

## تأثیر تغییر در ویژگی‌های مختلف حرکات دو دست بر انتقال حرکت دودستی نامتقارن به الگوی عکس

محمدرضا دوستان<sup>۱</sup>، مهدی نمازی‌زاده<sup>۲</sup>، محمود شیخ<sup>۳</sup>، ناصر نقدی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه تهران\*

۲. دانشیار دانشگاه تهران

۳. استاد دانشگاه تهران

۴. استاد انستیتو پاستور ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۴

### چکیده

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی تأثیر تغییر در ویژگی‌های مختلف حرکات دو دست بر انتقال حرکت دودستی نامتقارن به الگوی عکس آن بود. ابزار مورد استفاده در این پژوهش شامل: قلم نوری با حس‌گر ویژه، لپ‌تاپ، دستکش ویژه و مترونوم بود. آزمودنی‌های پژوهش را دانشجویان راست‌دست پسر (به تعداد ۳۰ نفر) تشکیل دادند که در سه گروه قرار گرفتند. شایان‌ذکر است که هر گروه حرکت دودستی نامتقارنی را تمرین می‌کرد که در آن حرکت، دو دست به‌لحاظ ویژگی‌های مختلف، تفاوت داشتند (گروه یک: اثر نیروی جاذبه؛ گروه دو: الگوی زمانی و گروه سه: اندازه حرکت). همچنین، گروه‌ها پس از پیش‌آزمون، به مدت چهار روز تمرین می‌نمودند و سپس، پس از آزمون به عمل می‌آمد. نتایج نشان می‌دهد که در حرکات دودستی نامتقارنی که حرکات دو دست از نظر اثر نیروی جاذبه بر دو دست متفاوت می‌باشند، انتقال مثبت به حالتی که حرکت دو دست معاوضه می‌شود صورت می‌گیرد، اما جایی که تفاوت در الگوی زمانی است، انتقالی مثبت صورت نمی‌گیرد و درحقیقت، انتقال صفر می‌باشد. همچنین، هنگامی که حرکت دو دست به‌لحاظ اندازه حرکت متفاوت است، این انتقال منفی می‌باشد. به‌طورکلی، بر مبنای این که تفاوت در الگوی نامتقارن دو دست از ویژگی‌های کنترلی چه سطحی از سلسله‌مراتب کنترل سیستم عصبی باشد، این احتمال وجود دارد که به الگوی وارونه آن منتقل شود؛ بنابراین، استنباط می‌شود که فرضیه استقلال اندام مجری از حافظه حرکتی در حرکات نامتقارن دودستی، به تفاوت در ویژگی‌های خاص حرکت دو دست بستگی داشته و نیاز به بازنگری دارد.

**واژگان کلیدی:** انتقال، هماهنگی دودستی، فرضیه استقلال اندام مجری

**مقدمه**

برخی از مهارت‌های حرکتی روزمره، نیازمند زمان‌بندی دقیق اعمال دو دست می‌باشد. بسیاری از این مهارت‌ها نظیر بازکردن در بطری، تایپ‌کردن و یا نواختن گیتار، نیازمند اعمال متفاوت دو دست می‌باشد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که انجام دو تکلیف متفاوت با دو دست به‌صورت هم‌زمان باعث تداخل دوجانبه می‌گردد؛ حتی هنگامی که دو دست به‌صورت جداگانه آن‌ها را به‌راحتی انجام می‌دهند (۱،۲). این مشاهدات نشان می‌دهد که سیستم عصبی مرکزی، حرکات هم‌زمان دودستی متقارن را به‌راحتی کنترل می‌کند، اما حرکات نامتقارن را با قصور و محدودیت کنترل می‌کند که این امر نشان از تمایل شدید سیستم عصبی مرکزی<sup>۱</sup> در تولید حرکات متقارن یا مشابه می‌باشد (- (۳،۴). این موضوع نشان می‌دهد که مهارت‌های دودستی به روش متفاوتی از حرکات یک‌دستی کنترل می‌شوند؛ به‌ویژه هنگامی که هرکدام از اندام‌ها به‌صورت هم‌زمان حرکات متفاوتی را از نظر ویژگی‌های فضایی و زمانی انجام دهند (۵).

تاکنون، نظریه‌های متفاوتی در مورد چگونگی کنترل حرکات دودستی توسط سیستم عصبی مرکزی مطرح شده است که در شیوه تفسیر آن‌ها از این حرکات، تناقضات و تفاوت‌های اساسی وجود دارد. تمایل شدید دو دست برای تولید حرکات مشابه به‌لحاظ فضایی - زمانی در حرکات دودستی، منجر به به‌وجود آمدن این فرضیه شده است که برای هر دو دست یک برنامه حرکتی وجود دارد. این موضوع در قالب برنامه حرکتی تعمیم‌یافته<sup>۲</sup> مطرح شده است. نظریه برنامه حرکتی تعمیم‌یافته فرض می‌کند که حرکات با یک برنامه حرکتی در سیستم عصبی مرکزی و با پارامترهای حرکتی ارائه می‌شوند. در این نظریه، یک برنامه حرکتی، شکل اصلی حرکت را پیش از شروع آن تعیین می‌کند. اشمیت<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۷۹) عنوان کردند که این مفهوم در حرکات دودستی، قابل کاربرد است و احتمالاً یک برنامه حرکتی، کنترل حرکات هر دو دست را بر عهده دارد. در این نظریه فرض بر این است که بازنمایی حرکتی از اندام مجری مستقل می‌باشد که بدین‌معنا است که یک مهارت حرکتی که برنامه حرکتی آن کسب شده است، با اندام‌های متفاوتی می‌تواند انجام گیرد (۶). همچنین، بیان می‌کند حتی زمانی که دست‌ها حرکات متفاوتی انجام می‌دهند، تنها یک برنامه حرکتی، کنترل‌کننده حرکت است؛ هرچند که پارامترهای ویژه هر اندام نسبت به دیگری متفاوت باشد. برخلاف نظریه برنامه حرکتی تعمیم‌یافته، مدل تعاملی<sup>۴</sup> بیان می‌کند که دو برنامه حرکتی مستقل برای دو دست وجود دارد (۶). این مدل اشاره می‌کند درحالی که هر دست به‌وسیله نیم‌کره دگرسو کنترل

- 
1. Central Nervous System
  2. Generalized Motor Program
  3. Schmidt
  4. Crosstalk Model

می‌شود، اما نیم‌کره هم‌سو نیز در یکپارچگی با نیم‌کره دیگر تأثیرگذار است. در روشی که این دو مدل (تعاملی و برنامه حرکتی تعمیم‌یافته) ارائه می‌شوند، به شکل ناسازگارانه‌ای در برابر هم قرار می‌گیرند. مدل تعاملی، جفت‌شدگی قوی بین برخی از پارامترهای حرکتی را توضیح نمی‌دهد و از آن‌جاکه دو برنامه حرکتی را به دست‌ها اختصاص می‌دهد، اجازه کاهش شمار درجات آزادی کنترل‌شده را به صورت جداگانه نمی‌دهد. علاوه‌براین، مدل برنامه حرکتی تعمیم‌یافته، فعل و - انفعالات مربوط به تکلیف بین حرکات دو دست را محاسبه نمی‌کند. این احتمال وجود دارد که مدل ترکیبی از تعاملی - برنامه حرکتی تعمیم‌یافته بتواند این محدودیت را برطرف کند. در سطوح بالای فعل و انفعال در مدل تعاملی چندسطحی، به سطحی از عملکرد می‌رسیم که هم ویژگی برنامه حرکت عمومی و هم برنامه‌های حرکتی جداگانه را دارا می‌باشد. این احتمال وجود دارد که در فعل و انفعالات ضعیف سطح بالا، دو برنامه نسبتاً مستقل وجود داشته باشد. دو برنامه حرکتی با فعل و انفعال قوی ممکن است با نوعی هماهنگی کار کنند که شاید به‌عنوان یک برنامه عمومی واحد تفسیر شود (۷).

