بررسی انتقال حرکت دودستی نامتقارن به حالت عکس آن: تحلیلی بر نظریه های حرکات دودستی

محمدرضا دوستان[۱]✉،کبری بویری[۲]، مریم زیلایی بوری[۲]، مهدی صیفوریان[۳]

۱- دانشجوی دکتری رفتار حرکتی دانشگاه تهران
۲- کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی
۳- عضو هیئت علمی دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت مقاله:۹۰/۸/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۱۱/۲۸

چکیده

هدف تحقیق: هدف پژوهش حاضرارزیابی انتقال حرکات نامتقارن دودستی به حالت عکس آن بود و مدل‌های مطرح شده در مورد حرکات همزمان دودستی، بویژه مدل برنامه حرکتی تعمیم یافته مورد بحث قرار گرفت. این پژوهش استقلال اندام مجری از حافظه حرکتی با استفاده از یک تحقیق انتقال را نشان می دهد. **روش تحقیق:** ابزار مورد استفادهاین تحقیق شامل دو دستگاه قلم نوری G-Note۷۱۰۰ که به دو دستگاه لپ‌تاپ با پورت USB اتصال می‌یافت، می‌باشد. آزمودنی‌های این تحقیق را دانشجویان رشته تربیت بدنی دانشگاه شهید چمران (تعداد ۲۸ نفر) تشکیل دادند که همگی راست دست بودند و تکلیف هماهنگی دودستی نامتقارن را تمرین می-کردند. نیمی از آزمودنی‌ها تکلیف را بصورت دست راست ستاره- دست چپ خط را تمرین می‌کردند و الگوی انتقال بصورت عکس تمرین بود. **نتایج:** نتایج تحقیق حاضر شواهدی قوی از انتقال مثبت حرکت هماهنگی دودستی کشیدن ستاره- خط، به حالت عکس آن رانشان داد. **بحث و نتیجه‌گیری:** انتقال مثبت بین اندامی در این تحقیق به تاثیر مثبت تجربه قبلی عملکرد مهارتی بوسیله اندام مجری دیگر اشاره دارد و بنابراین استقلال اندام مجری از حافظه حرکتی را نشان می دهد. این انتقال مثبت از نظریه برنامه حرکتی تعمیم یافته اشمیت و ماهیت مستقل مجری از بازنمایی حافظه‌ای برای مهارت‌های دودستی حمایت می کند. از نتایج تحقیقات مختلف به همراه تحقیق حاضر شاید بتوان چنین استنباط کرد که استقلال اندام مجری از حافظه حرکتی در حرکات هماهنگی دودستی به تفاوت در ویژگی‌های خاص حرکت دو دست بستگی دارد. این شواهد نشان می‌دهد که ارائه حرکتی، مستقل از اندام مجری است که نشان می‌دهد مهارت حرکتی را می‌توان به اندام‌های مجری متنوعی نسبت داد.

واژه های کلیدی: انتقال، هماهنگی دودستی، فرضیه استقلال اندام مجری

The study of Transfer of Asymmetrical Bimanual Movement to its Converse Pattern: Analysis on Bimanual Movements Theories

Abstract

Aim: The aim of this study was evaluating transfer of asymmetrical bimanual movement to its converse pattern, and introduced models of bimanual coordination movements, in particular generalized motor program model, were discussed. This research showed the effector independence of motor memory with one transfer research. **Materials and Methods**: The apparatus consisted of two note pads (G-Note 7100), that connected to two lab tops with USB. Twenty eight right-handed subjects participated in the experiment that practiced asymmetrical bimanual coordination task. **Results**: The present study provided powerful evidence for positive transfer of a bimanual star-line drawing pattern to the converse task assignment.

Conclusion: Interim positive transfer in this study indicates the beneficial effect of previous experience on the skill performance with another effector and, accordingly, suggests effector independence from motor memory. This positive transfer results support the Schmitt's generalized motor program theory and effector-independent nature of the acquired memory representation for bimanual skills. Based on different researches and present findings, we propose that effector-independent from motor memory in bimanual task is depend on difference between special characteristics in two hands movement. The results showed that the abstract motor representation is effector-independent, that is, the same skill can be assigned to various limbs.

Key words: transfer, bimanual coordination, effector-independent hypothesis

✉**نویسنده مسئول:** محمدرضا دوستان
دانشجوی دکتری رفتارحرکتی دانشگاه تهران،تلفن: ۰۹۱۲۷۳۵۱۹۷۷

E-Mail: mrdoostan@yahoo.com

مقدمه

انسان علاوه بر مهارت‌های هماهنگی یک دستی، دارای مهارت‌های بسیاری است که اجرای موفقیت آمیز آن‌ها بستگی به عملکرد همزمان دو دست دارد. بعضی اوقات دو دست ضرورتاً کار یکسانی انجام نمی‌دهد و هر اندام حرکات متفاوتی انجام می‌دهد بطوریکه الگوهای این حرکات از نظر فضایی و زمانی با یکدیگر متفاوت می‌باشند، نظیر استفاده از چاقو و چنگال، انجام حرکات در حین رانندگی و نواختن گیتار. مثلاً یک نوازنده گیتار در حالیکه برای آکوردگیری با یک دست سیم‌ها را نگه می‌دارد، برای تولید صدا با دست دیگر به سیم‌ها ضربه می‌زند و آن‌ها را به صدا در می‌آورد. تحقیقات نشان داده‌اند که حرکات دودستی متقارن و مشابه با ثبات و پایداری بالایی قابل انجامند (۱و۲). ویژگی مهم اجرای مهارت‌های دودستی این است که دو دست تمایل دارند که در یک زمان، کار یکسانی انجام دهند. معلمان و درمانگرهایی که از همزمانی دو دست آگاهند، توجه ویژه‌ای را که مردم باید صرف یادگیری مهارت‌هایی کنند که مستلزم حرکت اندام‌ها برای کارهای مختلف در یک زمان شوند، با اهمیت می‌دانند. همانطور که سوئینن و همکاران او خاطرنشان کردند(سوئین و همکاران ۱۹۹۰، والتر و سوئینن۱۹۹۲، لی، سوئینن و ورشون، ۱۹۹۵)، افراد می توانند همزمانی را تغییر دهند. اما این فرایند تغییر فرایندی مشکل است که نیاز به توجه بسیار زیاد به شرایط آموزشی و تمرینی دارد (۳، ۴ و۵).

تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که انجام دو تکلیف متفاوت با دو دست بصورت همزمان باعث تداخل دو جانبه می‌گردد، حتی هنگامی‌که دو دست بصورت جداگانه آن‌ها را به راحتی انجام می‌دهند (۶، ۷، ۲ و ۸). این مشاهدات نشان می‌دهد که سیستم عصبی مرکزی حرکات متقارن را به راحتی، اما حرکات نامتقارن همزمان را با قصور و محدودیت کنترل می کند. الگوهای تداخل جهتی، تمایل شدید سیستم عصبی مرکزی را در تولید حرکات متقارن مشابه یا هم جهت را نشان می‌دهد (۲، ۹ و ۴).

