(مقالۀ پژوهشی)

تأثیر اطلاعات حسی و سن بر انتقال فاز نسبی در الگوی هماهنگی دو دستی

رسول عابدان‌زاده[1*]، بهروز عبدلی[2]، علیرضا فارسی[2]

۱-استادیار گروه رفتار حرکتی.
۲- دانشیار گروه رفتار حرکتی.

۱-گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲-گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.

*نویسندۀ مسؤول:
رسول عابدان‌زاده؛ گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
تلفن: ۰۰۹۸۹۱۳۲۶۲۰۱۴۴
Email: r.abedanzadeh@scu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: یکپارچگی و تفسیر بازخورد حسی به اجرای تکالیف هماهنگی دو دستی کمک می‌کند. هدف از اجرای تحقیق حاضر بررسی تأثیر دریافت اطلاعات حسی و تفاوت‌های سنی بر انتقال فاز نسبی در تکلیف هماهنگی دو دستی بود.

روش بررسی: برای این منظور، ۱۵ پسر بزرگسال (میانگین سنی: ۳/۹±۲۵) و ۱۵ مرد سالمند (میانگین سنی: ۶/۱۲±۶۶/۰۶) که همگی دست راست بودند، به صورت در دسترس انتخاب شدند. شرکت‌کنندگان، اجرای تکلیف بر روی دستگاه هماهنگی دو دستی را با فرکانس ۰/۷۵ هرتز و با الگوی هماهنگی برون‌مرحله شروع کرده و به تدریج هر ۵ ثانیه، ۰/۲۵ هرتز به فرکانس افزوده شد تا جایی‌که انتقال فاز نسبی در جهت الگوی درون‌مرحله رخ داد. فرکانس پایانی ۵ هرتز اتخاذ شد. این تکلیف تحت ۸ وضعیت حسی متفاوت اجرا شد. داده‌ها توسط آزمون تحلیل واریانس مرکب با سنجش مکرر و آزمون‌های تی وابسته برای مقایسه‌های دو به دوی اثرات تعاملی با تصحیح بونفرونی تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که اثرات اصلی حواس و گروه و همچنین اثر تعامل‌های دوگانه بینایی- شنوایی، بینایی- حس عمقی، شنوایی- حس عمقی و شنوایی گروه معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) گزارش شدند. نتایج نشان داد بزرگسالان جوان بیشتر متکی به بینایی و حس عمقی و افراد سالمند بیشتر متکی به حس عمقی و شنوایی برای اجرای الگوی برون‌مرحله بودند.

نتیجه‌گیری: یافته‌های حاضر بر تأثیر مثبت اطلاعات آوران ناشی از بینایی، شنوایی و حس عمقی بر سرعت انتقال فاز نسبی دلالت کرده و نشان دادند که اجرای تکلیف هماهنگی دو دستی حاضر تحت کنترل سیستم حلقه بسته می‌باشد.

کلیدواژگان: اطلاعات حسی، هماهنگی دو دستی، انتقال فاز نسبی.

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۷/۱۳ **دریافت مقالۀ اصلاح‌شده:۱۳۹۵/۱۰/۱۶** **اعلام قبولی: ۱۳۹۵/۱۱/۶**

مقدمه

الگوی هماهنگی دو دستی در بسیاری از فعالیت-های ورزشی و روزمره زندگی مورد نیاز است. این الگو ابتدا در سطح رفتاری به‌وسیلهٔ نظریه سیستم‌های پویا مطرح شد (۱). در راستای نظریه سیستم‌های پویا، چندین مدل نظری برای پردازش هماهنگی دو دستی پیشنهاد شده است(۲). اول، تمایل قوی به سمت شباهت فضایی-زمانی در حرکات دو دستی منجر به پیشنهاد این موضوع شد که برنامه حرکتی مشترک برای هر دو دست در چارچوب برنامه حرکتی تعمیم یافته وجود دارد که شکل کلی یک حرکت را قبل از آغاز اجرای آن مشخص می‌سازد. در مقابل، مدل تداخل عصبی مطرح شد که بیان می‌دارد برای اجرای حرکات دو دستی، دو برنامه حرکتی مستقل وجود دارد. در این مدل فرض می‌شود که تعامل‌های بین حرکات دو دست منتج از تداخل عصبی در سطوح چندگانهٔ کنترل پیام‌های دو دست می‌باشد. بنابراین دانشمندان برای شرح چگونگی انجام حرکات هماهنگی دو دستی و جفت‌شدگی بین دست‌ها، یک مدل مرکب از تداخل عصبی و برنامه حرکتی تعمیم یافته را پیشنهاد دادند. در چنین مدل ترکیبی، برنامه حرکتی تعمیم یافته ممکن است در سطح بالاتر سلسله مراتبی از برنامه دو دست، یک طرح عملکردی فراهم آورد که ویژگی هر دو برنامه حرکتی مشترک و جداگانه را دارا باشد (۳). هماهنگی دو دستی بین اندام به‌طور عمده برگرفته از مدل هاکن-کلسو-بونز (Haken-Kelso-Bunz;HKB) است (۱) که شامل دو نوسانگر غیرخطی جفت‌شده می‌باشد. این مدل، نه تنها اجرای ثابت هماهنگی درون مرحله و برون مرحله را توجیه می‌کند، بلکه همچنین توجیهی برای نقش ضروری فرکانس حرکت دارد. در تحقیقات هماهنگی دو دستی، فرکانس به‌عنوان یک "پارامتر کنترل" برای تولید تغییرات کیفی (انتقال فاز) در الگوهای حرکت شناسایی شده است (۵). مدل HKB به گستره‌ای از موقعیت‌ها تعمیم داده شده است، لیکن به دلیل ماهیتِ پدیده‌شناسی، این مدل از شرح رفتار مشاهده شده از لحاظ ویژگی‌های سیستم‌ها و فرایندهای زیربنایی آن قاصر است (۶). از نظر کنترل حرکتی، فرضِ کاهش ثبات ناشی از افزایش فرکانس، هنوز ناشناخته باقیمانده است (۵). یکی از مسائل مهم و تأثیرگذار بر فرایند کنترل حرکتی، مفهوم استفاده از اطلاعات حسی در جهت تنظیم حرکات می‌باشد. این اطلاعات باعث می‌شوند از شرایط محیطی، شرایط بدنی و یا شرایط بدن نسبت به محیط مطلع شویم (۷). در تحقیقات نشان داده شده است که اطلاعات حس عمقی و بینایی برای اجرای الگوهای حرکتی ظریف نیاز است (۸). نکته قابل تأمل این است که در مطالعات قبلی شنوایی کنترل نشده بود. شاید شنوایی بتواند بر جفت‌شدگی اندام در حرکات دو دستی تأثیرگذار باشد و ممکن است اطلاعاتی در مورد عملکرد فراهم آورد. عامل مهم دیگر برای انجام حرکات هماهنگی دو دستی مبادله اطلاعات حسی در بین نیمکره-های مغزی می‌باشد. سن و اندازهٔ جسم پینه‌ای بر تعاملات بین دو نیمکره تأثیرگذارند (۹). مسن شدن ممکن است بر کنترل بین دو نیمکره برای اجرای حرکتی تأثیر بگذارد (۱۰). در نتیجه تحقیقات برای کشف بینش‌های مهم راجع به تأثیر فرآیند افزایش سن بر روی الگوهای هماهنگی دو دستی، انجام گرفتند. نتایج برخی از مطالعات نشان داد، برای الگوهای مداوم حرکتی که در آن اندام فوقانی از طریق فعال‌سازی همزمان عضلات همسو حرکت کنند(به الگوی درون مرحله یا متقارن اشاره دارد)، افراد سالمند همانند افراد جوان‌تر در اجرا دقیق و با ثبات بودند (۱۳-۱۱). همچنین هماهنگی اندام فوقانی در نتیجهٔ فعال‌سازی همزمان عضلات ناهمسو (به الگوی برون مرحله یا نامتقارن اشاره دارد)، نیز نسبتاً با ثبات بود. اما هنگام مقایسه با یک الگوی درون‌مرحله برای افراد جوان و مسن ثبات کمتری وجود داشت. اکثر مطالعات که به بررسی اثرات افزایش سن در هماهنگی دو دستی پرداخته‌اند، تخریب معنی‌دار هماهنگی دو دستی با افزایش سن را نشان داده‌اند، اما نتایج متناقضی در