علاوه‌براین، یک نظریه سودمند دیگر در مورد هماهنگی این است که هماهنگی در سطوح چندگانه - ای از سطوح ادراکی - شناختی (سطوح بالاتر) به سطوح عصبی - عضلانی (سطوح پایین‌تر) به وجود می‌آید؛ بدین معنا که هماهنگی در اعمال دودستی به صورت سلسله‌مراتبی به وجود می‌آید و در - حقیقت، متشکل از یک سطح ادراکی - شناختی و یک سطح عصبی - عضلانی و ویژه اندام مجری می‌باشد (۸،۹). نکته مهم این است که هنگامی که قیود حرکتی در جهت یکدیگر عمل می‌کنند، الگوی هماهنگی باثبات‌تر و دقیق‌تر می‌باشد و هنگامی که متناقض با یکدیگر هستند، عملکرد دچار نقصان می‌شود (۱۰). شایان‌ذکر است که هماهنگی، از تعامل بخش‌های مختلف سیستم عصبی مرکزی شامل: سطح ادراکی و سطح عصبی - عضلانی و ویژه اندام مجری به وجود می‌آید (۱۱).

همچنین، مدل دیگری که در زمینه هماهنگی دودستی مطرح گردیده است، مدل نظری "سیستم - های پویا" می‌باشد که محدودیت مدل‌های برنامه حرکتی تعمیم‌یافته و تعاملی را ندارد. در این مدل، ساختارهای هماهنگ (سینرژی‌ها<sup>۱</sup>) در قالب عضلاتی که با هم و به‌عنوان یک واحد عملکردی یگانه تجمع می‌یابند عمل می‌کنند. ساختارهای هماهنگ مانند برنامه حرکتی تعمیم‌یافته، کارایی کدگذاری را با کاهش شمار درجات آزادی کنترل‌کننده مجزا افزایش می‌دهد (۱۲) و برای توضیح تمایل زمان‌بندی هماهنگ حرکات دودستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳). اکثر پدیده‌های رفتاری مشاهده‌شده در حرکات هماهنگی دودستی، به وسیله چنین مدلی توضیح داده می‌شود.

## 1. Synergies

شاید، مزیت عمده رویکرد سیستم‌های پویا این باشد که می‌تواند هم رفتار و هم عملکرد زیرساختی مغز را در چارچوبی مشابه ترسیم کند.

به‌طور کلی، دیدگاه‌های مبتنی بر پردازش مرکزی و دیدگاه سیستم‌های پویا، به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای در تبیین زیربنای کنترل حرکات هماهنگ متفاوت می‌باشند. مطابق با دیدگاه‌های مرکزی، اجرای موفقیت‌آمیز اعمال هم‌زمان با دو عضو، در نتیجه کاهش تداخل عصبی به‌واسطه شکل‌گیری برنامه حرکتی کلی‌تر و یا تعامل صحیح بین سطوح بالاتر و پایین‌تر و نیز افزایش سرعت گسترش اطلاعات بین سیستم‌های درگیر می‌باشد. در مقابل، دیدگاه سیستم‌های پویا، اجرای اعمال هماهنگ را منوط به خودسازمانی در نتیجه مشارکت بین خرده‌سیستم‌ها و شکل‌گیری ساختارهای هماهنگ زیستی و توسعه آن‌ها در نتیجه تمرین و تجربه می‌داند. علی‌رغم تفاوت در روش‌های مطالعه رفتارهای هماهنگ، هدف مشترک آن‌ها جستجو برای کشف محدودیت‌های اثرگذار بر هماهنگی حرکتی است (۱۴، ۱۵). مبحث استقلال اندام مجری از برنامه حرکتی در حرکات هماهنگی دودستی که در نظریه برنامه حرکتی تعمیم‌یافته مطرح می‌شود موضوعی است که توسط مدل‌های نظری دیگر موردچالش قرار گرفته است. رویکردی که به‌صورت تجربی استقلال اندام مجری از حافظه حرکتی و سایر مدل‌های نظری هماهنگی دودستی را ارزیابی می‌کند، رویکرد "انتقال" است که در آن، یک مهارت حرکتی جدید با یک سیستم مجری تمرین و به‌دنبال آن، تکلیف مشابه با سیستم مجری دیگری که تمرین نشده است اجرا می‌شود. 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 تأثیر مثبت دارد؛ بنابراین، 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 نقصان می‌شود که در این صورت، به‌هیچ‌وجه نمی‌توان استقلال اندام مجری را مورد تأیید قرار داد (۱۶). به‌لحاظ عصب-شناختی، از آن‌جا که برخی پژوهش‌ها (نظیر تائو و وو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰) و والش<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸)) بیان کرده‌اند که نیم‌کره مسلط، مسئول راه‌اندازی و هدایت حرکت دودستی می‌باشد (۱۷)، می‌توان چنین پنداشت که بدون توجه به این که تکلیف دشوار با کدام دست انجام می‌گیرد و یا کدام ویژگی در حرکت دو دست متفاوت می‌باشد، انتقال حرکات دودستی نامتقارن تمرین‌شده باید به شرایطی که حرکات دودست معاوضه می‌شود مثبت باشد.

علاوه بر این، مطالعات انتقال یک‌دستی، نشان‌دهنده انتقال مثبت از یک اندام به اندام دیگر می‌باشند؛ در حالی که یافته‌های مربوط به حرکات دودستی، نتایج متناقضی را نشان می‌دهند. زنون و کلسو<sup>۳</sup>

- 
1. Tao Wu
  2. Walsh
  3. Zenone & Kelso

(۱۹۹۷) و (۱۹۹۲) نشان دادند یک حرکت دودستی که مستلزم حرکات بازشدن و جمع‌شدن انگشتان می‌باشد، به جفت متقارن آن انتقال می‌یابد (۱۸،۱۹). همچنین، آن‌ها (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 تکلیف حرکتی می‌شود (۲۰). این یافته‌ها با نظریه برنامه حرکتی تعمیم‌یافته همخوانی دارد. باین‌وجود، ونگلو و سوینن<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) شواهد محکمی را در مورد انتقال منفی از یادگیری قبلی تکلیف هماهنگی دودستی به وضعیت جفت‌شدگی متقارن نشان دادند (۲۱). علاوه‌براین، آن‌ها (۲۰۰۶) با استفاده از الگویی که در آن به‌شکلی تمرین می‌شد که دست چپ با سرعتی دوبرابر سرعت دست راست می‌چرخید، انتقال به حالت عکس آن؛ یعنی شرایطی که این‌بار دست راست با سرعتی دوبرابر سرعت دست چپ می‌چرخید را مورد بررسی قرار دادند که نتایج پژوهش آن‌ها، انتقالی منفی را نشان داد که این انتقال منجر به تجدیدنظر در مورد بازنمایی حرکتی که موضوع استقلال - اندام مجری را مورد تأیید قرار می‌دهد گردید (۱۶). سیستی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۱) بیان می‌کنند که با افزایش سرعت زاویه‌ای نسبی بین دو دست، عملکرد دودستی تخریب می‌شود (۲۲) که این امر نشان می‌دهد تفاوت سرعت حرکت دو دست، عاملی تعیین‌کننده در هماهنگی دودستی می‌باشد. نتایج پژوهش دوستان و همکاران (۱۳۹۱) نیز نشان داد که در حرکات دودستی نامتقارن هنگامی که تنها جهت متفاوت باشد، انتقال مثبتی به حالت عکس آن رخ می‌دهد (۲۳) که این یافته با نتایج پژوهش ونگلو و همکاران (۲۰۰۶) در تناقض می‌باشد. شایان‌ذکر است که این یافته (درحالی‌که برخلاف نظریه تعاملی هماهنگی دودستی می‌باشد)، نظریه برنامه حرکتی تعمیم‌یافته و فرضیه مستقل‌بودن برنامه حرکتی از اندام مجری را مورد تأیید قرار داد. این نتایج متناقض به این نکته اشاره دارد که احتمالاً انتقال بین نیم‌کره‌ای، به ویژگی‌های خاص تکلیف دودستی بستگی دارد.