تلاش‌های زیادی در جهت مکان‌یابی آناتومیکی جایگاه کنترل کننده هماهنگی دودستی در مغز انجام گرفته است. بسیاری از مطالعات در بین تمام نواحی قشری به نقش اساسی ناحیه حرکتی مکمل[1] در هماهنگی دودستی اشاره دارد. انبوه ارتباطات بین نیمکره‌ای از ناحیه حرکتی مکمل الهام می‌گیرد و گمانه زنی‌های اولیه‌ای وجود دارد که این ناحیه به طور ویژه مختص هماهنگی دودستی باشد (۱۰، ۱۱). فعالیت عصبی در ناحیه حرکتی مکمل در طول تکالیف دودستی افزایش می‌یابد (۱۲، ۱۳). حتی افزایش فعالیت در این ناحیه، در حرکات دودستی نامتقارن نسبت به متقارن بیشتر گزارش شده است (۱۴، ۱۵). این ایده که ناحیه حرکتی مکمل مخصوص حرکات دودستی است زمانی قوت می‌گیرد که افزایش فعالیت در نورون‌های این ناحیه در طول حرکات دودستی، در حرکات یک دستی هر کدام از دست‌ها گزارش نشده است (۱۶، ۱۷). کاندیدای ذاتی مکان یک برنامه حرکتی، قشر حرکتی اولیه است. شواهد زیادی در مورد نقش قاطع قشر حرکتی اولیه در کدگذاری حرکتی وجود دارد (۱۸). با این وجود در حرکات دودستی اکثر تحقیقات به نقش برجسته قشر حرکتی نیمکره دگرسوی دست برتر اشاره داشته اند (۱۹، ۲۰).

تمایل شدید دو دست برای تولید حرکات مشابه از نظر فضایی- زمانی در حرکات دودستی، منجر به بوجود آمدن این فرضیه شده است که برای هر دو دست یک برنامه حرکتی وجود دارد. این فرضیه در قالب برنامه حرکتی تعمیم یافته مطرح شده است (۲۱). این نظریه در نظر دارد که حرکات با یک برنامه حرکتی در سیستم عصبی مرکزی و با پارامترهای حرکتی ارائه می‌شوند. در نظریه برنامه حرکتی تعمیم یافته[2]، یک برنامه حرکتی شکل اصلی حرکت را قبل از شروع آن تعیین می‌کند. اشمیت و همکارن (۱۹۷۹) پیشنهاد کردند این مفهوم در حرکات دودستی قابل کاربرد است و ممکن است یک برنامه حرکتی کنترل حرکات هر دو دست را بر عهده داشته باشد. این نظریه بیان می‌کند حتی زمانی که دست‌ها حرکات متفاوتی انجام می‌دهند، تنها یک برنامه حرکتی کنترل کننده حرکت است، هرچند پارامترهای ویژه هر اندام نسبت به دیگری متفاوت تعیین شده باشد (۲۲).

بر خلاف مدل برنامه حرکتی تعمیم یافته، مدل تداخل بین دستی[3] عموما بیان می‌کند که دو برنامه حرکتی مستقل

1-Supplementary Motor Area

2-Generalized Motor Program

3-Crosstalk model

برای دو دست وجود دارد (۲۳). این مدل به این اشاره دارد که درحالی‌که هر دست اصولاً بوسیله نیمکره دگرسو کنترل می‌شود، ولی نیمکره همسو نیز در یکپارچگی با دیگر نیمکره تاثیرگذار است.

جدیدترین مدلی که در زمینه هماهنگی دودستی مطرح شده، مدل نظری سیستم‌های پویا می‌باشد که محدودیت مدل‌های برنامه حرکتی تعمیم یافته و تداخل بین دستی را ندارد. در این مدل«ساختارهای هماهنگ» با هم (همکوشی ها[1]) در قالب عضلاتی که همه با هم به عنوان یک واحد عملکردی یگانه تجمع می‌یابند، عمل می‌کنند. ساختارهای هماهنگ مانند برنامه حرکتی تعمیم یافته، کارایی کدگذاری را با کاهش شمار درجات آزادی کنترل کننده‌ی مجزا، افزایش می‌دهند (۲۴) و همچنین برای توضیح تمایل زمانبندی هماهنگ حرکات دودستی مورد استفاده قرار می گیرد (۲۵). اکثر پدیده‌های رفتاری مشاهده شده در حرکات هماهنگی دودستی بوسیله چنین مدلی توضیح داده می‌شود.

در مدل‌های مطرح شده در مورد هماهنگی دودستی ناهمخوانی‌هایی وجود دارد. مدل سیستم‌های پویا با انعطاف‌پذیری بالایی که دارد به نحوی خود را از چالش رهانیده است. اما به روشی که دو مدل تداخل بین دستی و برنامه حرکتی تعمیم یافته ارائه می‌شوند، بطور ناسازگارانه‌ای در برابر هم قرار گرفته‌اند. مدل تعاملی جفت شدگی قوی بین برخی از پارامترهای حرکتی را توضیح نمی‌دهد و از آنجا که دو برنامه حرکتی را به دست‌ها اختصاص می‌دهد، اجازه کاهش شمار درجات آزادی کنترل شده را بصورت جداگانه نمی‌دهد. با توجه به اینکه مدل تعامل بین دستی دو برنامه حرکتی مجزا برای دو دست قائل می‌شود و از طرفی برنامه حرکتی دودستی با تمرین بهبود می‌یابد، به نظر می‌رسد تمرین یک حرکت دودستی نامتقارن نباید بهبود اجرای حرکت در حالتی که حرکات دو دست جابجا می‌شود را در پی داشته باشد. زیرا دو دست از برنامه حرکتی جداگانه‌ای که ارتباط زیادی با دست دیگر پیدا نمی‌کند برخوردارند. این درحالیست که مدل برنامه حرکتی تعمیم یافته برخلاف مدل تعامل بین دستی، تنها یک برنامه حرکتی برای دو دست در نظر می‌گیرد و از طرفی عضلات درگیر را جزء آماره‌ها که در این برنامه ممکن است تغییر کنند (۲۷ و ۲۶، ۲۲). بنابراین براساس این مدل انتقال حرکت دودستی به حالت عکس آن باید مثبت باشد. چرا که تنها اندام‌های مجری تغییر می کنند که اختلالی در برنامه حرکتی واحدی که حرکت را کنترل می کند، بوجود نمی‌آورد.

نظریه‌های رفتاری موجود که در مورد یادگیری حرکتی بحث می‌کنند، یک حافظه کارکردی مستقل از مجری[2]که ساختار مهارت را تشکیل می‌دهد در نظر می‌گیرند. نظریه برنامه حرکتی تعمیم یافته بیان می‌کند ارائه حرکتی صریح از اندام مجری مستقل است، که نشان می‌دهد مهارت حرکتی یکسان که برنامه حرکتی آن از قبل شکل گرفته را می‌توان با اندام‌های مجری متنوعی می‌توان اجرا کرد (۲۶). رویکردی که به طور تجربی استقلال اندام مجری از حافظه حرکتی را ارزیابی می‌کند، تحقیق انتقال است که در آن یک مهارت حرکتی جدید با یک سیستم مجری تمرین و متعاقب آن تکلیف مشابه با سیستم مجری دیگری که تمرین نکرده است، اجرا می‌کند. انتقال بین اندامی مثبت به این موضوع اشاره دارد که تجربه قبلی اجرای مهارت با یک سیستم مجری، بر اجرای آن با سیستم مجری جدید تاثیر مثبت دارد. بنابر این به استقلال اندام مجری از حافظه حرکتی اشاره دارد. در مقابل انتقال منفی به این اشاره دارد که اجرای مهارت مشابه با سیستم مجری دیگر، با تجربه قبلی دچار خراب‌تر می‌شود، که در این صورت اصلا نمی‌توان استقلال اندام مجری را مورد تایید قرار داد.