این‌باره در تاریخچه تحقیق یافت می‌شود. نتایج پژوهش سرین و همکاران (۱۲) نشان داد که اجرای الگوها تحت تأثیر نقایص ناشی از افزایش سن قرار نمی‌گیرد. با استفاده از محرک بینایی، لی و همکاران (۱۴) از آزمودنی-های جوان و مسن در تحقیق خود خواستند تا الگوهای درون‌مرحله و برون‌مرحله را با یک ابزار اسلاید خطی با فرکانس ۱ و ۲ هرتز اجرا کنند. نتایج نشان داد که در هر فرکانسی، سالمندان نسبت به جوانان در انجام هر دو الگو آهسته‌تر اجرا می‌کردند. بنگرت و همکاران (۱۵) با انجام تحقیق خود دریافتند که زوال حرکات مربوط به سن به ویژه در الگوی برون‌مرحله در تکلیف ضربه‌زدن انگشتان مشاهده شد. سالمندان هماهنگی برون‌مرحله را با ثبات کمتری نسبت به جوان‌ترها انجام دادند. با استفاده از محرک شنوایی، ویشارت و همکاران (۱۳) در تحقیق خود به این موضوع پی بردند که حرکت برون‌مرحله دارای ثبات کمتری در شرکت‌کنندگان سالمند بود، اما تنها در حالتی که فرکانس بالا مورد نیاز بود (۱/۵ هرتز). ممکن است تفاوت بین این یافته‌ها به نوع هماهنگی (ضربه‌زدن مجرد یا حرکات مداوم) یا به فرکانس مورد نیاز برای هماهنگی (از ۰/۵ تا ۲ هرتز) بستگی داشته است. اما یک توضیح ممکن دیگر در مورد این تناقض آشکار بین نتایج به کیفیت حسی محرک و یا اطلاعات حسی موجود برای تولید هماهنگی مورد نیاز مربوط می‌باشد. لیکن تاکنون پاسخ مناسبی برای این الگوی متفاوت از یافته‌ها به دست نیامده است. با توجه به تناقض‌های موجود در تحقیقات اخیر و عدم بررسی حس شنوایی در تعامل با حس بینایی و حس عمقی بر انتقال فاز در الگوی هماهنگی دو دستی، همچنین نقص مدل هاکن-کلسو-بونز برای مشخص کردن فرایندهای زیربنایی انتقال فاز، پژوهش حاضر انجام گرفت تا به این سؤالات پاسخ دهد که آیا دریافت اطلاعات حسی (بینایی، شنوایی و حس عمقی) بر تغییر فاز نسبی از برون مرحله به درون مرحله تأثیرگذار می‌باشد؟ تأثیر اطلاعات حسی بر عملکرد گروه‌های سنی مختلف در اجرای الگوی هماهنگی دو دستی چیست؟

روش بررسی

پژوهش حاضر از نوع بنیادی و به صورت نیمه‌تجربی با طرح درون گروهی بود. جامعه آماری شامل بزرگسالان جوان و سالمندان بود. ۱۵ بزرگسال جوان (۲۰ تا ۳۰ سال) از بین دانشجویان پسر دانشگاه شهید بهشتی تهران و ۱۵ مرد سالمند (۶۰ تا ۷۰ سال) از بین کارکنان دانشگاه شهید بهشتی و افراد شرکت کننده در ورزش صبحگاهی یکی از مناطق شمال شهر تهران که از لحاظ بینایی، شنوایی و عصبی-عضلانی دارای هیچ‌گونه سابقه بیماری و یا اختلالی نبودند و همگی راست دست بودند، به‌صورت در دسترس برای اجرای تکلیف هماهنگی دو دستی انتخاب شدند. شرکت‌کنندگان هیچ‌گونه شناختی در مورد اجرای الگوی هماهنگی برون مرحله [اندام به طور جایگزین (یک در میان) خم و راست می‌شود و فاز نسبی (اختلاف زاویهٔ بین دو دست در حال حرکت) آنها ۱۸۰ درجه می‌باشد] نداشتند. کلیه مراحل اجرای این پژوهش متناسب با ملاحظات اخلاقی دانشگاه شهید بهشتی انجام شد. همچنین قبل از اجرای آزمون تمامی شرکت‌کنندگان فرم رضایت نامه کتبی را تکمیل نموده و اجازه داشتند در هر مرحله از اجرای پژوهش حاضر، از ادامه همکاری خودداری نمایند.