با توجه به یافته‌های پژوهش‌های مختلف 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 داشته باشد که باید مورد بررسی قرار گیرد. به نظر می‌رسد تفاوت در سرعت حرکت دست‌ها و برخی ویژگی‌های فضایی، از ویژگی‌هایی هستند که غلبه بر آن‌ها دشوار بوده و شاید مستقل از اندام نباشد؛ درحالی‌که اگر حرکت دست‌ها از نظر زمانی و فضایی یکسان باشند و تفاوت تنها در جهت حرکت دست‌ها باشد، انتقال مثبتی صورت می‌گیرد و برنامه حرکتی می‌تواند مستقل از اندام مجری باشد. با توجه به این که مطالعات بسیار اندکی در این زمینه انجام شده است، جهت مشخص-

---

1. Vangheluwe & Swinnen

2. Sisti

کردن ویژگی‌های حرکتی مستقل از مجری و ویژگی‌های وابسته به مجری در حرکات هماهنگی دودستی، به پژوهش‌های بیشتری نیاز می‌باشد. با انجام مطالعاتی در این زمینه می‌توان از ابهامات مربوط به نظریه‌های هماهنگی دودستی نیز کاست و آن‌ها را مورد نقد قرار داد؛ زیرا، برخی از آن‌ها در مقابل یکدیگر قرار دارند. همچنین، انجام پژوهشی در این راستا که بتوان در آن برای حرکت دودستی نامتقارن یک برنامه حرکتی در نظر گرفت، شاید بتواند در تشخیص وجوه جوهری و پارامترهای برنامه حرکتی تعمیم‌یافته حرکت دودستی یاری‌دهنده باشد. پژوهش حاضر در نظر دارد با ایجاد تغییرات مختلف در الگوهای حرکتی دو دست (تغییر در الگوی زمانی، اندازه حرکت و جاذبه)، هم انتقال به حالت عکس آن‌را بررسی نماید و هم ویژگی‌های حرکتی مستقل از اندام مجری را شناسایی کرده و نتایج را براساس نظریه‌های موجود در حرکات دودستی تحلیل کند.

### روش پژوهش

آزمودنی‌های پژوهش حاضر را دانشجویان رشته تربیت‌بدنی دانشگاه شهیدچمران (به تعداد ۳۰ نفر) تشکیل دادند که همگی راست‌دست، راست‌پا و راست‌چشم بودند و دید کاملاً طبیعی داشتند. شایان‌ذکر است که جهت ارزیابی راست‌دستی بودن آزمودنی‌ها از سیاهه دست برتری ادینبورگ<sup>۱</sup> استفاده شد. در ادامه، آزمودنی‌ها به صورت تصادفی در سه گروه مربوط به سه آزمایش (هر گروه ۱۰ نفر) گنجانده شدند و پیش از اجرای پیش‌آزمون، توسط آزمونگر با موارد آزمون و نحوه کشیدن هر یک از الگوها و نیز هماهنگی با صدای مترونوم آشنایی پیدا کردند. ابزارهای اندازه‌گیری در این پژوهش شامل: پرسش‌نامه برای شناخت خصوصیات فردی، کرومومتر برای تعیین زمان اجرای آزمون، دو دستگاه قلم نوری جی-نوت ۷۱۰۰۲ با مارک جنیوس<sup>۳</sup> مجهز به صفحه حس‌گر ویژه که به دو دستگاه لپ‌تاپ اتصال می‌یافت، برنامه رایانه‌ای رقمی‌کننده و نیز یک مترونوم بود. این برنامه طوری طراحی شده بود که انحراف از الگو را برحسب میزان خطوط خروجی از الگو و نیز درصد انجام صحیح الگو را به صورت عددی محاسبه می‌کرد. شایان‌ذکر است که پژوهش حاضر از نوع نیمه-تجربی بوده و در قالب سه آزمایش مجزا انجام گرفته است که در هر سه آزمایش، ابتدا پیش‌آزمون اکتساب و پیش‌آزمون انتقال (جابه‌جایی الگوها بین دو دست) به عمل می‌آمد و سپس، تمرینات شروع می‌شد که این تمرینات در ۱۰ بلوک پنج کوششی در چهار روز متوالی انجام می‌گرفت؛ به طوری که هر کوشش مشابه با آزمون، در مدت زمان ۶۰ ضربه مترونوم در ۳۰ ثانیه انجام می‌گرفت. پس از آزمون‌ها نیز مشابه با پیش‌آزمون صورت گرفت. علاوه بر این، آزمون یادداری در فاصله ۴۸ ساعت

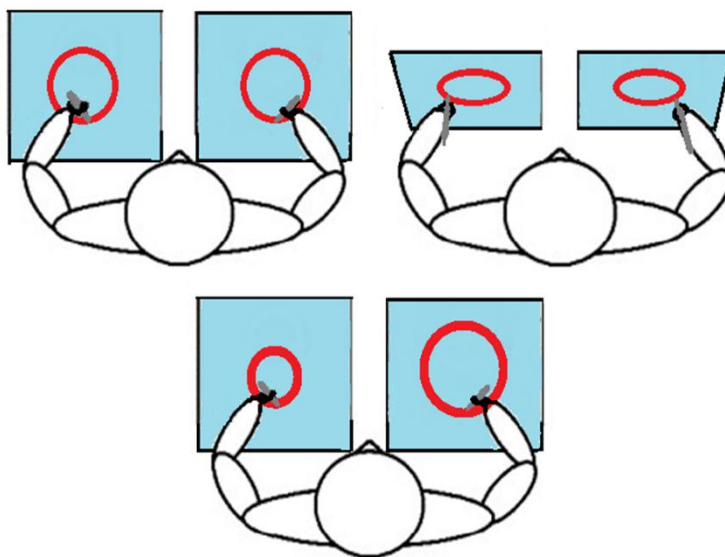
1. Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield 1971)
2. G-Note 7100
3. Genius

پس از تمرین روز چهارم به عمل آمد که این آزمون به صورت حرکت هم‌زمان دو دست - هم به - صورت تمرین شده (اکتساب) و هم به صورت جابه‌جاشدن الگوها بین دو دست (انتقال) - انجام گرفت. همچنین، روش آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری جهت بررسی روند تغییر درصد صحیح امتیازات در سه گروه آزمایشی در سطح معناداری (۰/۰۵) با استفاده از نرم‌افزار آماری اس.پی.اس.اس نسخه ۱۹ مورد استفاده قرار گرفت.

آزمایش اول، تفاوت در الگوی اثر نیروی جاذبه بین دست‌ها بود. در این آزمایش، برنامه طوری طراحی شده بود که آزمودنی‌های این گروه در یک حرکت هم‌زمان دودستی، درحالی‌که از یک جفت دستکش که انگشتان در آن کاملاً آزاد بود استفاده می‌کردند، به ترسیم دایره می‌پرداختند. شایان‌ذکر است که در یکی از دستکش‌ها (دست راست)، ساچمه‌هایی با وزن دو کیلوگرم تعبیه شده بود که باعث افزایش اثر نیروی جاذبه نسبت به دست دیگر می‌گردید. همچنین، حرکت ترسیم دایره با حرکات گروه‌های دیگر متفاوت بود؛ به طوری‌که در آزمایشات دیگر، حرکات در صفحه افقی (هوریزنتال) انجام می‌گرفت، اما در این گروه، حرکات در صفحه عمود بر سطح زمین و موازی سطح بدن (فروناتال) انجام می‌شد که این تغییر به منظور سنجش اثر جاذبه بر حرکت صورت گرفت. لازم - به‌ذکر است که هم‌زمان با هر صدای مترونوم، دایره ترسیم می‌گردید. در پیش‌آزمون و هم‌زمان با هر صدای مترونوم، دست با وزنه و دست بدون وزنه به صورت هم‌زمان به ترسیم دایره می‌پرداختند (این کار می‌بایست ۶۰ مرتبه و در ۳۰ ثانیه به صورت پیاپی تکرار می‌شد). پیش‌آزمون انتقال (جابه‌جایی وزنه‌ها بین دو دست) نیز در این آزمون به عمل می‌آمد و پس از آن تمرینات آغاز می‌گشت. باید گفت که پس‌آزمون به صورت حرکت هم‌زمان دو دست - هم به صورت تمرین شده (اکتساب) و هم به صورت جابه‌جاشدن الگوها بین دو دست (انتقال) - به عمل می‌آمد.