مطالعات یک دستی نشان داده است که بسیاری از مهارت های یک دستی، نظیر نوشتن، گرفتن، ضربه زدن و هدف گیری و حرکات متوالی انگشتان می‌تواند به راحتی از یک دست دیگر منتقل شود (۲۸ و ۲۶). این یافته‌ها به این اشاره دارد که اطلاعات مربوط به حرکت بین نیمکره‌ها معاوضه می‌شود. همچنین نشان می‌دهد که حافظه برای حرکت از اندام مجری مستقل است. مطالعات انتقال یک دستی انتقال مثبتی از یک اندام به اندام دیگر را نشان می‌دهند، درحالی‌که یافته های مربوط به حرکات دودستی نتایج متناقضی را در پی داشته است. زنون و کلسو (۱۹۹۷ و ۱۹۹۲) نشان دادند که یک حرکت دودستی که مستلزم حرکات باز شدن و جمع شدن انگشتان می‌باشد به جفت متقارن آن انتقال می یابد (۲۹ و ۳۰). همچنین کلسو و

1- Synergies

2-Effector-independence

زنون (۲۰۰۲) انتقال مثبتی را از بازوها به پاها و برعکس نشان دادند. این انتقال مثبت منجر به استقلال ذاتی سیستم مجری از بازنمایی حافظه‌ای برای تکالیف حرکتی می‌شود(۲۶). این یافته‌ها با نظریه برنامه حرکتی تعمیم یافته همخوانی دارد.

با این وجود ونگلو و سوینن (۲۰۰۴) شواهد محکمی در مورد انتقال منفی از یادگیری قبلی تکلیف هماهنگی دودستی به وضعیت جفت شدگی متقارن را نشان می‌دهند (۳۱). همچنین ونگلو و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از الگویی که در آن طوری تمرین می‌شد که حرکت دست چپ با سرعتی دو برابر سرعت دست راست می‌چرخید، انتقال به حالت عکس آن یعنی به نحوی که این بار حرکت دست راست با سرعتی دو برابر سرعت دست چپ می‌چرخید، مورد بررسی قرار دادند. نتایج یک انتقال منفی را نشان داد. این انتقال به تجدید نظر در مورد بازنمایی حرکتی که موضوع استقلالاندام مجری را مورد تایید قرار می‌دهد، منجر شد.

در این پژوهش انتقال حرکات نامتقارن دودستی به حالت عکس آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و به این سول پاسخ داده می‌شود که آیا این انتقال مثبت است یا منفی. همچنین این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد که انتقال دوسویه در حرکت دودستی نامتقارن در شرایط تمرین تکلیف دشوارتر با دست برتر به حالت عکس آن بیشتر است یا هنگامی که تکلیف دشوار که توجه بیشتری می‌طلبد، با دست غیربرتر تمرین می‌شود انتقال دوسویه بیشتر است.

روش اجرای تحقیق

این تحقیق از نوع نیمه تجربی است که با استفاده دو دستگاه از قلم نوری G-Note 7100 با مارک Genius مجهز به صفحه حسگر با دقت 2000LPI که به دو دستگاه لب تاپ با پورت USB اتصال می‌یافت و یک برنامه رایانه‌ای رقمی کننده که میزان انحراف از الگو را بر حسب درجه تبدیل به اعداد قابل تحلیل می‌نمود انجام شد. در این تحقیق آزمودنی‌ها هر الگوی حرکتی را باید همزمان با آهنگ صدای مترونوم انجام می‌دادند تا سرعت حرکت دست‌ها در هر دو دست و در آزمودنی‌های مختلف یکسان باشد و میزان خطا تحت تاثیر سرعت کم آزمودنی‌ها قرار نگیرد. آزمودنی‌های این تحقیق را دانشجویان رشته تربیت بدنی دانشگاه شهید چمران (تعداد ۲۸ نفر) تشکیل دادند که همگی راست دست و دارای دید طبیعی بودند. میانگین سنی آنها ۲۲/۳ سال بود و بصورت داوطلبانه در تحقیق شرکت کردند.

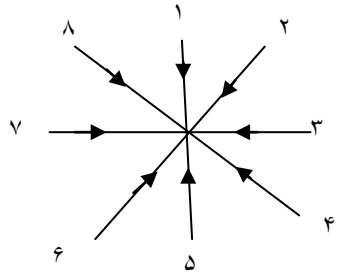
طرح تحقیق بصورت دو (دو نوع تمرین در قالب دو گروه تمرینی) در پنج (پنج آزمون در زمانهای مختلف) می‌باشد. عوامل درون گروهی عبارتست از ۵ آزمون که قبل و بعد از تمرین روز اول، قبل و بعد از تمرین روز دوم و تک آزمون روز آخر می‌باشند. عوامل بین گروهی نیز شامل نوع تمرین می‌باشد که گروه اول ستاره را با دست برتر و خط را با دست غیربرتر تمرین کرده‌اند در حالیکه گروه دوم بصورت عکس عمل کرده‌اند و ستاره را با دست غیربرتر و خط را با دست برتر تمرین کرده‌اند. بنابراین عوامل بین گروهی دارای دو سطح (دو نوع تمرین متفاوت) می‌باشد.

چون هیچکدام از آزمودنی‌ها در مورد حرکت مورد نظر تجربه قبلی نداشتند، به صورت تصادفی در دو گروه تمرینی قرار گرفتند. گروه اول تمرین تکلیف دو دستی نامتقارن را بصورتی انجام می‌دادند که تکلیف دشوار یعنی کشیدن ستاره را با دست برتر و تکلیف آسان را با دست غیربرتر تمرین می‌کردند (گروه a)، گروه دوم تمرین تکلیف دو دستی نامتقارن را بصورتی انجام می‌دادند که تکلیف دشوار یعنی کشیدن ستاره را با دست غیربرتر و تکلیف آسان را با دست برتر تمرین می‌کردند(گروه b). آن‌ها قبل از اجرای پیش آزمون توسط آزمونگر با موارد آزمون و با نحوه کشیدن هر یک از الگوها و هماهنگی با صدای مترونوم آشنایی پیدا کردند.

آزمون‌ها به این صورت بود که آزمودنی‌ها باید همزمان و هماهنگ با صدای مترونوم الگوی همزمان و نامتقارن کشیدن ستاره بوسیله قلم نوری در جهت عقربه‌های ساعت با دست راست به تعداد پنج دور و کشیدن خط افقی با دست چپ را بر روی صفحه دستگاه دیجیتالی رقمی کننده انجام دادند. در هر بار آزمون، از گروه a و b آزمون در دو حالت آزمون بصورت حرکت همزمان دو دست هم بصورت اولیه (دست راست ستاره- دست چپ خط) و هم بصورت برعکس (دست چپ ستاره- دست راست خط) به عمل آمد. آزمودنی‌ها با شنیدن صدای بوق کشیدن الگو را شروع و پس از ۴۰ ضربه مترونوم و پنج دور، با شنیدن صدای بوق پایانی کشیدن را متوقف می‌کردند.تمرینات در ۱۰ بلوک یک کوششی در دو روز متوالی انجام گرفت. بطوریکه هر

کوشش مشابه با آزمون در مدت زمان ۴۰ ضربه مترونوم انجام می‌شد. با این تفاوت که تمرینات بر روی صفحات A3 که الگو بر روی آن ترسیم شده بود و بدون استفاده از دستگاه دیجیتالی و کامپیوتر انجام شد. پس آزمون‌ها مشابه با پیش آزمون‌ها و پس از یک استراحت ۵ دقیقه‌ای گرفته شد. آزمون یادداری در فاصله ۲۴ ساعت پس از تمرین روز دوم به عمل می‌آمد. آزمون بصورت حرکت همزمان دو دست هم بصورت اولیه (دست راست ستاره- دست چپ خط) و هم بصورت عکس (دست چپ ستاره- دست راست خط) به عمل آمد.

