هیچ‌کدام از شرایط اجرا تفاوتی مشاهده نشد. در توان موج آلفا، گاما و نسبت توان موج تتا به بتا (T.B) در ناحیه F3، صرف‌نظر از دشواری تکلیف و راست‌دست و چپ‌دستی، بین دست برتر و غیربرتر تفاوت وجود نداشت. همچنین بین دو گروه راست‌دست و چپ‌دست، تفاوت وجود نداشت. بین اجرای حرکت با دست برتر و غیربرتر و نیز بین اجرا در شرایط تکلیفی ساده و دشوار تفاوتی وجود نداشت؛ اما در اجرای تکلیف، بین دو گروه راست‌دست و چپ‌دست در توان موج آلفا در ناحیه F4 (فورنتال راست) تفاوت مشاهده شد؛ به‌طوری‌که در گروه چپ‌دست، توان موج این موج آلفا در تکلیف دشوار نسبت به آسان بالاتر بود. در توان موج گاما در ناحیه F4، بین دو تکلیف ساده و دشوار، صرف‌نظر از نوع اندام و راست‌دست و چپ‌دستی تفاوت وجود داشت. همچنین، در توان این امواج در این ناحیه، بین دست برتر و غیربرتر تفاوت وجود داشت؛ به‌طوری‌که توان موج گاما در هنگام اجرا با دست غیربرتر بالاتر بود. در اجرای تکلیف آسان این تفاوت بیشتر بود. با توجه به تغییرات شدید در این ناحیه، به نظر می‌رسد که ناحیه فورنتال و به‌ویژه فورنتال یا پیشانی راست در تنظیمات فضایی و زمانی اجرای تکلیف

مبادله سرعت- دقت نقش مهمی ایفا می‌کند. بسیاری بر این عقیده هستند که ملزومات زمینه یا تکلیف در مبادله سرعت- دقت به وسیله قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی (DLPFC) فراهم می‌شود (۵۳). به نظر می‌رسد که این ناحیه به شدت در فرایندهای مربوط به «توجه» دخیل باشد؛ بدین صورت که فعال‌سازی بازنمایی‌های مربوط به تکلیف در قسمت‌های مغزی عقبی را افزایش می‌دهد (۵۴)؛ بنابراین، فرضیه ون‌وین و همکاران (۲۰۰۸) این بود که قشر پیش‌پیشانی خلفی- جانبی (DLPFC) مکانیزم‌های انباشت را که زمینه و اساس تکلیف مبادله سرعت- دقت هستند، تنظیم می‌کند. ون‌وین و همکاران (۱) دلایلی را به دست آوردند که نشان می‌دهند وقتی بر سرعت تأکید می‌شود، فعالیت خط پایه در شبکه‌ای از نواحی مربوط به تصمیم‌گیری و اجرا و آماده‌سازی پاسخ افزایش می‌یابد. وقتی که بر دقت تأکید شده باشد، این خط پایه پایدار با شدت کمتری فعال می‌شود. به عقیده آن‌ها، هنگام تأکید بر سرعت، فعال‌سازی کمتری برای رسیدن به آستانه پاسخ مورد نیاز است. بر طبق این نکته، به نظر می‌رسد که تأکید بر دقت، فعال‌سازی سطح بالاتری را فراخوانی می‌کند. جالب توجه است که علاوه بر نواحی پیش‌حرکتی لوب پیشانی، لوب آهیانه‌ای زیرین (IPL) چپ نیز به وسیله دستکاری‌های ون‌وین و همکاران (۱) در تکلیف مبادله سرعت- دقت تحت تأثیر قرار گرفت. دیدگاه غالب این است که نواحی آهیانه نماینده مسپردگی به محرک- پاسخ باشند (۵۵). ناحیه‌ای که با دستکاری ون‌وین و همکاران (۱) در تکلیف مبادله سرعت- دقت درگیر شده است، ممکن است به ناحیه درون- آهیانه‌ای جانبی (LIP) در نخستی‌های غیرانسان مربوط باشد. داده‌های زیادی هستند که نشان می‌دهند LIP در جمع‌آوری شواهد برای یک تصمیم حسی- حرکتی دخالت دارد (۵۶). افزایش فعالیت در نواحی مغزی با افزایش دشواری تکلیف به‌ویژه در دست غیربرتر افراد راست‌دست، با مطالعات تصویربرداری عصبی که نشان دادند SAT در پاسخ‌های پایه‌ای سطح بالاتر که با کاهش محدوده تصمیم‌گیری همراه است (دشواری بالاتر تکلیف)، با تغییرات و افزایش سطح فعالیت‌های عصبی در نواحی مرتبط با تصمیم‌ها همراه است (۲۷-۲۹، ۱)، هم‌خوانی دارد.