آزمایش دوم، تفاوت الگوی زمانی بین دست‌ها بود. در این آزمایش نیز آزمودنی‌ها در یک حرکت هم‌زمان دودستی، با هر دو دست به ترسیم دایره می‌پرداختند، اما از آن‌ها خواسته شد که سرعت یکی از دست‌ها، دوبرابر دست دیگر باشد؛ به صورتی‌که هم‌زمان با هر صدای مترونوم، یک دست (دست راست) در جهت عقربه‌های ساعت دو دایره را ترسیم می‌کرد و دست دیگر در خلاف جهت عقربه‌های ساعت به ترسیم یک دایره می‌پرداخت. همچنین، در آزمون‌ها و هم‌زمان با هر صدای مترونوم، دست با سرعت بالا دو دایره و دست با سرعت پایین یک دایره را ترسیم می‌نمود که این کار می‌بایست ۳۰ بار پیاپی تکرار می‌شد (در مدت زمان ۳۰ ثانیه، دست با سرعت بالا ۶۰ دایره را می‌کشید و دست با سرعت پایین، ۳۰ دایره را ترسیم می‌نمود). پس از تمرینات نیز پس‌آزمون به -

عمل می‌آمد. شایان ذکر است که به منظور بررسی انتقال، سرعت حرکت دست‌ها می‌بایست جابه‌جا می‌شد (آزمودنی‌ها تلاش می‌کردند که سرعت حرکت دست چپ، دوبرابر دست راست باشد). آزمایش سوم، تفاوت در اندازه حرکت دست‌ها بود و طوری طراحی شده بود که آزمودنی‌ها در یک حرکت هم‌زمان دودستی، با هر دو دست به ترسیم دایره می‌پرداختند، اما قطر دایره ترسیمی یکی از دست‌ها، دوبرابر دست دیگر بود؛ بدین معنا که با هر صدای مترونوم، یک دست دایره‌ای بزرگ و دست دیگر دایره‌ای کوچک را ترسیم می‌نمود و این کار می‌بایست در مدت‌زمان ۳۰ ثانیه و هم‌زمان با صدای مترونوم، ۶۰ بار تکرار می‌شد. پیش‌آزمون انتقال (جابجایی الگوها بین دو دست) نیز در این آزمون به عمل آمد. علاوه‌براین، پس از تمرینات، پس‌آزمون انجام گرفت و درنهایت، آزمون‌های یادداری به‌عمل آمد.



شکل ۱- تصاویری از شیوه انجام تمرینات در سه گروه آزمایشی (سمت چپ: گروه اول؛ وسط: گروه دوم و سمت راست: گروه سوم)

## نتایج

یافته‌ها نشان می‌دهند که در آزمون اثرات درون‌گروهی با اندازه‌گیری‌های تکراری برای حرکت دودستی نامتقارن در سه گروه آزمایشی در آزمون‌های اکتساب، اثر عامل زمان معنادار می‌باشد ( $F=36/553$ ,  $P=0.001$ ). شایان ذکر است که سطح معناداری برای تمام آزمون‌ها برابر با (۰/۰۵) در



نظر گرفته شده است؛ بدین معنا که تمرینات باعث بهبود حرکت دودستی شده است. همچنین، جهت مشخص شدن جایگاه تفاوت در آزمون‌ها، از هر گروه به صورت جداگانه آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری به عمل آمد (نیمه بالایی جدول شماره دو) و از آزمون پیگردی ال اس دی استفاده شد. با توجه به میانگین درصد صحیح حرکت مشاهده می‌شود که در هر سه گروه، روند تغییرات به پیشرفت حرکت دودستی منجر شده است. علاوه بر این، آزمون‌های پیگردی بیانگر این است که بین مرحله پیش‌آزمون با مراحل پس‌آزمون و یادداری در هر سه گروه تفاوت معناداری وجود دارد (به ترتیب در گروه اول ( $P=0.003$  و  $P=0.011$ )، در گروه دوم ( $P=0.001$  و  $P=0.001$ ) و در گروه سوم ( $P=0.003$  و  $P=0.005$ )). در گروه اول (گروه حرکت دودستی نامتقارن به لحاظ نیروی جاذبه بر حرکت دو دست) میانگین درصد صحیح حرکت از ۴۵ درصد به ۶۴ درصد در پس‌آزمون و ۶۲ درصد در مرحله یادداری رسید. همچنین، در گروه دوم (گروه حرکت دودستی نامتقارن به لحاظ سرعت حرکت دو دست) میانگین درصد صحیح حرکت از ۳۸ درصد به ۵۸ درصد در مرحله پس-آزمون و ۶۲ درصد در مرحله یادداری رسید. در گروه سوم (گروه حرکت دودستی نامتقارن به لحاظ اندازه حرکت دو دست) نیز میانگین درصد صحیح حرکت از ۴۱ درصد به ۶۶ درصد در مرحله پس-آزمون و ۶۴ درصد در مرحله یادداری رسید. با این وجود، اثر معناداری برای گروه ( $P=0.270$ )، و تعامل میان گروه آزمایشی و شماره آزمون ( $F=1.375$ ،  $P=0.437$ )،  $F=1.003$ ) به دست نیامد (جدول شماره یک)؛ بدین معنا که بین گروه‌ها در پیشرفت حاصل شده در اثر تمرین، تفاوت معناداری وجود نداشته است.

به منظور بررسی حرکت دودستی نامتقارن در آزمون‌های انتقال (شرایطی که حرکت دو دست نسبت به شرایط تمرینی معاوضه می‌شود) و با بررسی اثرات درون‌گروهی با اندازه‌گیری‌های تکراری در سه گروه آزمایشی مشخص شد که در آزمون‌های انتقال، اثر عامل زمان معنادار می‌باشد ( $P=0.001$ ،  $F=5.292$ )؛ بدین معنا که به طور کلی، تمرینات باعث بهبود حرکت دودستی در آزمون‌های انتقال شده است. همچنین، اثر معناداری برای اثر گروه ( $F=8.172$ ،  $P=0.002$ ) و نیز تعامل میان نوع گروه آزمایشی و شماره آزمون ( $F=2.123$ ،  $P=0.046$ ) (جدول شماره یک) نشان می‌دهد که در آزمون‌های انتقال، بین گروه‌ها در تغییرات حاصل از تمرین، تفاوت معنادار و قابل توجهی وجود دارد. بدین منظور، در هر یک از گروه‌ها به صورت جداگانه آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری به عمل آمد (نیمه پایینی جدول شماره دو) که یافته‌های آن نشان می‌دهد که در گروه اول (گروهی که اثر نیروی جاذبه بر حرکت دو دست متفاوت بود)، تفاوت معناداری میان آزمون‌ها وجود دارد ( $F=19.28$ ،  $P=0.001$ ). با توجه به میانگین درصد صحیح حرکت دریافت می‌شود که روند تغییرات در آزمون‌های انتقال به پیشرفت حرکت دودستی منجر شده است. علاوه بر این،