همانطور که در شکل زیر مشاهده می شود برنامه طراحی شده بدین صورت بود که یک دست ستاره و دست دیگر خط افقی را هماهنگ با صدای مترونوم باید رسم می‌کرد که ستاره دارای ۸ جهت از بالا به پایین (خط عمودی شماره ۱)، خط مورب از سمت راست بالا به چپ پایین (خط شماره ۲)، خط افقی از راست به چپ (خط شماره ۳)، خط مورب از راست پایین به چپ بالا (خط شماره ۴)، خط عمودی از پایین به بالا (خط شماره ۵)، خط مورب از چپ پایین به راست بالا (خط شماره ۶)، خط افقی از چپ به راست (خط شماره ۷)، و خط مورب از چپ بالا به راست پایین (خط شماره ی ۸) بود در حالیکه دست دیگر فقط خط افقی ترسیم می‌نمود. نرم افزار طوری طراحی شده بود که انحراف از الگوی تعیین شده را به صورت اختلاف درجه با خط الگو (میزان خطا از الگو) نشان می داد. این برنامه هم میانگین خطای کل ستاره و هم تک تک خطوط را به ما می داد. در سنجش خطای ستاره از میانگین خطای همه خطوط ستاره استفاده شده است. برای تحلیل آماری داده‌ها از تحلیل واریانس با اندازه گیری‌های تکراری در سطح معنی داری ۰/۰۵ با استفاده از نرم افزار آماری spssنسخه ۱۸ استفاده شد.



یافته‌های تحقیق

یافته های مربوط به اکتساب

با توجه به نتایج آزمون اثرات درون گروهی تحلیل واریانس با اندازه گیری‌های تکراری (جدول ۱)، برای ترسیم ستاره در شرایط مشابه تمرین (اکتساب و یادداری)، اثر عامل زمان معنی‌دار می‌باشد (f =۱۴/۳۵۹ ،df= ۴ ، p= ۰/۰۰۱)؛ بدین معنا که تمرینات بر کاهش میزان خطای ترسیم خط افقی اثر معنی‌داری داشته است. برای بررسی جایگاه تفاوت‌ها از آزمون پیگردی بونفرونی استفاده شد که نتایج در نیمه بالایی جدول ۲ آمده است. همچنین اثر معنی داری برای گروه ملاحظه شد (p= ۰/۰۰۳، df= ۱ f=۱۰/۹۲۲)؛ بنابراین تمرینات بر میزان خطای ترسیم ستاره تاثیر گذار بوده است و این تاثیر در بین دو گروه تمرینی متفاوت بوده است که با مراجعه به آمار توصیفی ملاحظه می شود که گروه دوم بهتر عمل کرده است. بدین معنا که کاهش خطا بیشتر بوده است (۳۴/۰۱ در برابر ۱۸/۴۲۰ درجه). همچنین اثر تعاملی معنی داری (زمان X گروه) نیز مشاهده شد(f= ۲/۴۷۰ ، p= ۰/۰۴۹). بنابراین در آزمون‌های به عمل آمده بین دو گروه تمرینی تفاوت وجود دارد، که برای بررسی تفاوت بین دو گروه در پنج آزمون، آزمون t مستقل به عمل آمد و با توجه به تصحیح بونفرونی تفاوت‌های آماری مورد تفسیر قرار گرفت. (به ترتیب p1=۰/۰۰۵ ، p2= ۰/۱۳۴، p3= ۰/۲۶۱، p4= ۰/۰۱۳ ، p5=۰/۰۶۴، که نتایج آن با توجه به آلفای تصحیح شده (α=۰/۰۱) نشان می‌دهد تنها در آزمون اول بین دو گروه تفاوت معنی دار وجود دارد).

همچنین نتایج آزمون درون گروهی برای ترسیم خط افقی در شرایط مشابه تمرین، نیز نشان داد که اثر عامل زمان معنی دار می‌باشد (p= ۰/۰۰۱ ، df=۱/۸۵۴، f= ۱۰/۰۲۲)؛بدین معنا که تمرینات بر کاهش میزان خطای ترسیم خط افقی اثر معنی داری داشته است. نتایج آزمون پیگردی بونفرونی در نیمه پایین جدول ۲ آمده است. بعلاوه اثر معنی داری برای گروه ملاحظه نشد (df=۱، p=۰/۲۰۷ f= ۱/۶۷۴)؛ بنابراین تمرینات بر میزان خطای ترسیم ستاره تاثیر گذار بوده است، اما این تاثیر در بین دو گروه تمرینی تفاوتی نداشته است. همچنین اثر تعاملی معنی داری (زمان X گروه) ملاحظه نشد (p=۰/۲۳۷، f=۱/۴۰۵).

جدول۱. نتایج آزمون تحلیل واریانس عاملی با اندازه گیری‌های مکرر برای ترسیم ستاره و خط در شرایط مشابه تمرین (اکتساب ویادداری)

	شاخص آماری / منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	نسبت F	سطح معنی داری
ترسیم ستاره	عامل	۱۰۵۴۴/۱۸۶	۴	۲۶۳۶/۰۴۶	۱۴/۳۵۹	*۰/۰۰۱
	عامل در گروه	۱۸۱۳/۹۵۷	۴	۳۰۲/۳۲۶	۲/۴۷۰	*۰/۰۴۹
	گروه	۳۲۴۴/۸۲۹	۱	۳۲۴۴/۸۲۹	۱۰/۹۲۲	*۰/۰۰۳
ترسیم خط	عامل	۹۸۱/۳۱۴	۱/۸۵۴	۵۲۹/۳۳۳	۱۰/۰۲۲	*۰/۰۰۱
	عامل در گروه	۱۳۷/۶۰۰	۱/۸۵۴	۷۴/۲۲۳	۱/۴۰۵	۰/۲۳۷
	گروه	۵۷۶/۱۱۴	۱	۵۷۶/۱۱۴	۱/۶۷۴	۰/۲۰۷

جدول ۲. آزمون پیگردی بونفرونی برای بررسی جایگاه تفاوت‌ها در میزان خطای ترسیم ستاره و خط در آزمون‌های اکتساب و یادداری

			آزمون اول	آزمون دوم	آزمون سوم	آزمون چهارم	آزمون پنجم
ترسیم ستاره	روز اول	آزمون اول					
		آزمون دوم	۰/۲۴۳				
	روز دوم	آزمون سوم	۰/۲۱۱	۱/۰۰۰			
		آزمون چهارم	*۰/۰۰۹	۰/۹۵۴	۱/۰۰۰		
	روز سوم	آزمون پنجم	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	۰/۱۲۸	
ترسیم خط	روز اول	آزمون اول					
		آزمون دوم	*۰/۰۰۳				
	روز دوم	آزمون سوم	*۰/۰۰۸	۱/۰۰۰			
		آزمون چهارم	*۰/۰۴۴	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰		
	روز سوم	آزمون پنجم	*۰/۰۰۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	

یافته‌های مربوط به انتقال

با توجه به نتایج آزمون اثرات درون گروهی تحلیل واریانس با اندازه گیری‌های تکراری (جدول ۳)، برای ترسیم ستاره در شرایط عکس تمرین (انتقال)، اثر عامل زمان معنی دار می باشد (f= ۱۱/۱۲۹ ،df= ۲/۸۴۰ ، p= ۰/۰۰۱)؛ بدین معنا که تمرینات بر کاهش میزان خطای ترسیم ستاره در آزمون انتقال اثر معنی داری داشته است (جدول ۳). نتایج آزمون پیگردی بونفرونی در نیمه بالایی جدول ۴ آمده است.همچنین اثر معنی داری برای گروه ملاحظه شد (f= ۹/۲۵۱ df=۱، p= ۰/۰۰۵)؛ بنابراین تمرینات بر میزان خطای ترسیم ستاره در آزمون انتقال تاثیر گذار بوده است و این تاثیر در بین دو گروه تمرینی متفاوت بوده است که با مراجعه به آمار توصیفی ملاحظه می‌شود که گروه دوم بهتر عمل کرده و کاهش خطا بیشتر بوده است (۳۴/۰۱ در برابر ۱۸/۴۲۰ درجه). همچنین اثر تعاملی معنی‌داری (زمان در گروه) ملاحظه شد (f=۴/۲۷۲ ،df=۲/۸۴۰ ، p= ۰/۰۰۹)؛ بدین معنا که در پنج آزمون به عمل آمده بین دو گروه تمرینی تفاوت وجود دارد. برای بررسی جایگاه این تفاوت‌ها بین دو گروه در پنج آزمون مربوط به انتقال، آزمون tمستقل به عمل آمد و با توجه به تصحیح بونفرونی تفاوت