ابزار مورد استفاده برای اجرای تکلیف عبارت بودند از: دستگاه هماهنگی دو دستی (ساخت مؤسسه فرهنگی ورزشی پدیدار امید فردا در مرکز رشد و فناوری دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۱۳۹۲) که دارای دو بخش نرم افزاری و سخت افزاری بود. بخش سخت افزاری آن در برگیرنده یک سطح درجه‌بندی شده از ۹۰- تا ۹۰+ درجه بدون احتساب علامت منفی برای اجرای الگوهای هماهنگی مچ دو دست بود. دسته‌هایی به ارتفاع ۷ سانتی‌متر و عرض ۲ سانتی‌متر که به صورت مستقل به دستگاه هماهنگی دو دستی خطی وصل شده و به صورت

منحنی در دامنهٔ حرکتی مفصل مچ دست حرکت می‌کردند. فرکانس نمونه‌گیری این ابزار ۱۵۰ هرتز بود. روایی ابزار از طریق همبستگی امتیازات به دست آمده از دستگاه حاضر و دستگاه حرکت خطی (مدل ۳۱۲۰۲، ساخت شرکت لافابت) ۰/۸۱ و پایایی آن به روش آزمون- آزمون مجدد ۰/۹۰ به دست آمد. از آهنگ مترونوم شنیداری نرم‌افزار مربوط به دستگاه برای تنظیم سرعت اجرای حرکات مطابق با پروتکل آزمایشی استفاد شد که صدای آن از طریق هدفون (سونی، ای جی۰۵۰۰ و ام اچ ۷۵۰، ساخت ژاپن) متصل به کامپیوتر برای شرکت‌کنندگان قابل شنیدن بود. برای لرزش تاندون‌های عضلات خم کننده مچ دست و مسدود کردن حس عمقی از دستگاه لرزاننده (محقق ساخته) که به‌وسیله دو عدد مچ‌بند به طور همزمان به هر دو مچ (تاندون عضله خم کننده) شرکت‌کنندگان متصل می‌شد و شامل موتورهای لرزاننده کوچک (پاناسونیک، ساخت ژاپن) با ابعاد ۱/۱۵×۰/۷۹×۰/۵۹ و با میزان فرکانس ۱۵۰ هرتز، آهن‌ربای ثابت DC و تحریک‌کننده‌هایی برای لرزش بود، استفاده شد. چشم‌بند پارچه‌ای برای مسدود کردن بینایی شرکت‌کنندگان در وضعیت‌های بدون بینایی و از موزیک ملایم نیز برای مسدود کردن شنوایی افراد درحالی‌که بتوانند صدای مترونوم را نیز از طریق هدفون بشنوند (۱۶)، استفاده شد.

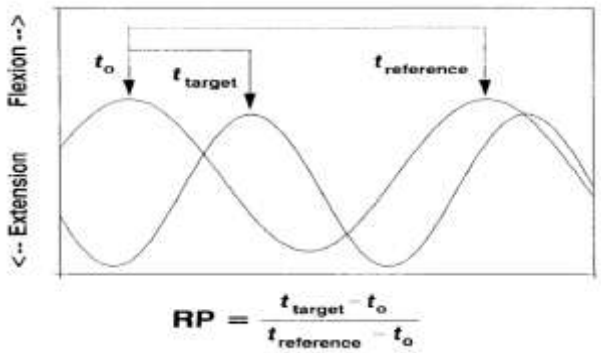
بعد از انتخاب شرکت‌کنندگان با در نظر گرفتن سلامت کامل جسمانی و فراهم نمودن توضیحی در مورد اهداف تحقیق برای ایشان، فرم رضایت‌نامه و اطلاعات شخصی توسط آنها تکمیل شد. اطلاعات مربوط به افراد شرکت‌کننده کاملاً محرمانه باقی ماند. در ضمن شرکت در تحقیق حاضر هزینه‌ای را برای آنها در بر نداشت. شرکت‌کنندگان در هر لحظه از اجرای تحقیق می‌توانستند از ادامه همکاری صرف نظر نمایند. در هنگام آزمایش، ابتدا شرکت‌کنندگان یک آشنایی کلی با تکلیف دریافت کردند و از آنها خواسته شد که حرکات فلکشن و اکستنشن مچ هر دو دست خود را با صدای مترونوم شنیده شده از طریق هدفون تنظیم نمایند به نحوی که حرکت به سمت چپ با یک ضربه و حرکت به سمت راست با ضربه دیگر مترونوم هماهنگ شود. سپس افراد بر روی صندلی قابل تنظیم نشسته و دو دسته ابزار هماهنگی دو دستی را به سمت چپ و راست به نحوی حرکت دادند که فاز نسبی ۱۸۰ درجه (الگوی برون مرحله) را تولید کردند. فرکانس مترونوم در آغاز اجرای تکلیف ۰/۷۵ هرتز بوده و سپس با یک روند افزایشی هر پنج ثانیه، ۰/۵ هرتز به آن افزوده می‌شدتا فرکانس پایانی که ۵ هرتز بود. در حین اجرای تکلیف از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا الگوی برون مرحلهرا همزمان با ریتم مترونوم حفظ نمایند و در صورت اختلال در الگوی هماهنگی برای به دست آوردن مجدد آن تلاش نکنند و اجازه دهند با همان الگوی جدید حرکت ادامه یابد. افرادی که قادر به اجرای صحیحالگوی هماهنگی برون مرحله مطابق بادستورالعمل داده شده توسط محقق نبودند و در اجرای تکلیف با مشکل مواجه می‌شدند، از شرکت در تحقیق محروم شدند. تکلیف حاضر تحت هشت وضعیت حسی مختلف اجرا شد که عبارت بودند از: ۱- وضعیت حسی طبیعی (تمامی حواس به صورت طبیعی و بدون هرگونه انسدادی بودند). ۲- وضیعیت محرومیت کامل حسی (حواس بینایی، شنوایی و حس عمقی به طور کامل مسدود بودند). ۳- وضعیت دارای حس بینایی و شنوایی (حس عمقی مسدود بود). ۴-وضعیت دارای حس شنوایی و حس عمقی (حس بینایی مسدود بود). ۵-وضعیت دارای بینایی و حس عمقی (حس شنوایی مسدود بود).۶- وضعیت دارای حس بینایی (حس شنوایی و حس عمقی مسدود بودند). ۷- وضعیت دارای حس شنوایی (حس بینایی و حس عمقی مسدود بودند). ۸- وضعیت دارای حس عمقی (حس بینایی و شنوایی مسدود بودند) (شکل ۱).

شاخصی که برای محاسبه فاز نسبی بین دو عضو استفاده شد، از طریق محاسبه فرمول زیر بود (۱۷).