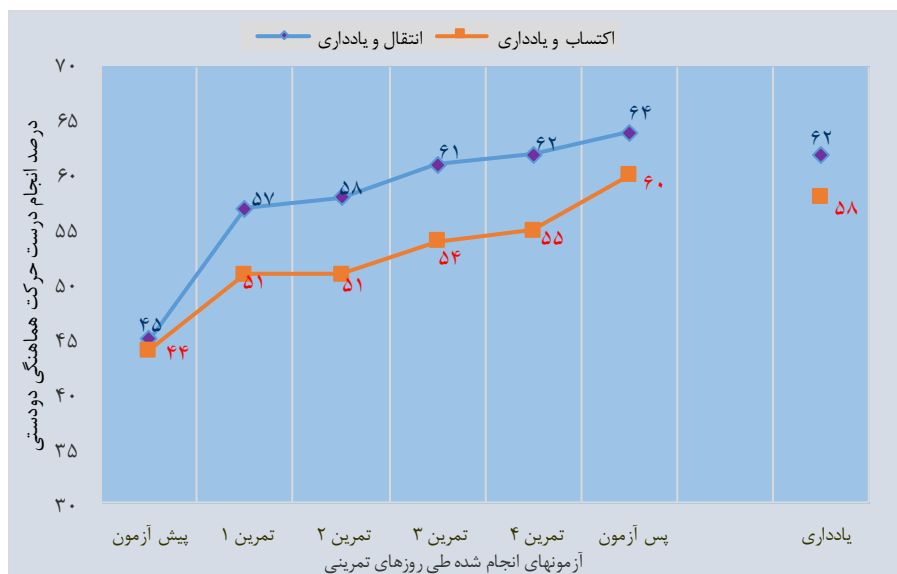
آزمون‌های پیگردی در این گروه نشان داد که بین مرحله پیش‌آزمون با مراحل پس‌آزمون و یادداری آزمون مربوط به انتقال تفاوت معناداری وجود دارد (به ترتیب  $P=0.001$  و  $P=0.001$ ) و میانگین درصد صحیح حرکت از ۴۴ درصد به ۶۰ درصد در مرحله پس‌آزمون و ۵۸ درصد در مرحله یادداری رسیده است (روند تغییرات در این آزمون‌ها در نمودار (۱) مشاهده می‌شود). شایان‌ذکر است که تغییرات در آزمون انتقال در این گروه تقریباً مشابه با روند تغییرات در حرکت اصلی تمرین شده (آزمون‌های اکتساب) می‌باشد. باین‌وجود، نتایج در گروه دوم (گروه حرکت دودستی نامتقارن به- لحاظ سرعت حرکت دو دست) متفاوت بود و اختلافی در آزمون‌ها مشاهده نشد ( $P=0.945$  ,  $F=0.432$ )؛ بنابراین، آزمون‌های انتقال، پیشرفت حرکت دودستی در حالت عکس را نشان نمی‌دهد. آزمون‌های پیگردی نیز بیانگر این است که بین مرحله پیش‌آزمون با مراحل پس‌آزمون و یادداری مربوط به انتقال تفاوت معناداری وجود ندارد (به ترتیب  $P=0.133$  و  $P=0.056$ ). هرچند که میانگین درصد صحیح حرکت از ۳۴ درصد به ۴۲ درصد در پس‌آزمون و ۴۲ درصد در یادداری مربوط به آزمون انتقال رسید. علاوه‌براین، در گروه سوم (گروه حرکت دودستی نامتقارن به‌لحاظ اندازه حرکت دو دست) نیز در مرحله انتقال نسبت به گروه‌های دیگر تفاوت قابل‌توجهی مشاهده نمی‌شود؛ به‌طوری‌که برای ترسیم حرکت دودستی نامتقارن در این گروه در مراحل انتقال بلافاصله پس از تمرینات و انتقال پس از بی‌تمرینی، تفاوت معناداری میان آزمون‌ها وجود دارد ( $P=0.005$  ,  $F=4.91$ ). با توجه به میانگین درصد صحیح حرکت مشاهده می‌شود که روند تغییرات در آزمون‌های انتقال، به پسرقت حرکت دودستی در حالت عکس منجر شده و افت اجرا را در پی داشته است. هرچند، آزمون‌های پیگردی نیز نشان داد که تفاوت بین مرحله پیش‌آزمون با پس‌آزمون (با وجود افت عملکرد) به‌لحاظ آماری معنادار نمی‌باشد، اما تفاوت آن با آزمون یادداری مربوط به انتقال - معنادار است (به ترتیب  $P=0.180$  و  $P=0.047$ )؛ به‌طوری‌که انتقالی منفی را نشان می‌دهد. همچنین، میانگین درصد صحیح حرکت از ۵۳ درصد به ۵۱ درصد در مرحله پس‌آزمون و ۵۰ درصد در مرحله یادداری مربوط به آزمون انتقال رسیده است (روند تغییرات در این آزمون‌ها در شکل شماره سه مشاهده می‌شود).

جدول ۱- تحلیل واریانس عاملی با اندازه‌گیری‌های تکراری برای سه گروه آزمایشی در ترسیم حرکت دودستی در مراحل اکتساب و انتقال

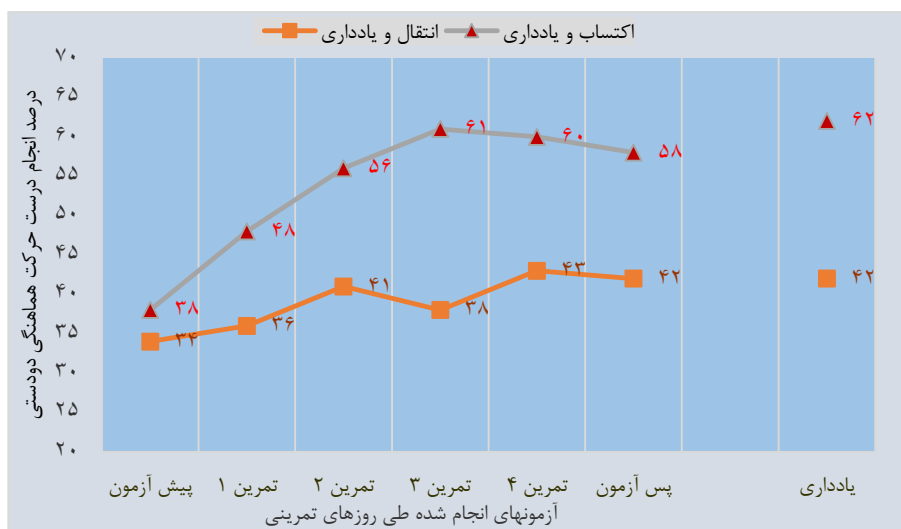
| مرحله  | منبع      | مجموع مجذورات | درجه آزادی | مربع میانگین | F      | سطح معناداری |
|--------|-----------|---------------|------------|--------------|--------|--------------|
| اکتساب | عامل      | ۱۱۸۲۹/۸۹۳     | ۳/۹۱۲      | ۳۰۲۳/۹۰۳     | ۳۶/۵۵۳ | ۰/۰۰۱        |
|        | عامل*گروه | ۶۴۹/۵۰۹       | ۷/۸۲۴      | ۸۳/۰۱۲       | ۱/۰۰۳  | ۰/۴۳۷        |
|        | گروه      | ۸۷۷/۷۰۳       | ۲          | ۴۳۸/۸۵۲      | ۱/۳۷۵  | ۰/۲۷۰        |
| انتقال | عامل      | ۱۶۷۳/۴۳۰      | ۳/۶۲۵      | ۶۶۱/۶۶۲      | ۵/۲۹۲  | ۰/۰۰۱        |
|        | عامل*گروه | ۱۳۴۱/۰۲۴      | ۷/۲۵۰      | ۱۸۴/۹۷۹      | ۲/۱۲۳  | ۰/۰۴۶        |
|        | گروه      | ۱۰۴۶/۲۱۱      | ۲          | ۵۲۳/۱۰۵      | ۸/۱۷۲  | ۰/۰۰۲        |

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس درون‌گروهی با اندازه‌گیری‌های تکراری در ترسیم حرکت دودستی در مراحل اکتساب و انتقال برای گروه‌های تمرینی به‌صورت جداگانه