های آماری مورد تفسیر قرار گرفت(به ترتیب p1=۰/۹۶۰، p2= ۰/۲۲۵، p3= ۰/۵۳۹، p4= ۰/۰۱۶، p5=۰/۲۶۸)، که نتایج آن با توجه به آلفای تصحیح شده (α=۰/۰۱) نشان می‌دهد در هیچکدام از مقایسه‌ها تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود).

همچنین نتایج آزمون درون گروهی برای ترسیم خط افقی نیز نشان داد که اثر عامل زمان معنی‌دار می‌باشد (p= ۰/۰۰۱ ، df=۲/۷۹۸، f= ۱۹/۸۳۲)؛ بدین معنا که تمرینات بر کاهش میزان خطای ترسیم خط افقی در آزمون انتقال اثر معنی‌داری داشته است. نتایج آزمون پیگردی بونفرونی در نیمه پایین جدول ۴ آمده است.

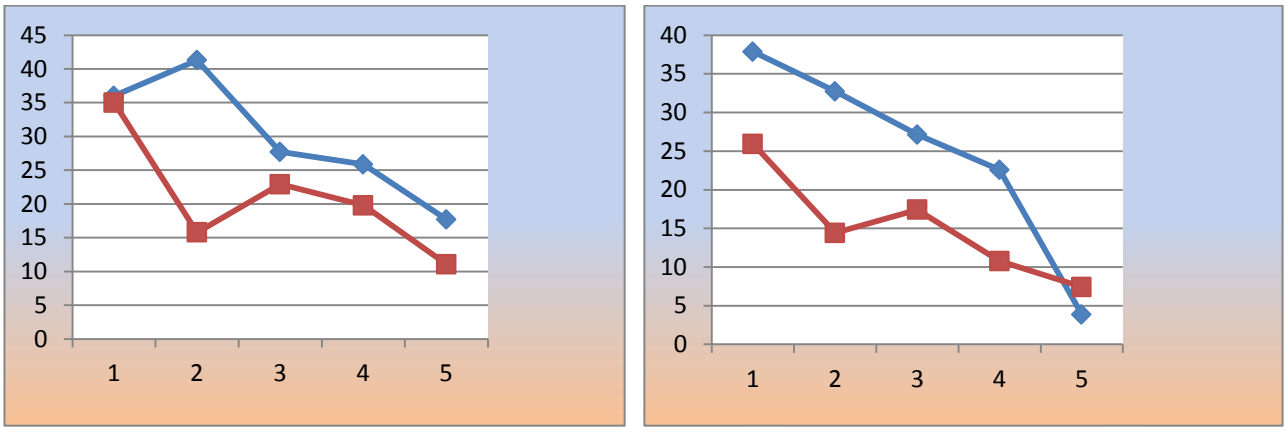
همچنین اثر تعاملی معنی داری (زمان X گروه) ملاحظه نشد (p= ۰/۵۱۷، f= ۰/۷۵۱). بنابراین در پنج آزمون مربوط به انتقال، بین دو گروه تمرینی تفاوتی وجود نداشته است (جدول ۳). در حالیکه اثر معنی‌داری برای گروه ملاحظه نمی‌شود (df=۱،p= ۰/۹۲۳) ترسیم ستاره در شرایط عکس تمرین (انتقال)(f=۰/۰۰۹)؛ بنابراین تمرینات بر میزان خطای ترسیم خط در آزمون انتقال تاثیر گذار بوده است، اما این تاثیر در بین دو گروه تمرینی تفاوتی نداشته است (جدول ۳).

جدول۳. نتایج آزمون تحلیل واریانس عاملی با اندازه گیری‌های مکرر برای ترسیم ستاره و خط در شرایط عکس تمرین (انتقال)

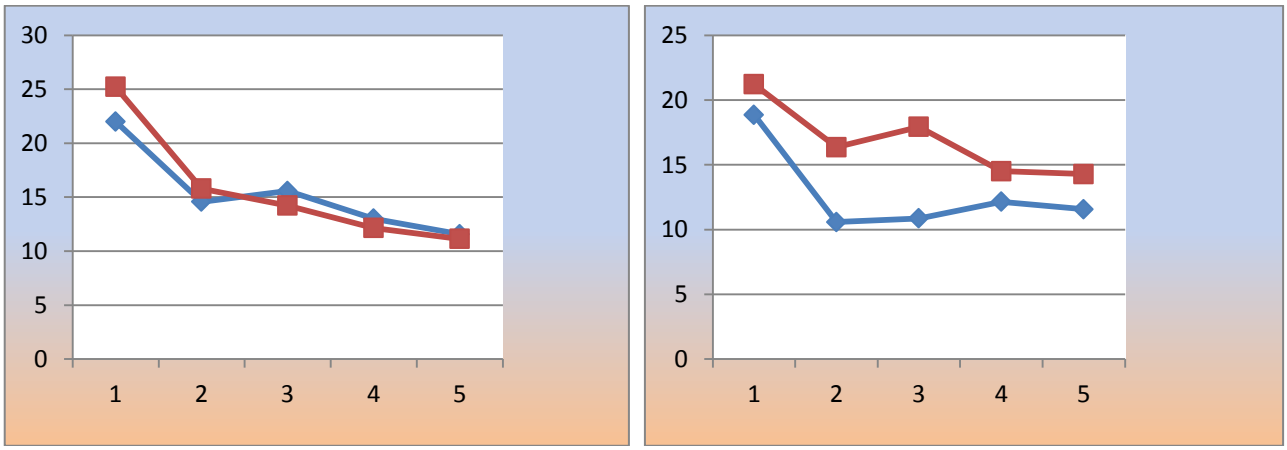
	شاخص آماری / منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	نسبت F	سطح معنی داری
ترسیم ستاره	عامل	۶۷۰۹/۳۱۴	۲/۸۴۰	۲۳۶۲/۱۰۶	۱۱/۱۲۹	٭۰/۰۰۱
	عامل در گروه	۲۵۷۵/۶۰۰	۲/۸۴۰	۹۰۶/۷۷۵	۴/۲۷۲	٭۰/۰۰۹
	گروه	۲۷۱۰/۴۰۰	۱	۲۷۱۰/۴۰۰	۹/۲۵۱	٭۰/۰۰۵
ترسیم خط	عامل	۲۵۷۴/۱۸۶	۲/۷۹۸	۹۱۹/۹۸۶	۱۹/۸۳۲	٭۰/۰۰۱
	عامل در گروه	۹۷/۵۰۰	۲/۷۹۸	۳۴/۸۴۵	۰/۷۵۱	۰/۵۱۷
	گروه	۴/۴۶۴	۱	۴/۴۶۴	۰/۰۰۹	۰/۹۲۳

جدول ۴. آزمون پیگردی بونفرونی برای بررسی جایگاه تفاوت‌ها در میزان خطای ترسیم ستاره و خط در آزمون‌های انتقال