که در آن RP، فاز نسبی بین دو عضو، t_{target} مربوط به بیشترین خم شدن مچ دست چپ و t_0 مربوط به بیشترین خم شدن مچ دست راست و ($t_{reference}- t_0$) نشان‌دهندهٔ درجه نسبی یک چرخه دست راست می‌باشد. سپس با استفاده از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۳ و با فیلتر پایین-گذر (فرکانس قطع ۸ هرتز و فرکانس نمونه‌گیری ۱۰۰۰) سرعت انتقال از الگوی برون مرحله به درون مرحله مشخص شد. برای محاسبه میانگین و انحراف استاندارد و همچنین رسم نمودارهای مربوطه از آمار توصیفی و برای آزمون فرضیه تحقیق از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی توزیع نرمال، آزمون لون برای بررسی برابری واریانس‌ها، آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری مکرر۲×۲×۲×۲ و آزمون‌های تی وابسته با تصحیح بونفرونی برای بررسی‌های بیشتر استفاده شد. تمام فرضیه‌های تحقیق حاضر در سطح معناداری ($P<۰/۰۵$) مورد بررسی قرار گرفتند.

شکل ۱: طرح تحقیق و وضعیت‌های هشت گانه آزمایشی در دو گروه

	تحریف حس عمقی				وجود حس عمقی			
	بدون بینایی		با بینایی		بدون بینایی		با بینایی	
گروه بزرگسالان جوان و سالمندان	تحریف شنوایی	شنوایی طبیعی	تحریف شنوایی	شنوایی طبیعی	تحریف شنوایی	شنوایی طبیعی	تحریف شنوایی	شنوایی طبیعی
	وضعیت۸	وضعیت۷	وضعیت۶	وضعیت۵	وضعیت۴	وضعیت۳	وضعیت۲	وضعیت۱



شکل ۲: نمودار اجرای الگوی هماهنگی دودستی برون‌مرحله و نحوهٔ محاسبه فاز نسبی بین دو دست

یافته‌ها

در پژوهش حاضر افراد بزرگسال جوان دارای دامنهٔ سنی ۲۰ تا ۳۰ سال (میانگین: ۳/۹±۲۵) و افراد سالمند دارای دامنهٔ سنی ۶۰ تا ۷۰ سال (میانگین: ۶/۱۲±۶۶/۰۶ سال) بوده و همگی راست دست و بدون هرگونه سابقه بیماری و اختلالی در چشم‌ها، گوش‌ها و عصب–عضله بودند. جدول۱ میانگین و انحراف استاندارد فرکانس بحرانی را در حین اجرای تکلیف هماهنگی دو دستی (الگوی برون مرحله) نشان می‌دهد.

نتایج آزمون شاپیرو–ویلک برای بررسی توزیع نرمال در جامعه نشان داد که جامعه مذکور از توزیع نرمال برخوردار بوده (P<۰/۰۵) و با توجه به برابری واریانس‌های خطا در متغیر وابسته که توسط آزمون لون تأیید شد (P<۰/۰۵)، برای بررسی فرضیه تحقیق از آزمون‌های پارامتریک استفاده شد.

نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲×۲×۲ با اندازه‌گیری مکرر با عامل اول (گروه) به عنوان عامل بین گروهی و سه عامل دیگر (بینایی، شنوایی، حس عمقی) به عنوان عوامل درون گروهی در جدول (۲) نشان داده شده است.

برای بررسی بیشتر اثر معنی‌دار تعامل چهارگانه از دو آزمون جداگانهٔ تحلیل واریانس ۲×۲×۲ با اندازه‌گیری مکرر یکی برای گروه بزرگسالان جوان و دیگری برای گروه سالمندان و همچنین شش آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲×۲ با اندازه‌گیری مکرر با عامل سن به عنوان عامل بین گروهی و عوامل حسی به عنوان عوامل درون گروهی استفاده شد که در هر یک از این شش آزمون، تعامل بین دو حس در حضور و عدم حضور حس سوم بررسی شد. بعد از اجرای هر کدام از این آزمون‌ها، هرکجا اثر تعاملی مشاهده شد، نتایج آزمون‌های تعقیبی آن اثر معنی‌دار بیان شد. معنی‌دار بودن نتایج تمامی آزمون‌های تعقیبی با توجه به تعدیل ضریب آلفا محاسبه و گزارش شد. نتایج آزمون تحلیل واریانس ۲×۲×۲ در گروه سالمندان نشان داد تنها اثر اصلی شنوایی (P=۰/۰۰۰۱) و حس عمقی (P=۰/۰۰۰۱) معنی‌دار بودند. نتایج آزمون تحلیل واریانس ۲×۲×۲ در گروه بزرگسالان جوان نشان داد که اثر تعامل سه‌گانه بینایی با شنوایی با حس عمقی (P=۰/۰۰۰۱) معنی‌دار بود. نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری مکرر برای سنجش تأثیر تعامل اطلاعات شنوایی و حس عمقی با وجود حس بینایی در هر دو گروه نشان داد که اثر تعامل بین شنوایی و حس عمقی بدون در نظر گرفتن عامل سن (P= ۰/۰۰۴) معنی‌دار بود. نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری مکرر برای سنجش تأثیر تعامل اطلاعات شنوایی و حس عمقی با نبود حس بینایی در هر دو گروه نشان داد که اثر تعامل شنوایی با حس عمقی (P=۰/۰۰۰۱) معنی‌دار بود. نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری مکرر برای سنجش تأثیر تعامل اطلاعات بینایی و حس عمقی با وجود حس شنوایی در هر دو گروه نشان داد که اثر تعاملی بینایی با حس عمقی (P=۰/۰۰۱) معنی‌دار گزارش شد. برای سنجش تأثیر تعامل اطلاعات بینایی و حس عمقی با تحریف حس شنوایی بر تغییرپذیری فاز نسبی در هر دو گروه از آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که اثر تعامل بینایی با حس عمقی (P=۰/۰۰۴) معنی‌دار گزارش شدند. برای سنجش تأثیر تعامل اطلاعات بینایی و شنوایی با وجود حس عمقی بر تغییرپذیری فاز نسبی در هر دو گروه از آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. نتیجه این آزمون نشان داد که هیچ‌کدام از اثر اصلی یا تعاملی معنی‌داری نبودند (P<۰/۰۵). برای سنجش تأثیر تعامل اطلاعات بینایی و شنوایی با تحریف حس عمقی در هر دو گروه از آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه-گیری مکرر استفاده شد و نتایج نشان داد که اثر تعامل بین بینایی و شنوایی (P=۰/۰۰۰۱) معنی‌دار بود. نتایج آزمون‌های تعقیبی مربوط به اثر تعاملی معناداری بین سه حس در گروه جوانان نیز بیانگر این موضوع بود که اثر