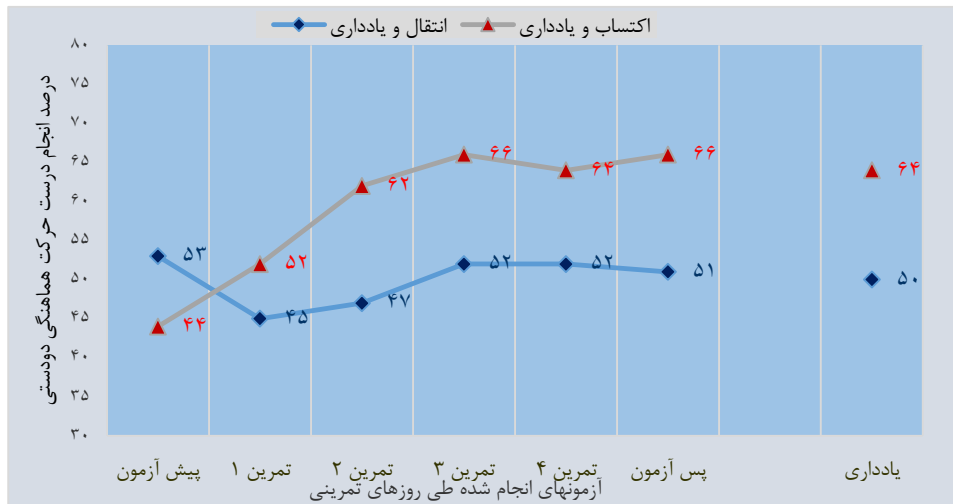
| آزمون  | گروه     | منبع | مجموع مجذورات | درجه آزادی | مربع میانگین | F     | سطح معناداری |
|--------|----------|------|---------------|------------|--------------|-------|--------------|
| اکتساب | گروه اول | عامل | ۲۴۶۷/۰۸       | ۶          | ۴۱۱/۱۸       | ۸/۹۲  | ۰/۰۰۱        |
|        |          | خطا  | ۲۴۸۸/۲۳       | ۵۴         | ۴۶/۰۷        |       |              |
|        | گروه دوم | عامل | ۴۷۳۹/۱۹       | ۶          | ۷۸۹/۶۴       | ۱۱/۳۱ | ۰/۰۰۱        |
|        |          | خطا  | ۳۷۴۹/۵۴       | ۵۴         | ۶۹/۸۲        |       |              |
|        | گروه سوم | عامل | ۵۲۷۲/۶۹       | ۶          | ۸۷۸/۷۸       | ۱۸/۹۷ | ۰/۰۰۱        |
|        |          | خطا  | ۲۵۰۰/۷۰       | ۵۴         | ۴۶/۳۰        |       |              |
| انتقال | گروه اول | عامل | ۱۷۷۲/۱۰       | ۶          | ۲۹۵/۳۵       | ۱۹/۲۸ | ۰/۰۰۱        |
|        |          | خطا  | ۸۲۶/۸۸        | ۵۴         | ۱۵/۳۱        |       |              |
|        | گروه دوم | عامل | ۷۰۵/۱۸        | ۶          | ۱۱۷/۵۳       | ۰/۹۴۵ | ۰/۴۳۲        |
|        |          | خطا  | ۶۷۱۷/۷۰       | ۵۴         | ۱۲۴/۴۰       |       |              |
|        | گروه سوم | عامل | ۵۳۷/۱۶        | ۶          | ۸۹/۵۲        | ۴/۹۱  | ۰/۰۰۵        |
|        |          | خطا  | ۹۸۲/۸۴        | ۵۴         | ۱۸/۲۰        |       |              |



شکل ۱- تغییرات درصد انجام درست حرکت هماهنگی دودستی در آزمون‌های اکتساب و انتقال در گروه اول



شکل ۲- تغییرات درصد انجام درست حرکت هماهنگی دودستی در آزمون‌های اکتساب و انتقال در گروه دوم



شکل ۳- تغییرات درصد انجام درست حرکت هماهنگی دودستی در آزمون‌های اکتساب و انتقال در گروه سوم

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد در شرایط تمرینی که اثر نیروی جاذبه بر حرکت دو دست متفاوت است، انتقال حرکت دودستی نامتقارن به حالت جابه‌جاشده بین دو دست، مثبت می‌باشد. مطالعات نشان داده‌اند که نیروی گرانش نقش مهمی در جهت‌گیری فضایی، حس عمقی، جابه‌جایی و آغاز یا متوقف کردن حرکات دارد. همچنین، این احتمال وجود دارد که سیستم عصبی مرکزی در یکی از دو سطح برنامه‌ریزی و اجرا با گرانش برخورد کند. پاپاکسانتیس<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) بیان می‌کند که در سطح برنامه‌ریزی، نیروی گرانش تنها به‌عنوان یک نیروی ساده که باید بر آن چیره شد به حساب نمی‌آید، بلکه به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار به‌شمار می‌رود که می‌توان از آن برای اجرای حرکات استفاده کرد. باید گفت که در سطح اجرا، سیستم عصبی مرکزی در طول حرکت و براساس اطلاعات حاصل از حس عمقی با گشتاورهای گرانشی مقابله می‌کند. به حساب آوردن گرانش به‌عنوان یک عامل مکانیکی مزاحم، از محاسبه گشتاورهای گرانشی قبل از حرکت جلوگیری می‌کند و تأثیر قابل توجهی بر دقت حرکت می‌گذارد (۲۴). هرچند که از نظر مکانیکی، قیود مربوط به گرانش زمین می‌تواند بر حرکات دست تأثیرگذار باشد (۲۵، ۲۶) و برخی مطالعات نیز پیشنهاد کرده‌اند که نیروی گرانش زمین ممکن است در به‌وجود آمدن برنامه حرکتی نقش داشته باشد (۲۷، ۲۸)، اما با توجه به این‌که

1. Papaxanthis

در پژوهش حاضر انتقال به حالت معاوضه حرکات بین دو دست مثبت شده است، به نظر می‌رسد غلبه بر نیروی گرانش، در هماهنگی دودستی در سطح اجرا و سطوح پایین‌تر سیستم عصبی کنترل می‌شود و غلبه بر این قیود در هماهنگی دودستی، نیازی به تغییر در برنامه حرکتی شکل‌گرفته قبلی ندارد و احتمالاً، این ویژگی به‌وسیله مکانیزم دوک عضلانی و در سطح رفلکسی کنترل می‌شود و تداخل زیادی را بین دو دست به‌وجود نمی‌آورد؛ بنابراین، از ویژگی‌های اصلی برنامه حرکتی دودستی نمی‌باشد؛ لذا، همانند جهت حرکت می‌تواند به راحتی به حرکت دودستی در شرایط معکوس (جابه‌جاشده بین دو دست) انتقال یابد. یافته‌های پژوهش در گروه اول با نتایج مطالعات زنون و کلسو (۱۹۹۷ و ۱۹۹۲) و کلسو و زنون (۲۰۰۲) همخوانی دارد.

علاوه‌براین، در گروه‌های دوم و سوم که تفاوت حرکات دو دست به‌لحاظ سرعت و اندازه حرکت بود، یافته‌های متفاوتی نسبت به گروه اول به‌دست آمد؛ به‌گونه‌ای که در گروه دوم، انتقالی به حالت عکس رخ نداد. همچنین، نتایج در گروه سوم قابل توجه‌تر بود و انتقال به حالت معاوضه الگوها بین دو دست منفی بود. نتایج انتقال حرکت دودستی نامتقارن در این دو گروه تا حد زیادی با پژوهش‌های ونگلو و سوینن (۲۰۰۴)، ونگلو و همکاران (۲۰۰۶) و سیستی و همکاران (۲۰۱۱) هم‌سو است. این یافته‌ها نکات بسیار مهمی را نشان می‌دهد که می‌تواند هرکدام از نظریه‌های مطرح‌شده در مورد هماهنگی دودستی را موردچالش قرار دهد. علاوه‌براین، مدل سیستم‌های پویا در مورد هماهنگی دودستی می‌تواند با دو مدل برنامه حرکتی تعمیم یافته و تعاملی دیگر سازگار باشد. جفت‌شدگی نیز می‌تواند با برخی ریفرمان‌های حرکتی به دست دیگر، مشابه با آنچه که در مدل تعاملی بیان شده است و یا در قالب چارچوبی از هم‌کوشی‌ها (سینرژی‌ها) به‌وجود آید. همچنین، از آن‌جاکه در این مدل، حالت پویای تجمعی سیستم می‌تواند به‌عنوان یک واحد عملکردی یا ساختار هماهنگ در نظر گرفته شود، می‌تواند در کنار مدل برنامه حرکتی تعمیم یافته قرار گیرد. باوجوداین، دیدگاه سیستم‌های پویا از اساس با مدل‌های برنامه حرکتی تعمیم یافته و تعاملی متفاوت است؛ زیرا، هیچ‌گونه سازمان‌دهی مرتبه‌ای در درون سیستم را قبول ندارد و وجود سطوح بالا، برنامه‌های مجزا و پارامترهای سطح پایین را لازم نمی‌داند (۷).