به نظر می‌رسد در تکالیفی که به‌طور هم‌زمان نیازمند دقت و سرعت هستند، هم خطای فضایی و هم خطای زمانی تحت تأثیر دشواری تکلیف قرار می‌گیرند. همچنین، خطای زمانی (میانگین وقفه) بیشتر تحت تأثیر دشواری تکلیف است تا دست‌برتری و اندام. نکته مهم دیگر این است که در اجرای تکالیف سرعت- دقت، افراد راست‌دست هنگام اجرا با دست غیربرتر بیشتر دچار مشکل هستند و فعالیت مغزی بیشتری را به‌ویژه در نواحی حرکتی نیمکره چپ فراخوانی می‌کنند. همچنین، به نظر می‌رسد که در اجرای تکلیف مبادله سرعت- دقت فیتز، نواحی حرکتی نیمکره چپ و فرونتال نیمکره راست مهم‌تر از سایر نواحی هستند.

تشکر و قدردانی

از مسئولین مدرسه قیصر امین پور شوشتر و شرکت‌کنندگان در پژوهش حاضر و همچنین متخصص ثبت و پالایش داده‌های EEG، نهایت سپاسگزاری را داریم.

منابع

1. Van Veen V, Krug MK, Carter CS. The neural and computational basis of controlled speed-accuracy tradeoff during task performance. *J. Cogn. Neurosci.* 2008;20(11): 1952-65.
2. Rozand V, Lebon F, Papaxanthis C, Lepers R. Effect of mental fatigue on speed-accuracy trade-off. *Neuroscience.* 2015; 297:219-30.
3. Schmidt RA, Wrisberg CA. Motor learning and performance: A situation-based learning approach. *Human Kinetics.* 4th ed. 2008. PP: 57-62.
4. Fitts, P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *J Exp Psychol.* 1954; 47:381-91.
5. Schmidt R A, Lee TD. Motor control and learning. 4th ed. Canada: Human Kinetics; 2005. PP. 145-9.
6. Lunardini F, Bertucco M, Casellato C, Bhanpuri N, Pedrocchi A, Sanger TD. Speed-accuracy trade-off in a trajectory-constrained self-feeding task: A quantitative index of unsuppressed motor noise in children with dystonia. *J Child Neurol.* 2015;30(12):1676-85.
7. Bhushan N, Shadmehr R. Computational nature of human adaptive control during learning of reaching movements in force fields. *Biol Cybern.* 1999; 81:39-60.
8. Meyer DE, Abrams RA, Kornblum S, Wright CE, and Smith J.K. Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. *Psychol Rev.* 1988; 95:340.
9. Smits-Engelsman BC, Rameckers EA, Duysens J. Children with congenital spastic hemiplegia obey Fitts' Law in a visually guided tapping task. *Exp Brain Res.* 2007;177(4):431-9.
10. Plamondon R, Alimi AM. Speed/accuracy trade-offs in target-directed movements. *Behav. Brain Sci.* 1997;20(02):279-303.
11. Danion F, Bongers RM, Bootsma RJ. The trade-off between spatial and temporal variabilities in reciprocal upper-limb aiming movements of different durations. *PLoS one.* 2014;9(5): 97447.
12. Moghadam A, Nabavi NM, Rezaeian F. Comparison of the effect of ipsilateral and contralateral eye-hand dominant on the accuracy of the free throwing of basketball players. *Quart J. Spo Scienc.* 2002;2(8):35-44.
13. Grouios G. Right hand advantage in visually guided reaching and aiming movements: brief review and comments. *Ergonomics.* 2206;49(10):1013-7.
14. Bagi J, Kudachi P, Goudar S. Influence of motor task on handedness. *AAJMBG.* 2011;4(1),87-91.