			آزمون اول	آزمون دوم	آزمون سوم	آزمون چهارم	آزمون پنجم
ترسیم ستاره	روز اول	آزمون اول					
		آزمون دوم	۰/۱۶۲				
	روز دوم	آزمون سوم	۰/۰۵۸	۱/۰۰۰			
		آزمون چهارم	٭۰/۰۱۳	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰		
	روز سوم	آزمون پنجم	٭۰/۰۰۱	٭۰/۰۰۱	۰/۰۷۲	۰/۱۳۸	
ترسیم خط	روز اول	آزمون اول					
		آزمون دوم	٭۰/۰۰۱				
	روز دوم	آزمون سوم	٭۰/۰۰۱	۱/۰۰۰			
		آزمون چهارم	٭۰/۰۰۱	۰/۷۳۷	۱/۰۰۰		
	روز سوم	آزمون پنجم	٭۰/۰۰۱	۰/۰۸۱	۰/۲۳۸	۱/۰۰۰	



نمودار۱ . نمودارهای تغییرات خطای ترسیم ستاره در شرایط اکتساب (نمودار سمت راست) و انتقال (نمودار سمت چپ) برای آزمودنی-های هر دو گروه تمرینی بصورت جداگانه (مربع بزرگ مربوط به گروه اول و مربع کوچک مربوط به گروه دوم می‌باشد)



نمودار۲ . نمودار تغییرات خطای ترسیم خط افقی در شرایط اکتساب (نمودار سمت راست) و انتقال (نمودار سنت چپ) برای آزمودنی-های هر دو گروه تمرینی بصورت جداگانه (مربع بزرگ مربوط به گروه اول و مربع کوچک مربوط به گروه دوم می‌باشد)

بحث و نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تمرین حرکت دودستی نامتقارن باعث یادداری و در نتیجه یادگیری مناسبی می‌شود. به عقیده ونگلو و سوینن (۲۰۰۴) سیستم عصبی مرکزی در کنترل حرکات متفاوت جفت شده دچار محدودیت است که در تولید حرکات دودستی می‌توان با تمرین بر این محدویت‌ها غلبه کرد (۲۸). به طور قابل توجهی مطالعات یادگیری نشان داده‌اند که تمرین دودستی، تداخل جهتی را کاهش می‌دهد (۳۲ و ۵). برعکس تمرین یک دستی، تداخل فضایی (۸) و زمانی (۱۰ و۱۱) حرکت همزمان دودستی نامتقارن را کاهش نمی‌دهد، که نشان می‌دهد مهارت دودستی در اثر تمرین دودستی بهبود می‌یابد. انجام حرکات متفاوت همزمان با دو اندام نیازمند جلوگیری از تمایل دو اندام به سمت حرکت متقارن و مشابه، به منظور یادگیری حرکت جداگانه دو اندام راست و چپ می‌باشد (۲۸). نیکول وندروث و همکاران (۲۰۰۳) بر اساس نتایج تحقیق خود بیان می‌کنند که آموزش دودستی به میزان زیادی تداخل فضایی را کاهش می‌دهد. بنابراین نتیجه‌گیری کردند که پیوند فضایی دست‌ها با یک روش انعطاف ناپذیر عملی نمی‌شود، بلکه ارتباط عصبی زیربنایی در معرض تمرین انعطاف پذیر تحریک می‌شود (۳۳). ونگلو و همکاران (۲۰۰۶) بیان می-کنند که بازنمایی های حرکتی بویژه هنگامی که تکالیف شبیه هم باشند اما عینا یکی نباشند، ممکن است بطور موقتی در مراحل اولیه اکتساب مهارت با یکدیگر تداخل کنند. فراهم کردن تمرین کافی برای یادگیری در تفکیک

این بازنمایی‌ها و ممانعت از شروع نامناسب در راه اندازی حرکت ضروری هستند.

از نتایج مهم و قابل توجه این تحقیق این بود که انتقال مثبتی در حرکت همزمان دودستی به حالت عکس آن صورت می‌گیرد که این انتقال به اینکه فرد تکلیف دشوار را با کدام دست انجام می‌دهد، ارتباط چندانی ندارد. این موضوع نظریه برنامه حرکتی تعمیم یافته و فرضیه مستقل بودن برنامه حرکتی از اندام مجری را مورد تایید قرار می‌دهد. در حالیکه این یافته بر خلاف نظریه تداخلی هماهنگی دودستی می‌باشد. چرا که این نظریه دو برنامه حرکتی مجزا برای دو دست در نظر می‌گیرد که جابجایی آنها در دو دست باید در حداقل یک سطح از برنامه حرکتی باعث تداخل شود.در عوض نظریه برنامه حرکتی تعمیم یافته یادگیری حرکتی را به عنوان ارائه‌ای از یک ساختار حافظه ای مجزا (نظیر برنامه حرکتی) در نظر می‌گیرد که اجازه می‌دهد یک اندام مجری با یک مهارت آموخته شده با تغییر ملزومات محیطی سازگار شود (۲۸). این ارائه مرکزی حرکتی فرضیه استقلال از اندام مجری را که بیان می‌کند تکالیف حرکتی می‌توانند با اندام‌های مجری متفاوتی انجام شود (۲۸) را تایید می‌کند و انتقال حرکت هماهنگی دودستی به حالت عکس آن را مورد تایید قرار می‌دهد. این مفهوم در حرکات دودستی با حرکات یک دستی متفاوت به نظر می‌رسد.

با این وجود این یافته با نتایج تحقیق ونگلو و سوینن (۲۰۰۴) که شواهد محکمی در مورد انتقال منفی از یادگیری قبلی تکلیف هماهنگی دودستی به وضعیت جفت شدگی متقارن را نشان دادند (۳۱)، همخوانی ندارد. آن‌ها استدلال می‌کنند که ارتباط پنهان ویژه‌ای از نظر فضایی- زمانی بین دو اندام وجود دارد که جنبه زمانی تکلیف هماهنگی بسیار دشوار است که ممکن است در نتایج متناقض آن با تحقیقات دیگر دخیل باشد. این نتایج متناقض اشاره به این دارد که انتقال بین نیمکره‌ای به نظر می‌رسد به ویژگی‌های خاص تکلیف دودستی بستگی دارد. همچنین با نتایج تحقیق ونگلو و همکاران (۲۰۰۶) که انتقالی منفی را در حرکت دودستی که در آن حرکت دست چپ با سرعتی دو برابر سرعت دست راست می‌چرخید به حالت عکس آن، را نشان دادند (۲۶) همخوانی نداشت. این در حالی است که نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهش سافی ونگلو و همکاران (۲۰۰۴) که انتقال مثبت میان اندامی در تکلیف هماهنگی دودستی را گزارش کردند همخوانی داشت. آنها در این مورد بیان می‌کنند یادگیری تفکیک فضایی حرکت دو اندام در شرایط حرکتی متفاوت تعمیم پذیر است که این موضوع نشان می دهد که ماهیت ارائه تکلیف تداخل فضایی به میزان زیادی از اندام مجری مستقل است (۳۴).