همچنین، طبق نظریه کنترل سلسله‌مراتبی به‌نظر می‌رسد ویژگی‌های اساسی یا وجوه جوهری برنامه حرکتی هماهنگی دودستی (اگر در مورد حرکات دودستی وجود داشته باشد) در سطح بالای سلسله‌مراتب کنترل سیستم عصبی کنترل می‌شوند، اما وجوه تغییرپذیر که مربوط به شرایط محیطی و تکلیف می‌باشند، در سطوح پایین سلسله‌مراتب کنترل می‌گردند. به‌نظر می‌رسد جهت حرکت دو دست (که در مطالعات پیشین مورد مطالعه قرار گرفته است) و نیز اثر نیروی جاذبه در هماهنگی دودستی، از ویژگی‌های مربوط به شرایط ویژه تکلیف بوده و پارامترهایی هستند که در

سطوح پایین کنترل می‌شوند و به راحتی می‌توانند بین دو دست معاوضه شوند؛ درحالی‌که ویژگی‌هایی نظیر اندازه و نسبت‌های زمانی حرکت دو دست حین انجام حرکات دودستی نامتقارن، از ویژگی‌های ذاتی (یا وجوه جوهری) حرکات دودستی می‌باشند و در سطح بالای سیستم عصبی مرکزی کنترل می‌شود؛ بنابراین، چنین به نظر می‌رسد که با توجه به این‌که ویژگی متفاوت در دو دست در چه سطحی از این سلسله‌مراتب کنترل می‌شود، انتقال حرکت دودستی نامتقارن به الگوی معاوضه‌شده بین دو دست می‌تواند مثبت یا منفی باشد. با توجه به نتایج مربوط به گروه سوم که انتقال منفی را تأیید می‌کند و حتی نتایج گروه دوم که منتج به انتقال مثبت نگردید، بحث در مورد نظریه برنامه حرکتی تعمیم‌یافته می‌تواند زوایای قابل توجهی را پوشش دهد و مباحث جدیدی را در زمینه حرکات دودستی باز کند. براساس دیدگاه نظریه برنامه حرکتی تعمیم یافته دریافت می‌شود که باید به گونه‌ای متفاوت به حرکات هماهنگی دودستی نامتقارن نگریست؛ به صورتی که جفت‌شدگی بین دو دست را می‌بایست به عنوان برنامه حرکتی اصلی که دارای وجوه تغییرناپذیر می‌باشد و در سطوح پایین‌تر، پارامترهایی به آن افزوده می‌شود در نظر گرفت (با توجه به نتایج پژوهش حاضر شاید بتوان برخی از آن‌ها را معرفی کرد).

به لحاظ عصبی و در ارتباط با حرکات دودستی، اکثر پژوهش‌ها به نقش برجسته نیم‌کره غالب (۲۹،۳۰)، به ویژه قشر حرکتی اولیه در این نیم‌کره (۳۱) اشاره داشته‌اند. با این وجود، بین تمام نواحی قشری، به نقش اساسی ناحیه "حرکتی مکمل"<sup>۱</sup> در هماهنگی دودستی، به ویژه در حرکات دودستی نامتقارن اشاره شده است (۳۲،۳۳). اجرای الگوهای حرکتی دودستی نامتقارن نیازمند تلاش محاسباتی در سطح بالاتری از سیستم عصبی بوده و قشر آهیانه‌ای را درگیر می‌کند (۳۴) و این احتمال وجود دارد که هرچه درجه دشواری تکلیف دودستی بیشتر باشد، نیاز به تلاش محاسباتی نیز بیشتر می‌شود. میستر<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که فرایند کنترل حرکات دودستی که در آن دو دست از نظر زمانی و یا فضایی (دامنه حرکت) نامتقارن هستند، نواحی سطح بالاتر قشر پیش‌پیشانی خلفی - جانبی<sup>۳</sup> و سینگولیت قدامی<sup>۴</sup> را درگیر می‌کند. آن‌ها بیان کردند که فعال-سازی این نواحی، احتمالاً به الگوی اجرای حرکت و دشواری تکلیف مرتبط می‌باشد (۳۵). علاوه-براین، وندروث<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) در پژوهشی نشان داد که برهم‌کنش بین شبکه آهیانه‌ای - پیش‌حرکتی و پیش‌پیشانی خلفی - جانبی برای غلبه بر تداخل فضایی در حرکات دودستی (عدم تقارن دامنه

- 
1. Supplementary Motor Area
  2. Meister
  3. Dorsolateral Prefrontal Cortex
  4. Anterior Cingulate Cortex
  5. Wendroth

حرکت دو دست) نقشی حیاتی دارد (۳۶). دلگادو<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) نیز در پژوهش خود گزارش داد که در مراحل اولیه هماهنگی دودستی، نواحی مغزی وسیع‌تری برای انجام تکلیف ترغیب می‌شود؛ در حالی که در مراحل پایانی پس از تمرین کافی، الگوی فضایی فعالیت عصبی می‌تواند به‌علت بازسامان‌دهی نورونی کاهش یابد (۳۷). به‌طور کلی، می‌توان به این نتیجه رسید که سطوح دشواری و یا تفاوت سطوح مختلف کنترل مغزی در این دو نوع تکلیف دودستی (تفاوت در سرعت و اندازه حرکت دو دست) نسبت به تکلیف اول (تفاوت در اثر نیروی جاذبه در دودستی) بیشتر باشد که این امر می‌تواند ما را به این نتیجه برساند که عدم تقارن در الگوی زمانی و اندازه حرکت دودستی، بخش جدایی‌ناپذیر برنامه حرکتی دودستی است (شاید بتوان به‌عنوان یک ویژگی جوهری در برنامه حرکتی دودستی در نظر گرفته شوند) که قابل انتقال به الگوی جابه‌جاشده بین دو دست نمی‌باشد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که با توجه به این که تفاوت در الگوی نامتقارن دودستی، از ویژگی‌های چه سطحی از سلسله‌مراتب کنترل برنامه حرکتی دودستی است، ممکن است به الگوی وارونه آن منتقل شود و یا نشود؛ بنابراین، فرضیه استقلال اندام مجری از برنامه حرکتی هماهنگی دودستی، فرضیه‌ای است که نیاز به بازنگری دارد. علاوه‌براین، نتایج پژوهش حاضر شاید بتواند ما را به پذیرش این موضوع سوق دهد که برنامه حرکت هماهنگی دودستی می‌تواند مانند سایر برنامه‌های حرکتی تک‌اندامی، دارای وجوه جوهری و پارامترهایی باشد که با توجه به شرایط ویژه تکلیف و محیط تغییر یابد.

## منابع

1. Klapp S T, Nelson J M, Jagacinski R J. Can people tap concurrently bimanual rhythms independently? *Journal of Motor Behavior* 30(4) (1998): 301-22.
2. Kurtz S, Lee T D. Part and whole perceptual-motor practice of a polyrhythm. *Neurosci Lett.* 338 (2003) 205–208.
3. Swinnen S P, Dounskaia N, Duysens J. Pattern of bimanual interference reveal movement encoding within a radial egocentric reference frame. *J Cogn Neurosci.* 2002; 14 (3): 463–71.
4. Swinnen S P. Intermanual coordination: From behavioural principles to neural-network interactions. *Nat Rev Neurosci* 2002 May;3(5):348-59.
5. Vangheluwe S, Suy E, Wenderoth N, Swinnen S. Learning and transfer of bimanual multifrequency patterns: Effector-independent and effector-specific levels of movement representation. *Exp Brain Res.* 2006; 170 (4): 543–54.
6. 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.