تعامل شنوایی با حس عمقی در وضعیت حضور و همچنین عدم حضور بینایی معنی‌دار (P=۰/۰۰۱) بود. اثر تعامل بین بینایی و حس عمقی با وجود اطلاعات شنوایی معنی‌دار (P=۰/۰۰۱) گزارش شد. اثر اصلی حس عمقی در وضعیتی که اطلاعات شنوایی تحریف شده بود، معنی‌دار (P=۰/۰۰۱) بود. اثر تعامل بینایی و شنوایی در وضعیت وجود و همچنین در وضعیت تحریف اطلاعات حس عمقی معنی‌دار (P=۰/۰۰۱) به دست آمد. نتایج آزمون‌های تی زوجی برای انجام مقایسه‌های دو به دو در وضعیت‌های مختلف آزمایشی و بدون در نظر گرفتن عامل گروه نشان داد زمانی که وضعیت طبیعی با وضعیت دستکاری حس عمقی مقایسه شد، نتیجه معنی‌دار (P=۰/۰۰۰۱) به دست آمد. مقایسه وضعیت دستکاری بینایی و حس عمقی با وضعیت دستکاری هر سه حس و همچنین وضعیت دستکاری بینایی و شنوایی با وضعیت دستکاری هر سه حس معنی‌دار بودند (P=۰/۰۰۰۱). همچنین مقایسه وضعیت دستکاری شنوایی و حس عمقی با وضعیت دستکاری سه حس (P=۰/۰۰۰۱) و دستکاری شنوایی با وضعیت دستکاری سه حس (P=۰/۰۰۰۱) معنی‌دار گزارش شدند. یافته‌های مربوط به انجام آزمون-های تی زوجی برای مقایسه‌های دو به دو در گروه بزرگسالان جوان نشان داد در وضعیتی که دستکاری اطلاعات دریافتی از حس عمقی در این گروه انجام شد (بینایی و شنوایی وجود داشت) نسبت به وضعیت طبیعی، تفاوت در میانگین انتقال فاز معنی‌دار (P=۰/۰۰۰۱) بود. مقایسه وضعیت دستکاری بینایی و شنوایی با وضعیت دستکاری سه حس نیز معنی‌دار (P=۰/۰۰۰۱) گزارش شد. تفاوت میانگین فرکانس بحرانی در وضعیتی که افراد بزرگسال جوان تنها اطلاعات بینایی را در اختیار نداشتند نسبت به وضعیت وجود تمام حواس، معنی‌دار (P=۰/۰۰۰۱) بود. تفاوت بین وضعیت‌هایی که اطلاعات بینایی و شنوایی وجود داشت نسبت به وضعیتی که اطلاعات شنوایی تحریف شده و تنها اطلاعات بینایی موجود بود، معنی‌دار (P=۰/۰۰۰۱) گزارش شد.

جدول ۱: میانگین و انحراف استاندارد فرکانس بحرانی در افراد شرکت‌کننده

شاخص آماری / وضعیت‌های آزمایشی	میانگین± انحراف استاندارد	
	بزگسالان جوان	سالمندان
وضعیت طبیعی	۳/۲۳±۰/۳۶	۲/۷۵±۰/۳۵
وضعیت مداخله کامل	۲/۲±۰/۵۱	۱/۸۵±۰/۳۹
وضعیت عدم حس عمقی	۲/۵۲±۰/۳۹	۲/۲۸±۰/۴۵
وضعیت عدم بینایی	۲/۵±۰/۴۵	۲/۸۲±۰/۵
وضعیت عدم شنوایی	۳/۰۷±۰/۵۹	۲/۶۳±۰/۶۶
وضعیت عدم شنوایی و حس عمقی	۳/۰۳±۰/۶۳	۲/۳±۰/۳۳
وضعیت عدم بینایی و حس عمقی	۲/۸۵±۰/۳۵	۲/۵۷±۰/۲۹
وضعیت عدم بینایی و شنوایی	۳±۰/۵۳	۲/۶۸±۰/۴۶

جدول ۲: نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲×۲×۲ با اندازه‌گیری مکرر

شاخص‌های آماری / منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	F	سطح معنی‌داری	مجذور اتای سهمی
بینایی	۱	۱۰/۰۳	۰/۰۰۴	۰/۲۶
گروه×بینایی	۱	۸/۶	۰/۰۰۷	۰/۲۴
شنوایی	۱	۲/۵۲	۰/۱۲	۰/۰۸
گروه×شنوایی	۱	۵/۹۲	۰/۰۲	۰/۱۷
حس عمقی	۱	۴۶/۴۲	۰/۰۰۰۱	۰/۶۲
گروه×حس عمقی	۱	۲/۲۸	۰/۱۴	۰/۰۸
شنوایی×بینایی	۱	۱۰/۴۶	۰/۰۰۳	۰/۲۷
گروه× شنوایی ×بینایی	۱	۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۰۲
حس عمقی×بینایی	۱	۰/۰۰۱	۰/۹۸	۰/۰۰
گروه× حس عمقی ×بینایی	۱	۰/۹۳	۰/۳۴	۰/۰۳
حس عمقی×شنوایی	۱	۵/۶	۰/۰۳	۰/۱۷
گروه× حس عمقی ×شنوایی	۱	۰/۰۰۲	۰/۹۷	۰/۰۰
حس عمقی× شنوایی ×بینایی	۱	۳۶/۲۳	۰/۰۰۰۱	۰/۵۶
گروه× حس عمقی × شنوایی ×بینایی	۱	۶/۹۵	۰/۰۱	۰/۲
گروه	۱	۱۵/۶۶	۰/۰۰۰۱	۰/۳۶

بحث

نتایج نشان داد که دریافت اطلاعات حسی از بینایی، شنوایی و حس عمقی باهم و همچنین عدم دریافت اطلاعات از هیچ‌کدام یک از این حواس برای اجرای تکلیف هماهنگی دو دستی در بین بزرگسالان جوان و افراد سالمند متفاوت بوده و در هر دو وضعیت، انتقال فاز نسبی الگوی هماهنگی در سرعت‌های بالاتری در بزرگسالان جوان نسبت به سالمندان رخ داد.