15. Rodrigues PC, Vasconcelos OB, João B, Barbosa, R. Manual asymmetry in a complex coincidence-anticipation task: Handedness and gender effects'. *J Latera*. 2008;14(4): 395-412.
16. Shadmehr R, Orban de Xivry J.-J., Xu-Wilson M, Shih T.-Y. Temporal discounting of reward and the cost of time in motor control. *J Neurosci*. 2010; 30:10507–16.
17. Rigoux L, Guigon E. A model of reward and effort-based optimal decision making and motor control. *PLoS Comput*. 2012;8: 1002716.
18. Young WB, Bilby GE. The effect of voluntary effort to influence speed. *J Strength Condition Res*. 1993; 7:172–8.
19. Green L, Myerson J. A discounting framework for choice with delayed and probabilistic rewards. *Psychol Bull*. 2004; 30:769-92.
20. Peternel L, Sigaud O, Babič J. Unifying speed-accuracy trade-off and cost-benefit trade-off in human reaching movements. *Front Hum Neurosci*. 2017 Dec 19;11:615.
21. Harris CM, Wolpert DM. Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*. 1998; 394:780–4.
22. Heitz RP, Schall JD. Neural mechanisms of speed-accuracy trade off. *Neuron*. 2012; 76:616–28.
23. Wong K.-F., Huk AC, Shadlen MN, Wang X.-J. Neural circuit dynamics underlying accumulation of time-varying evidence during perceptual decision making. *Front Comput. Neurosci*. 2007; 1:6; 71-81.
24. Ratcliff R, Cherian A, Segraves M. A comparison of macaque behavior and superior colliculus neuronal activity to predictions from models of two-choice decisions. *J Neurophysiol*. 2003;90,1392–407.
25. Ratcliff R, Hasegawa YT, Hasegawa RP, Smith PL, Segraves MA. Dual diffusion model for single-cell recording data from the superior colliculus in a brightness-discrimination task. *J Neurophysiol*. 2007; 97:1756–74.
26. Ding L, Gold JI. Caudate encodes multiple computations for perceptual decisions. *J Neurosci*. 2010; 30:15747–59.
27. Forstmann BU, Dutilh G, Brown S, Neumann J, von Cramon DY, Ridderinkhof KR, Wagenmakers EJ. Striatum and pre-SMA facilitate decision-making under time pressure. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2008 Nov 11;105(45):17538-42.
28. Forstmann BU, Anwander A, Schäfer A, Neumann J, Brown S, Wagenmakers E-J, Bogacz R, Turner R. Cortico-striatal connections predict control over speed and accuracy in perceptual decision making. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2010 Sep 7;107(36):15916-20.
29. Wenzlaff H, Bauer M, Maess B, Heekeren HR. Neural characterization of the speed-accuracy tradeoff in a perceptual decision-making task. *JNeurosci*. 2011; 31:1254–66.
30. Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9: 97-113.
31. Gazzaniga M, Ivry RB, Mangun GR. Cognitive neuroscience: The biology of the mind. New York: W. W. Norton & Company; 2013.
32. Leiser SC, Dunlop J, Bowlby MR, Devilbiss DM. Aligning strategies for using EEG as a surrogate biomarker: A review of preclinical and clinical research. *Biochem Pharmacol*; 2011;81:1408–21.

33. Polich J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neuro-physiol.* 2007; 118:2128–48.
34. Pfurtscheller G. Functional brain imaging based on ERD/ERS. *Vision Res.* 2001; 41:1257–60.
35. Stancák Jr. A, Pfurtscheller G. The effects of handedness and type of movement on the contralateral preponderance of rhythm desynchronisation. *Electroencephalogr. Clin Neurophysiol.* 1996; 99:174–82.
36. Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat Rev Neurosci.* 2001; 2:661–70.
37. Pollok B, Gross J, Müller K, Aschersleben G, Schnitzler A. The cerebral oscillatory network associated with auditorily paced finger movements. *Neuroimage.* 2005; 24:646–55.
38. Serrien D, Brown P. The functional role of interhemispheric synchronization in the control of bimanual timing tasks. *Exp Brain Res.* 2002;147:268–72.
39. Salenius S, Salmelin R, Neuper C, Pfurtscheller G, Hari R. Human cortical 40 Hz rhythm is closely related to emg rhythmicity. *Neurosci Lett.* 1996; 213:75–8.
40. Sanes JN, Donoghue JP. Oscillations in local field potentials of the primate motor cortex during voluntary movement. *Proc Natl Acad Sci.* 1993; 90:4470–4.
41. Senkowski D, Schneider TR, Foxe JJ, Engel AK. Crossmodal binding through neural coherence: Implications for multisensory processing. *Trends Neurosci.* 2008; 31: 401–9.
42. Asai T, Sugimori E, Tanno Y. Two agents in the brain: Motor control of unimanual and bimanual reaching movements. *PloS one*;2010;5(4): 10086.
43. Mickevičienė D, Motiejūnaitė K, Karanauskienė D, Skurvydas A, Vizbaraitė D, Krutulytė G, Rimdeikienė I. Gender-dependent bimanual task performance. *Medicina (Kaunas, Lithuania).* 2010;47(9):497-503.
44. Latash ML. Neurophysiological basis of movement. 2nd ed. *Hum Kinet.* 2008; 111-5.
45. 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. *J Later.* 2012;17(1):18-37.
46. Hsieh TY, Liu YT, Mayer-Kress G, Newell KM. The movement speed-accuracy relation in space-time. *Hum mov scien.* 2013;32(1):257-69.
47. Gutnik B, Skurvydas A, Zuoza A, Zuoziene I, Mickevičienė D, Alekrinskis, BA, et al. Influence of spatial accuracy constraints on reaction time and maximum speed of performance of unilateral movements. *Percept. Mot. Ski.* 2015;120(2):519-33.
48. Sainburg RL, Eckhardt RB. Optimization through lateralisation: The evolution of handedness. *Behav. Brain Res.* 2005; 28:611-2.
49. Sainburg RL, Kalakanis D. Differences in control of limb dynamics during dominant and non-dominant arm reaching. *J. Neurophysiol.* 2000; 83:2661-75.
50. Wang J, Sainburg RL. The dominant and non-dominant arms are specialised for stabilising different features of task performance. *Exp. Brain Res.* 2007; 178:565-70.
51. Sainburg, RL, Wang J. Interlimb transfer of visuomotor rotations: Independence of direct and final end position information. *Exp. Brain Res.* 2002; 145:437-47.
52. Wang J, Sainburg RL. Interlimb transfer of novel inertial dynamics is asymmetrical. *J. Neurophysiol.* 2004;92: 2149-54.