در حرکت هماهنگی دودستی تحقیق حاضر حرکات دو دست از نظر زمانی شبیه بودند و تنها از نظر فضایی تفاوت داشتند به همین دلیل به نظر می‌رسد آزمودنی‌ها برای غلبه بر تداخل موجود مشکل زیادی نداشتند. از نتایج تحقیقات مختلف به همراه تحقیق حاضر شاید بتوان چنین استنباط کرد که استقلال اندام مجری از حافظه حرکتی در حرکات هماهنگی دودستی به تفاوت در ویژگی‌های خاص حرکت دو دست بستگی دارد. به نظر می‌رسد تفاوت در سرعت حرکت دست‌ها و برخی ویژگی‌های فضایی از ویژگی‌هایی هستند که غلبه بر آن دشوار بوده و شاید مستقل از اندام نمی‌باشد. درحالیکه اگر حرکت دست‌ها از نظر زمانی و فضایی یکسان باشد و تفاوت تنها در جهت حرکت دست‌ها باشد (نظیر پژوهش حاضر)، انتقال مثبتی صورت می‌گیرد و بنابراین برنامه حرکتی می‌تواند مستقل از اندام مجری باشد. با توجه به اینکه تحقیقات بسیار اندکی در این زمینه انجام شده است، به نظر می‌رسد برای مشخص کردن ویژگی‌های حرکتی مستقل از مجری و ویژگی‌های وابسته به مجری در حرکات هماهنگی دودستی به پژوهش‌های بیشتری نیاز است.

در همین راستا ونگلو و همکاران (۲۰۰۶) فرض می‌کنند که حافظه حرکتی احتمالا به عنوان ساختار مرتبه‌ای دو لایه‌ای شامل یک سطح اندام مجری- مستقل و یک سطح اندام مجری- وابسته در نظر گرفته می‌شود. کد انتزاعی ویژگی-های عمومی حرکت (مانند سازماندهی زمانی- فضایی) را ارائه می‌کند. درحالیکه بازنمایی ویژه به جنبه های مربوط به اندام مجری در فرامین حرکتی (نظیر هم کوشی های عضلانی ویژه) اشاره دارد(۲۶). منفعت این نوع مفهوم سازی این است که می‌تواند هم انتقال مثبت و هم انتقال منفی را در سیستم‌های مجری تفسیر کند. این دیدگاه با مطالعات

عصب شناسی در انواع گونه‌های حیوان و انسان می‌باشد، اما نیاز به تجدید نظری در نظریه‌های رفتاری یادگیری و حافظه حرکتی دارد.

در طول اجرای حرکات دستی نیمکره مخالف فعالیت بیشتری دارد. اما چگونگی این فعالیت در طول یادگیری حرکتی ناشناخته مانده است (۳۵). اسکات و همکاران (۲۰۰۲) توالی پنهان یادگیری حرکتی با دست غیر برتر چپ را بوسیله عکسبرداری از مغز در طول تکلیف زمان واکنش سریالی[1] مورد بررسی قرار دادند. در طول یادگیری فعالیت در قشر پیش حرکتی مغز افزایش یافت که در طول یادگیری حرکات دست راست افزایش معنی دارتری در قشر مکمل حرکتی و پیش حرکتی[2] سمت چپ مشاهده شد، که نشان می‌دهد که این ناحیه هدایت کننده اصلی اندام مجری می‌باشد. اما به نظر می‌رسد این موضوع در طول حرکات دودستی، متفاوت از حرکات یک دستی باشد. یوهاکو ماکیا و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش خود به این نتیجه رسید که در طول حرکات همزمان دودستی نامتقارن، حرکت دست راست (قشر حرکتی اولیه سمت چپ) نسبت به حرکت دست چپ (قشر حرکتی اولیه سمت راست) نقش برجسته‌تری دارد. درحالیکه در حرکات موازی یا در حین استراحت تفاوتی مشاهده نشد. این فعل و انفعالات بین نیمکره‌ای نامتقارن از قشر حرکتی اولیه سمت چپ به قشر حرکتی اولیه سمت راست در طول حرکات دودستی متقارن ممکن است نشان دهنده تداخل سطح قشری باشد که پایداری حرکات دودستی متقارن را در پی دارد (۱۹).

به نظر می‌رسد ویژگی‌های مختلف یادگیری در بخش‌های متفاوتی از مغز رمزگذاری می شود. شواهد قابل توجهی نشان می‌دهد که در حرکات هماهنگی دودستی نامتقارن، «جهت» پارامتر حرکتی مهمی است که در قشر حرکتی و پیش حرکتی و گیجگاهی نیمکره دگرسو(۳۶) و همچنین همسو (۳۷) رمزگذاری و ذخیره می‌شود. توالی یادگیری بیشتر به عقده‌های قاعده‌ای و جریانات ناحیه حرکتی میانی وابسته است، درحالیکه تطابق یادگیری بیشتر به نواحی مخچه و آهیانه‌ای وابسته است. البته در انتقال یک تکلیف حرکتی فضایی به اندام مخالف که به سازگاری حسی-حرکتی نیاز دارد، در همه بخش‌های مغز یک همپوشانی وجود دارد (۳۸). ویژگی‌های فضایی احتمالا بین دو نیمکره در طول بخش‌های خلفی جسم پینه‌ای معاوضه می‌شوند (۳۹ و ۴۰). نوزاکی و اسکات (۲۰۰۹) انتقال جزئی یادگیری حرکتی را مربوط به روی هم افتادگی متناظر ولی جزئی در فرایندهای کنترل عصبی در طول این رفتارها می‌داند (۴۱). انتقال مثبت تکلیف هماهنگی دودستی که در تحقیق حاضر نشان داده شد می‌تواند با تحقیقاتی که هماهنگی دودستی را در نتیجه تعامل هر دو نیمکره مغز در حرکات هر دو دست می‌دانند، همسو باشد.همچنین تحقیقاتی که در حرکات دودستی به نقش برجسته‌تر قشر حرکتی نیمکره دگرسوی دست برتر اشاره داشته‌اند (۱۹ و ۲۰) را می‌تواند مورد تایید قرار دهد. زیرا در واقع هر دو نیمکره مغز را به عنوان یک واحد سازمان‌دهنده برای حرکت هر دو دست در نظر می‌گیرند که با جابجایی حرکات دو دست، خللی در برنامه حرکتی، که در هر صورت نقش نیمکره برتر (عموما چپ) بیشتر است، بوجود نمی‌آید.

[1]- Serial Reaction Time
2-Premotor cortex

منابع

1-W.D. Byblow, J.J. Summers, A. Semjen, I.J. Wuyts and R.G. Carson, Spontaneous and intentional pattern switching in a multisegmental bimanual coordination task. *Motor Control* 3 4 (1999), pp. 372–393.

2-A. Semjen, J.J. Summers and D. Cattaert, Hand coordination in bimanual circle drawing.*J. Exp. Psychol.—Hum. Percept. Perform.* 21 5 (1995), pp. 1139–1157.

3-S.P. Swinnen, Intermanual coordination: from behavioural principles to neural-network interactions. *Nat. Rev. Neurosci.* 3 5 (2002), pp. 348–359.

4-S.P. Swinnen, K. Jardin, S. Verschueren, R. Meulenbroek, L. Franz, N. Dounskaia*et al.*, Exploring interlimb constraints during bimanual graphic performance: effects of muscle grouping and direction. *Behav. Brain Res.* 90 1 (1998), pp. 79–87.

5-S.P. Swinnen, D.E. Young, C.B. Walter and D.J. Serrien, Control of asymmetrical bimanual movements. *Exp. Brain. Res.* 85 1 (1991), pp. 163–173.

6-S.T. Klapp, J.M. Nelson and R.J. Jagacinski, Can people tap concurrently bimanual rhythms independently?.*J. Mot. Behav.* 30 (1998), pp. 301–322.

7-S. Kurtz and T.D. Lee, Part and whole perceptual-motor practice of a polyrhythm.*Neurosci.Lett.* 338 3 (2003), pp. 205–208.

8-N. Wenderoth, V. Puttemans, S. Vangheluwe and S.P. Swinnen, Bimanual training reduces spatial interference. *J. Mot. Behav.* 35 3 (2003), pp. 296–308.