با استفاده از تکلیف هماهنگی زمانی، گرین و ویلیامز (۱۱) پی بردند که اثرات مسن شدن در مورد الگوی هماهنگی اجرا شده کاملاً خاص هستند. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که بزرگسالان جوان الگوهای درون‌مرحله و برون‌مرحله را می‌توانند به دقت و با استواری در فرکانس‌های پایین اجرا کنند و چنانچه سرعت افزایش یابد، الگوی برون مرحله ثبات خود را از دست می‌دهد و به الگوی درون‌مرحله تغییر می‌یابد (۱۸). بنابراین نتایج حاصل از تحقیق حاضر در مورد عملکرد ضعیف سالمندان نسبت به جوان‌ترها در فرکانس‌های بالا را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که احتمالاً به دلیل استفاده از پردازش ناهوشیار در الگوی برون‌مرحله در سرعت‌های پایین، عملکرد به خوبی حفظ شده و توسط افراد سالمند انجام گرفت. در مقابل، با افزایش سرعت حرکت که نیاز به پردازش پرتلاش (تصمیم‌گیری کنترل شده و هوشیارانه) برای اجرای تکلیف احساس می‌شود، نوعاً نقایص بیشتری در گروه سالمندان به وجود آمد. بر مبنای فرضیه تخصیص توجه، مشکلات ناشی از سن در حرکات دو دستی نامتقارن(برون‌مرحله) که مطالبات توجه از منابع توجه موجود برای سالمندان بیشتر می‌باشد، به وجود می‌آید (۱۴). فرضیه دیگر برای مشکلات ناشی از سن در اجرای تکالیف هماهنگی دو دستی، به ویژه انجام الگوی برون‌مرحله، در ارتباط با نقش حساس تعاملات درون نیمکره‌ای از طریق جسم پینه‌ای می‌باشد. مطالعات اخیر پیشنهاد کرده‌اند که نقایص ناشی از سن در کمیت

جسم پینه‌ای (اندازهٔ جسم پینه‌ای) و کیفیت آن (یکپارچگی زیرساختاری جسم پینه‌ای) عوامل کلیدی ایجاد مشکلات مربوط به سن در هماهنگی دو دستی هستند (۲۰). جسم پینه‌ای علاوه بر انتقال اطلاعات حسی و فرمان‌های حرکتی بین دو نیمکره، نقش مهمی در پردازش‌های شناختی سطح بالاتر بازی می‌کند. همچنین جسم پینه‌ای نقش حساسی در تخصیص منابع توجهی و در به‌کارگیری فرآیند عملیات پردازش اطلاعات برای مطالبات تکلیف توسط مناطق دیگر مغز، بازی می‌کند (۲۱). نتایج حاضر بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین دو گروه بزرگسالان جوان و سالمندان در دریافت اطلاعات بینایی برای تأثیر بر سرعت انتقال فاز نسبی از الگوی برون‌مرحله به الگوی درون‌مرحله بود. هنگامی که اطلاعات دریافتی از حس بینایی موجود بودند، نشان داده شد که بزرگسالان جوان عملکرد بهتری نسبت به سالمندان داشتند. در این راستا تحقیقات گذشته نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. با استفاده از محرک بینایی، لی و همکاران (۱۴) نشان دادند که در هر فرکانسی، سالمندان نسبت به جوانان در انجام هر دو الگو آهسته‌تر اجرا کردند. بنگرت و همکاران (۱۵) نیز دریافتند که زوال حرکات مربوط به سن به ویژه در الگوی برون مرحله در تکلیف ضربه‌زدن انگشتان مشاهده می‌شود. سالمندان هماهنگی برون‌مرحله را با ثبات کمتری نسبت به جوان‌ترها انجام دادند. در صورتی که نتایج پژوهش سرین و همکاران (۱۲) متناقض با یافته‌های حاضر بودند. سرین و همکاران از شرکت‌کنندگان جوان و مسن خواستند تا الگوهای درون‌مرحله و برون‌مرحله را با انجام حرکات فلکشن–اکستنشن آرنج‌شان مطابق با ریتم شنیداری با فرکانس ۱ هرتز اجرا کنند. نتایج پیشنهاد داد که اجرای الگوها تحت تأثیر نقایص مربوط به سن قرار نمی‌گیرد. این تناقض را می‌توان به روش‌های آزمایشی متفاوت نسبت داد. در تحقیق سرین و همکاران تمامی افراد در سرتاسر اجرای خود مطابق با فرکانس حرکتی ثابت (۱ هرتز) عمل کردند. شاید این سرعت ثابت (و بسیار کم) منجر به بروز تفاوت‌های سنی نشده باشد. چنانچه بیشتر تحقیقات گذشته (۱۲،۱۳) نشان دادند که در سرعت‌های کم، جوانان و سالمندان مشابه یکدیگر تکلیف هماهنگی دو دستی (خواه درون‌مرحله یا برون-مرحله) را انجام می‌دهند. در صورتی که در تحقیق حاضر به دلیل روند افزایشی در سرعت حرکت الگوی برون-مرحله، نهایتاً انتقال فاز نسبی در جهت الگوی درون-مرحله که الگوی باثبات‌تری بود، رخ داد که این موضوع مطابق با یافته‌های بسیاری از تحقیقات گذشته (۱،۱۸،۲۲) بود. یافته‌های حاضر نشان‌دهندهٔ وجود تفاوت معنی‌دار بین دو گروه در استفاده از اطلاعات حس شنوایی بود. همچنین در گروه سالمندان بین وضعیت‌های وجود و تحریف اطلاعات شنوایی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در هر کدام از گروه‌ها، انتقال فاز نسبی سریع‌تر در وضعیت دستکاری شنوایی نسبت به وضعیت شنوایی طبیعی اتفاق افتاد. نتایج نشان داد که هر دو گروه در نبود بینایی و حس عمقی از وجود شنوایی طبیعی برای اجرای الگوی هماهنگی استفاده نموده و در صورت ایجاد تحریف در این حس، عملکردشان تخریب شد. با استفاده از محرک شنوایی، ویشارت و همکاران (۱۳) به این موضوع پی بردند که حرکت برون‌مرحله دارای ثبات کمتری در شرکت‌کنندگان سالمند بود، اما تنها در حالتی که فرکانس بالا مورد نیاز بود. این نتیجه موافق با یافته حاضر بود. در صورتی که نتایج مطالعه فارسی و همکاران (۲۳) در زمینهٔ دستکاری حس شنوایی متفاوت با نتایج حاضر بود. در پژوهش فارسی و همکاران نشان داده شد که دستکاری اطلاعات دریافتی از حس شنوایی تأثیری بر اجرا و ثبات الگوهای هماهنگی درون‌مرحله و برون‌مرحله افراد بزرگسال جوان نداشت (۲۳). شاید این تناقض به دلیل اجرای متفاوت الگوی هماهنگی دو دستی بوده است، به نحوی که در تحقیق ایشان شرکت‌کنندگان الگوی هماهنگی دو دستی را تحت تنها سه سرعت پیش‌رونده انجام دادند. در صورتی که در تحقیق حاضر اجرای تکلیف هماهنگی بر اساس سرعت پیش‌رونده از