53. Miller EK, Cohen JD. An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu. Rev. Neurosci.* 2001; 24:167–202.
54. Egnor T, Hirsch, J. Cognitive control mechanisms resolve conflict through cortical amplification of task-relevant information. *Nat. Neurosci.* 2005; 8:1784–90.
55. Bunge SA, Hazeltine E, Scanlon MD, Rosen AC, Gabrieli JDE. Dissociable contributions of prefrontal and parietal cortices to response selection. *Neuroimage.* 2002; 17:1562–71.
56. Hanks TD, Ditterich J, Shadlen MN. Microstimulation of macaque area LIP affects decision-making in a motion discrimination task. *Nat. Neurosci.* 2006;9: 682–9.

استناد به مقاله

دوستان محمدرضا، فرزاد لیلا، صائمی اسماعیل. تأثیر دست‌برتری و دستکاری شاخص دشواری بر مؤلفه‌های رفتاری و عصبی اجرای تکلیف مبادله سرعت-دقت. رفتار حرکتی. زمستان ۱۳۹۷؛ ۱۰(۳۴): ۵۰-۱۲۱. شناسه دیجیتال: 10.22089/mbj.2019.6905.1757

Doustan M, Farzad L, Saemi E. The Effect of Handedness and Manipulation of Index of Difficulty on the Behavioral and Neural Components of Speed-Accuracy Trade Off. *MotorBehavior.* Winter 2019; 10 (34): 121-50. (In Persian). Doi: 10.22089/mbj.2019.6905.1757

The Effect of Handedness and Manipulation of the Index of Difficulty on the Behavioral and Neural Components of Speed-Accuracy Trade Off

M. Doustan¹, L. Farzad², E. Saemi³

1. Assistant Professor of Motor Behavior, Shahid Chamran University of Ahvaz*
2. Teacher of Physical Education in Education Department of Shoushtar, Shoushtar
3. Assistant Professor of Motor Behavior, Shahid Chamran University of Ahvaz

Received: 2019/01/05

Accepted: 2019/03/16

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effect of handedness and task difficulty on behavioral and neural components of speed-accuracy trade off. The study was a Quasi-experimental research and focused on fundamental research. The participants of this study consisted of 20 students aged 14 and 15 years old. The instrument was four-channel EEG, optical sensor with sensor, laptop, metronome, and Target-Tapping-Test software. Given the Edinburgh handedness questionnaire scores, participants were divided into two left-hand and right-hand groups. They performed the simple and difficult tasks in a 30s with dominant and non-dominant hands. At the same time, the behavioral output as output digits from the pen and tablet (spatial and temporal errors) and the EEG data from the brain regions. For data analysis, repeated measures ANOVA was used at the significance level of 0.05. The results showed that non-dominant limb is affected to the task difficulty than dominant hand, and has more spatial error. The handedness and task difficulty had no significant effect on the effective width of the target. In the non-dominant limb, the average interruption for difficult task was more than simple task. In the C3 region, the gamma wave power was higher in a difficult task than in an easy task, and in right-handed subjects was higher in the hand. In the F4 area, the power of the alpha wave was easy for left-hand people when performing difficult moves above the task. Seems, in tasks that require accuracy and speed, spatial and temporal errors are affected by the task difficulty and handedness, But the timing errors is more affected by the task difficulty than the handedness. It also seems that the left and right frontal lobe areas are more important than other areas in Fitz's task execution.

Keywords: Fitz's Task, Handedness, Task Difficulty, Brain Hemispheres.

* Corresponding Author

Email: mrdoostan@gmail.com