9-S.P. Swinnen, N. Dounskaia and J. Duysens, Pattern of bimanual interference reveal movement encoding within a radial egocentric reference frame. *J. Cogn. Neurosci.* 14 3 (2002), pp. 463–471.

10-Rouiller, E. M., Babalian, A., Kazennikov, O., Moret, V., Yu, X. H., &Wiesendanger, M. (1994).Transcallosal connections of the distal forelimb representations of the primary and supplementary motor cortical areas in macaque monkeys. Experimental Brain Research, 102, 227–243.

11-Wiesendanger, M., Rouiller, E. M., Kazennikov, O., &Perrig, S. (1996). Is the supplementary motor area a bilaterally organized system? Advances in Neurology, 70, 85–93.

12-Jancke, L., Peters, M., Himmelbach, M., N€osselt, T., Shah, J., & Steinmetz, H. (2000).fMRI study of bimanual coordination.Neuropsychologia, 38, 164–174.

13-Stephan, K. M., Binkofski, F., Halsband, U., Dohle, C., Wunderlich, G., Schnitzler, A., Tass, P., Posse, S., Herzog, H., Sturm, V., Zilles, K., Seitz, R. J., & Freund, H. J. (1999). The role of ventral medial wall motor areas in bimanual co-ordination. A combined lesion and activation study. Brain, 122, 351– 368.

14-Goerres, G. W., Samuel, M., Jenkins, H., & Brooks, D. J. (1998). Cerebral control of unimanual and bimanual movements: an H2 15O PET study. NeuroReport, 9, 3631–3638.

15-Toyokura, M., Muro, I., Komiya, T., &Obara, M. (1999). Relation of bimanual coordination to activation in the sensorimotor cortex and supplementary motor area: analysis using functional magnetic resonance imaging. Brain Research Bulletin, 48, 211–217.

16-Kazennikov, O., Hyland, B., Corboz, M., Babalian, A., Rouiller, E. M., &Wiesendanger, M. (1999).Neural activity of supplementary and primary motor areas in monkeys and its relation to bimanual and unimanual movement sequences. Neuroscience, 89, 661–674.

17-Donchin, O., Gribova, A., Steinberg, O., Bergman, H., &Vaadia, E. (1998). Primary motor cortex is involved in bimanual coordination. Nature, 395, 274–278.

18-Phillips, C. G., & Porter, R. (1977). Corticospinalneurons. Their role in movement. New York: Academic Press.

19-YohkoMakia, b, Kin Foon Kevin Wongc, d, Motoaki Sugiuraa, b, TohruOzakic, d and NorihiroSadatoa. Asymmetric control mechanisms of bimanual coordination: An application of directed connectivity analysis to kinematic and functional MRI data. National Institute for Physiological Sciences, Okazaki, Japan.NeuroImage.Volume 42, Issue 4, 1 October 2008, Pages 1295-1304.

20-Simone Cardoso de Oliveira. The neuronal basis of bimanual coordination: recent neurophysiological evidence and functional models. Institutf€urArbeitsphysiologie, an der Universit€at Dortmund, Ardeystrasse 67, D-44139 Dortmund,Germany. ActaPsychologica 110 (2002) 139–159.

21-Schmidt, R. A. (1975).A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review, 82, 225–260.

22-Schmidt, R. A., Zelaznik, H. N., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn, J. T. (1979). Motor output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. Psychological Review, 86, 415–451.

23-Marteniuk, R. G., &MacKenzie, C. L. (1980).Information processing in movement organization and execution.In R. Nickerson (Ed.), Attention and Performance VIII (pp. 29–57). Hillsdale: Erlbaum..

24-Turvey, M. T. (1977).Preliminaries to a theory of action with reference to vision. In R. Shaw, & J. Bransford (Eds.), Perceiving, acting, and knowing. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

25-Kelso, J. A. S., Holt, K. G., Kugler, P. N., &Turvey, M. T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures. I. Theoretical lines of convergence. In G. E.Stelmach,& J. Requin (Eds.), Tutorials in motor behavior (pp. 49–70). Amsterdam: North-Holland.

۲۶-مگیل. ریچارد، یادگیری حرکتی مفاهیم و کاربردها،مترجمان: دکتر واعظ موسوی ومعصومه شجاعی(۱۳۸۰)تهران،انتشارات پژوهشکده تربیت بدنی،چاپ اول، ص۲۲-۱۹۳.

27-SophieVangheluwe, Ellen Suy, Nicole Wenderoth. Stephan P. Swinnen. Learning and transfer of bimanual multifrequency patterns: effector-independent and effector-specific levels of movement representation. Exp Brain Res (2006) 170: 543–554.

28-Sophie Vangheluwe, VeerlePuttemans, Nicole Wenderoth, Marc Van Baelen and Stephan P. Swinnen. Inter- and intralimb transfer of a bimanual task: generalisability of limb dissociation. Laboratory of Motor Control, Department of Kinesiology, Group Biomedical Sciences.Behavioural Brain Research.Volume 154, Issue 2, 5 October 2004, Pages 535-547.

29-P.G. Zanone and J.A. Kelso, Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions, *J. Exp. Psychol.—Hum. Percept. Perform*18 (2) (1992), pp. 403–421.

30-P.G. Zanone and J.A. Kelso, Coordination dynamics of learning and transfer: collective and component levels, *J. Exp. Psychol.—Hum. Percept. Perform*23 (5) (1997), pp. 1454–1480.

31-Vangheluwe S, Suy E, Swinnen SP. Learning and transfer of bimanual multifrequency patterns: abstract and effector-specific levels of movement representation; 2004, submitted for publication.

32-V. Puttemans, S. Vangheluwe, N. Wenderoth and S.P. Swinnen, Bimanual directional interference: the effect of normal versus augmented visual feedback on learning and transfer. *Motor Control* 8 (2003), pp. 33–50.

33-100-Nicole Wendroth et al. Bimanual training reduces spatial interference. Motor control laboratory. Department of kinesiology.Joural of motor behavior, 2003, vol. 35. No. 3, 296-308.

34-Sophie Vangheluwe, VeerlePuttemans, Nicole Wenderoth, Marc Van Baelen and Stephan P. Swinnen. Inter- and intralimb transfer of a bimanual task: generalisability of limb dissociation. Behavioural Brain Research.Volume 154, Issue 2, 5 October 2004, Pages 535-547.

35-Scott T.Grafton et al. Motor learning with the nondominantlfthand.Ex Brain Res (2002) 146: 369-378.

36-A.P. Georgopoulos, Higher order motor control.*Annu. Rev. Neurosci.* 14 (1991), pp. 361–377.

37-O. Steinberg, O. Donchin, A. Gribova, D.O. Cardosa, H. Bergman and E. Vaadia, Neuronal populations in primary motor cortex encode bimanual arm movements. *Eur. J.*

38-102- Cori Chase and Rachael Sidler. Degree of handedness affects intermanual transfer of skill learning. Exp Brain Res. 2008 september: 190(3): 317- 328.

39-J.C. Eliassen, K. Baynes and M.S. Gazzaniga, Direction information coordinated via the posterior third of the corpus callosum during bimanual movements. *Exp. Brain. Res.* 128 4 (1999), pp. 573–577.

40-E.A. Franz, J.C. Eliassen, R.B. Ivry and M.S. Gazzaniga, temporal coupling in the bimanual movements of callosotomypatients.*Psychol. Sci.* 7 5 (1996), pp. 306–310.

41-Daichi Nozaki, and Stephen H. Scott. Multi-compartment model can explain partial transfer of learning within the same limb between unimanual and bimanual reaching. Journal of Experimental Brain. ISSN: 0014-4819 (Print) 1432-1106 (Online). Volume 194, Number 3 / April, 2009. Pages: 451-463.