حد بسیار کم تا جایی بود که انتقال رخ دهد. احتمالاً در سرعت‌های بالاتر استفاده از حس شنوایی در مقابله با حواس دیگر برای سالمندان راحت‌تر و مفیدتر بوده است. در تحقیق بلایس و همکاران (۲۴) نشان داده شد که محرک بینایی نیاز به فعال‌سازی توجهی بیشتر نسبت به محرک‌های شنوایی و شنوای-بینایی دارد. ایشان نشان دادند که اطلاعات بینایی از منابع توجهی بیشتری نسبت به اطلاعات شنوایی استفاده می‌کنند. این محققان پیشنهاد دادند که سیستم بینایی اثربخشی کمتری برای درک اطلاعات ظریف زمانی در مقایسه با سیستم شنوایی دارد. از این‌رو در هر سنی، ثبات کم رفتاریِ هماهنگی برون-مرحله می‌تواند به تلاش بیشتر برای درک محرک بینایی که الگوی برون‌مرحله را مشخص می‌سازد، نسبت داده شود. اثربخشی بیشتر محرک‌های شنوایی و شنوایی-بینایی در مقایسه با محرک‌های بینایی بر ثبات زمانی حالات هماهنگی دو دستی تولید شده، در سالمندان بیشتر مورد تأکید واقع شده است. محققین پیشنهاد دادند این بهبود رفتاری عمدتاً مربوط به حفظ یکپارچگی ادراکی محرک شنوایی در سالمندان و تا حد کمتری مربوط به فرآیندهای توجهی در مورد الگوهای ساده (درون‌مرحله و برون‌مرحله) است. به طور کلی نتایج تحقیق بلایس و همکاران نشان داد که برای الگوهای ذاتی هماهنگی یعنی درون‌مرحله و برون‌مرحله که با محرک‌های شنوایی همراه می‌شوند، سالمندان قادر به اجرای رفتاری بدون به کارگیری توجه اضافی هستند. این پدیده، حفظ فرآیندهای توجهی را همراستا با افزایش سن به منظور بهبود ثبات زمانی حرکت تنها برای الگوهای ساده نشان داد (۲۴). مطابق با یافته‌های تحقیق بلایس و همکاران، در پژوهش حاضر نیز نشان داده شد که هرگاه سالمندان اطلاعات شنوایی را در اختیار داشتند نسبت به زمانی که اطلاعات بینایی را داشتند، بهتر عمل کرده و اجرای باثبات‌تری داشتند. اطلاعات مربوط به حس عمقی نقش مهمی را در اجرای بهینهٔ افراد سالمند در غیاب اطلاعات دریافتی از حس شنوایی ایفا کرد. لیکن در افراد جوان نتایج متفاوت بود. چنانچه در این گروه هرگاه تنها اطلاعات مربوط به بینایی وجود داشت عملکرد بهبود یافت و زمانی که اطلاعات تنها از حس شنوایی و یا شنوایی-بینایی دریافت شد، عملکرد بیشتر دچار کاهش شد. در نتیجه این یافته‌ها نشان دادند که بزرگسالان جوان حداقل برای انجام تکلیف هماهنگی دو دستی حاضر بسیار وابسته به وجود اطلاعات دریافتی از حس بینایی بودند. نتایج این پژوهش نشان دادند که اطلاعات دریافتی از حس عمقی در حضور اطلاعات شنوایی و همچنین در شرایط تحریف اطلاعات شنوایی بر ثبات اجرای الگوی هماهنگی دو دستی تأثیر گذاشت. این تأثیر به نحوی بود که هر دو گروه از وجود اطلاعات حس عمقی برای اجرای با ثبات خود سود بردند و در غیاب این اطلاعات، عملکرد هر دو گروه مختل شد. هرچند، تخریب بیشتر در اجرای گروه افراد سالمند مشاهده شد. این یافته همخوان با نتایج استیورس و همکاران (۲۵) بود. ایشان یافته‌های خود را به نفع کنترل حلقهٔ بستهٔ حرکت در حین اجرای حرکات با سرعت بالا بحث کردند. محققان پیشنهاد دادند که اطلاعات آوران جنبشی (حس عمقی)، پردازش شده و برای راهنمایی عمل تا نزدیک سرعت بیشینه به کار می‌روند. پس در این حالت کنترل حلقهٔ بسته برای تثبیت فاز نسبی مؤثرتر عمل می‌نماید. محققین پیشنهاد دادند که یک ارتباط درونی بین زمان‌بندی یکپارچهٔ پیام‌های پیش‌خوراند و کاربرد بازخورد جنبشی در هماهنگی دو دستی ریتمیک وجود دارد. لیکن در مورد تفاوت بین بزرگسالان جوان و افراد سالمند در استفاده از حس عمقی، متون عصب‌شناسی آشکار کرده‌اند که ناحیه حرکتی مکمل به پردازش مرکزی بازخورد حس عمقی در حین تولید حرکت کمک می‌کند (۲۶) و این کارکرد، نقش اصولی در کنترل هماهنگی بین عضوی بازی می‌کند (۲۷). از آنجایی که توانایی پردازش اطلاعات همراستا با مسن شدن کاهش می‌یابد، افراد مسن کاهش معنی‌داری هم در لرزش پوستی و هم در احساس ناشی از حرکات مفصل نشان می‌دهند (۲۸). بنابراین، ممکن است نقایص