7. Oliveira S C. The neuronal basis of bimanual coordination: Recent neurophysiological evidence and functional models. *Acta Psychol (Amst)*. 2002 Jun; 110(2-3):139-59.
8. Swinnen S P, Carson R G. The control and learning of patterns of interlimb coordination: Past and present issues in normal and disordered control. *Acta Psychol (Amst)*. 2002; 110 (2-3): 129-37.
9. Swinnen S P K, Jardian R, Meulenbrock N, Dounskaia M, Hofkens V, Brandt V D. Egocentric and allocentric constraints in the expression of patterns of interlimb coordination. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1997; 9(3); 348-77.
10. Heirani A, Farrokhi A. Effectors independence in complex bimanual coordination drawing tasks. Doctoral Dissertation. Tehran: Kharazmi University; Faculty of Physical Education and Sport Sciences; 2009. (In Persian).
11. Schmidt R A, Lee T D. Motor control and learning a behavioral emphasis. 3rd ed Canada: Human Kinetics; 1999. P. 206.
12. Turvey, M.T. (1977), Preliminaries to a theory of action with reference to vision. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing* (pp. 211–265).
13. Kelso J A S, Holt K G, Kugler P N, Turvey M T. On the concept of coordinative structures as dissipative structures. I. Theoretical lines of convergence. *Tutorials in motor behavior*. New York. *Advances in Psychology*. 1980; 1: 3–47.
14. Ashley S. Bangerta, Patricia A. Reuter-Lorenza, Christine M. Walsh B, Anna B. Schachtera, Rachael D. Seidler. Bimanual coordination and aging: Neurobehavioral implications. *Journal Neuropsychologia*. 2010; 48: 1165–70.
15. Li C. R, Zhang S, Duann J R, Yan P, Sinha R, Carolyn M M. Gender differences in cognitive control: An extended investigation of the stop signal task. *Brain Imaging Behav*. 2009; 3(3): 262–76.
16. Vangheluwe S, Suy E, Wenderoth N, Swinnen S. P. Learning and transfer of bimanual multifrequency patterns: Effector-independent and effector-specific levels of movement representation. *Exp Brain Res*. 2006 Apr; 170(4):543-54. Epub 2005 Nov 24.
17. Wu T, Wang L, Hallett M, et al. Neural correlates of bimanual anti-phase and in-phase movements in parkinson's disease. *A Journal of Neurology*. *Brain*. 2010; 133(8): 2394–2409.
18. Zenone P G, Kelso J A. Evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium phase transitions. *J Exp Psychol*. 1992; 18 (2): 403–21.
19. Zanone P G, Kelso J A. Coordination dynamics of learning and transfer: Collective and component levels. *J Exp Psychol*. 1997; 23 (5): 1454–80.
20. Magil R (2007). *Motor learning and control: Concepts and applications*. 8th edn. New York: Mc Grow-Hill.
21. Vangheluwe S, Suy E, Swinnen S P. Learning and transfer of bimanual multifrequency patterns: Abstract and effector-specific levels of movement representation. *Exp Brain Res*. 2006; 170(4): 543-54.
22. Sisti H M, Geurts M, Clerckx R, Gooijers J, Coxon J P, Heitger M, Caeyenberghs K, Iseult A. M. Beets, Serbruyns L, Swinnen S.P. Testing multiple coordination constraints with a novel bimanual visuomotor task. *Bimanual visuomotor task, Motor Control Laboratory, Research Center of Movement Control and Neuroplasticity. PLoS One*. 2011;6(8): 23619.
23. Doustan M, Boveiri K, Zilaei B, Seifourian M. The study of transfer of asymmetrical bimanual movement to its converse pattern: Analysis on bimanual movements' theories.

- Journal of Motor Behavior and Sport Psychology. 2012; 1(8): 553-64. (In Persian).
24. Papaxanthis C, Pozzo T, McIntyre J. Arm end-point trajectories under normal and micro-gravity environments. *Acta Astronautica*. 1998b; 43(36): 153-61.
  25. Soechting J F, Flanders M. Movement planning: Kinematics, dynamics, both or neither. In *vision and action*. New York: Cambridge University Press; 1998. P. 352-71.
  26. Nishikawa K C, Murray S T, Flanders M. Do arm postures vary with the speed of reaching? *J Neurophysiol*. 1999 May; 81(5):2582-6.
  27. Papaxanthis C, Pozzo T, Schieppati M. Trajectories of arm pointing movements on the sagittal plane vary with both direction and speed. *Exp Brain Res*. 2003; 148(4): 498-503.
  28. Papaxanthis C, Pozzo T, McIntyre J. Kinematic and dynamic processes for the control of pointing movements in humans revealed by short-term exposure to microgravity. *Neuroscience*. 2005; 35(2): 371-83.
  29. Oliveira S C. The neuronal basis of bimanual coordination: Recent neurophysiological evidence and functional models. *Acta Psychol (Amst)*. 2002 Jun;110(2-3):139-59.
  30. Nozaki D, Scott S H. Multi-compartment model can explain partial transfer of learning within the same limb between unimanual and bimanual reaching. *Journal of Experimental Brain*. 2009; 194 (3): 451-63.
  31. Makia B Y, Wonge K. F, Sugiuraa M, Ozakic T, Sadatoa N. Asymmetric control mechanisms of bimanual coordination: An application of directed connectivity analysis to kinematic and functional MRI data. *Neuro Image*. 2008; 4(42): 1295-304.
  32. Goerres G W, Samuel M, Jenkins H, Brooks D J. Cerebral control of unimanual and bimanual movements: An H2 15O PET study. *Neuro Report*. 1998 Nov 16; 9(16):3631-8.
  33. Toyokura M, Muro I, Komiya T, Obara M. Relation of bimanual coordination to activation in the sensorimotor cortex and supplementary motor area: Analysis using functional magnetic resonance imaging. *Brain Res Bull*. 1999 Jan 15; 48(2):211-7.
  34. Wenderoth N, Debaere F, Sunaert S, Van Hecke P, Swinnen S P. Parieto-premotor areas mediate directional interference during bimanual movements. *Cereb Cortex*. 2004; 14(10): 1153-63.
  35. Meister I G, Foltys H, Gallea C, and Hallett M. How the brain handles temporally uncoupled bimanual movements? *Cerebral Cortex*. 2010; 20(12) : 2996-3004.
  36. Wenderoth N, Debaere F, Sunaert S, Swinnen S P. Spatial interference during bimanual coordination: Differential brain networks associated with control of movement amplitude and direction. *Hum Brain Mapp*. 2005 Dec; 26(4):286-300.
  37. Delgado L M, Solesio-Jofre E A, D.J. Serrienb, D. Mantinic,D, A. Daffertshofere, S.P. Swinna. Understanding bimanual coordination across small time scales from an electrophysiological perspective. *Neurosci Biobehav Rev*. 2014 Nov; 47:614-35.

## استناد به مقاله

دوستان محمدرضا، نمازی‌زاده مهدی، شیخ محمود، نقدی ناصر. تأثیر تغییر در ویژگی‌های مختلف حرکات دو دست بر انتقال حرکت دودستی نامتقارن به الگوی عکس. رفتار حرکتی. تابستان ۱۳۹۵؛ ۸(۲۴): ۱۳۳-۵۲.

Doustan. M, Namazizadeh. M. Sheikh. M, Naghdi. N. The Effect of Change in Different Characteristics in Movements of Two Hands on Transfer of Asymmetrical Bimanual Movement to Its Converse Pattern. Motor Behavior. Summer 2016; 8 (24): 133-52. (In Persian)

## The Effect of Change in Different Characteristics in Movements of Two Hands on Transfer of Asymmetrical Bimanual Movement to Its Converse Pattern

M. Doustan<sup>1</sup>, M. Namazizadeh<sup>2</sup>, M. Sheikh<sup>3</sup>, N. Naghdi<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student at University of Tehran\*
2. Associate Professor at University of Tehran
3. Professor at University of Tehran
4. Professor at Iran Pastor Institute

Received Date: 2015/09/15

Accepted Date: 2015/12/13

---

### Abstract

The aim of this study was the evaluation of the effect of changes in different characteristics in movements of two hands on transfer of asymmetrical bimanual movement to its converse pattern. The instrument used in this study included pen Mouse, laptop, special glove and metronome. The subjects of the research were right-handed male students who had no movement disorder. Thirty right-handed subjects participated in the experiment that practiced asymmetrical bimanual coordination task in three groups. The movement patterns of two hands were different from each other in movement features (Group1: The effect of gravity, Group2: velocity pattern, Group3: amplitude of movement). Each of the test groups after the practice run for four days and then tests were performed. The results showed that when asymmetries in two hands that perform the bimanual movement is the effect of gravity on hands, transfer to vice versa pattern is positive. However, when the difference is in velocity pattern there is a positive transition and the transition is zero, and when the two hands movement patterns are different in amplitude of movement, transfer to vice versa pattern is negative. The research shows that in terms of the differences in the pattern of asymmetric of two hands is controlled in what level of the hierarchy of nervous system, it is possible that bimanual movement transfer to reverse pattern or not. It can be concluded that the effector-independent hypothesis from motor memory in bimanual movement coordination depends on difference between the two hands special features, so need for revision.

**Keywords:** Transfer, Bimanual Coordination, Effector-Independent Hypothesis

---

---

\* Corresponding Author

Email: mrdoostan@yahoo.com