مربوط به پردازش حس عمقی که به موازات افزایش سن در افراد به وجود می‌آید، کارکردهای حرکتی را که از این منبع اطلاعات حسی استفاده می‌کنند در برگیرد. با در نظر گرفتن این یافته‌ها، هیونینکس و همکاران (۲۸) در تحقیق خود فرض کردند که نقایص مربوط به سن در تکالیف هماهنگی پیچیده ممکن است پیامد کاهش توانایی پردازش حس عمقی در افراد مسن باشد. آنها پیشنهاد دادند که افراد مسن به هنگام اجرای تکالیف هماهنگی که نیاز به درجهٔ زیادی از پردازش اطلاعات حس عمقی دارد، تخریب عملکردی بیشتری از خود بروز می‌دهند. نتایج پژوهش حاضر نیز موافق با فرض هیونینکس و همکاران بود. بررسی اثر تعامل بین دو حس بینایی و شنوایی بر سرعت انتقال فاز نسبی در دو گروه نشان داد که در وضعیت تحریف اطلاعات حس عمقی، هنگامی که اطلاعات بینایی وجود داشته و اطلاعات شنوایی تحریف شدند، بیشترین تأثیر را بر اجرای الگوی هماهنگ دو دستی داشته است. این اثر مثبت در گروه بزرگسالان جوان نسبت به سالمندان بیشتر بود. همچنین نشان داده شد که افراد بزرگسال جوان نسبت به افراد سالمند، کمتر از وجود اطلاعات حس شنوایی در تعامل با حواس دیگر استفاده کردند. در صورتی که در مقابل، افراد سالمند بیشتر به وجود اطلاعات شنوایی تکیه کردند. برای توضیح نتایج مربوط به تعامل‌های حسی چندگانه می‌توان از مبانی توجه انتخابی استفاده کرد. توجه انتخابی شامل تقویت حسی اطلاعات خواسته شده نسبت به اطلاعات ناخواسته است (۲۹). مطالعات در برگیرندهٔ الگوهای شنوایی و الگوهای چند حسی، نتایج گوناگونی را در زمینهٔ حواس‌پرتی در حین اجرای تکالیف نشان داده‌اند. ارزیابی تطبیقی این الگوها مطابق با نوع حس درگیر نشان داده است حواس‌پرتی ناشی از سن برای حس بینایی نسبت به شنوایی بیشتر رخ می‌دهد. این الگوی متمایز تغییرات مربوط به سن در توجه انتخابی ممکن است به انعطاف حواس بینایی و شنوایی در مورد مکانیسم‌های فیلتر کردن متفاوت مربوط باشد. عوامل حواس‌پرتی که از طریق حس شنوایی ارائه می‌شوند، می‌توانند هم در سطح عصب‌شناختی محیطی و هم مرکزی فیلتر شوند. در مقابل، عوامل حواس‌پرتی که از طریق حس بینایی ارائه می‌شوند عمدتاً در سطوح مرکزی‌ترِ پردازش بازداری می‌شوند که ممکن است آسیب بیشتری با افزایش سن ببینند. محققان در این رابطه فرضیه‌ای پیشنهاد می‌کنند که حواس‌پرتی مربوط به سن وابسته به نوع حس درگیر است (۳۰). بنابراین، می‌توان گفت که احتمالاً افراد سالمند شرکت‌کننده در تحقیق حاضر از حس شنوایی خود به دلیل آسیب کمتر در قدرت فیلتر کردن اطلاعات نامربوط به اجرای تکلیف، بیشتر بهره برده‌اند و کمتر بر بینایی خود تکیه کردند. در نتیجه در وضعیتی که تنها اطلاعات بینایی وجود نداشت، بهتر از وضعیتی عمل کردند که بینایی وجود داشت. در وضعیتی که اطلاعات دریافتی از شنوایی منحرف شد، نتایج نشان داد که گروه سالمندان به دلیل استفاده از بینایی و کاهش نادیده گرفتن عوامل حواس‌پرتی که در این حس بیشتر رخ می‌دهد، با کاهش عملکرد و بی ثباتی بیشتر در اجرای تکلیف مواجه شدند. این موضوع نشان‌دهندهٔ نقش برتر شنوایی در برابر بینایی برای افراد سالمند بود. یافته‌های پژوهش حاضر در وضعیت تعامل اطلاعات شنوایی و حس عمقی نشان دادند هنگامی که اطلاعات این دو حس مهم وجود نداشتند، انتقال فاز در فرکانس‌های پایین‌تر برای هر دو گروه رخ داد. در وضعیتی که اطلاعات شنوایی وجود داشت، تحریف اطلاعات حس عمقی باعث تأثیر معنی‌دار در اجرای تکلیف هماهنگی شد و تحت وضعیتی که اطلاعات شنوایی تحریف شد، حالت دوگانه‌ای به این ترتیب به وجود آمد که در نبود بینایی، اطلاعات حس عمقی نقش مهمی داشته و در صورت تحریف حس عمقی، اطلاعات بینایی نقش مهمی را در اجرای تکلیف بر عهده داشته است. این یافته موافق با یافته‌های ورشوئرن و همکاران (۳۱) بود. ایشان در تحقیق خود از شرکت‌کنندگان خواستند تا با چشمان بسته دایره‌های آینه‌ای (متقارن) با

دو دست به طور همزمان رسم نمایند. در برخی از کوشش‌ها، حس عمقی دست برتر به وسیلهٔ کاربرد لرزش تاندون بر عضلات دوسر و دلتوئید قدامیِ دست برتر تحریف شد. نتایج نشان داد که اطلاعات حس عمقیِ منحرف شدهٔ یک دست، کمترین اثر را بر الگوی حرکت فضایی دست دیگر دارد. از طرف دیگر، جفت‌شدگی زمانی دو دست به وسیلهٔ انحراف حس عمقی به وجود آمده توسط لرزش تاندون تخریب شد. بنابراین، محققان نتیجه گرفتند که حس عمقی نقشی در هماهنگی دو دستی بازی می‌کند. این یافته با مطالعه‌ای در مورد بیمارانی که نقایص کمی در پیام‌های حرکتی و کاهش شدیدی در ورودی حسی از دست‌ها داشتند، حمایت نشد. اسپنسر و همکاران (۳۲) جفت‌شدگی اندام این بیماران را در تکالیف ترسیم دایرهٔ دو دستی نامتقارن و متقارن آزمون کردند. نتایج نشان داد که بیماران بدون حس عمقی، جفت‌شدگی قوی در حرکات دو دستی را حفظ نمودند. آنها در مقایسه با هماهنگی متقارن، تداخل بیشتری در هماهنگی نامتقارن نشان دادند. این نتایج تأکید کردند که حس عمقی ممکن نیست یک عامل بحرانی برای رویداد تداخل در هماهنگی دو دستی باشد. علت این ناهمخوانی را می‌توان با رویکرد طرح سه سطحی پویایی‌های هماهنگی دو دستی که توسط کلسو (۱۸) مطرح شد، توجیه کرد. در این رویکرد، یکی از سطوح نشان‌دهندهٔ قیود مرزی بوده که نشان می‌دهد پویایی‌های هماهنگی وابسته به تکلیف یا زمینه هستند. قیود مرزی شامل اطلاعات رفتاری هستند که مخصوص یا غیر مخصوص (فرکانس حرکت) مربوط به پویایی‌های متغیر مشترک (فاز نسبی) است. با توجه به این رویکرد، می‌توان به این موضوع پی برد که نوع تکلیف دو دستی نقش مهمی در پویای‌های هماهنگی ایفا می‌کند. چنانچه در تحقیق حاضر از تکلیف فلکشن–اکستنشن در ناحیه مچ دست استفاده شد که به عنوان تکلیف مجرد در نظر گرفته می‌شود در حالی که در تحقیق اسپنسر و همکاران از تکلیف مداوم ترسیم دایره استفاده شد. همچنین افراد شرکت‌کننده در تحقیق ایشان، با کاهش شدید ورودی حسی به دلیل بیماری خاصی که داشتند، مواجه بودند. احتمال دارد این افراد بیشتر از حواس دیگر خود برای اجرای تکالیف استفاده کنند و در کاربرد آن حس‌ها قوی‌تر شده باشند. در نتیجه کمتر بر اطلاعات دریافتی از حس عمقی خود تکیه کردند.

با دست یافتن به یافته‌های حاضر پی بردیم که احتمالاً اطلاعات آوران حسی می‌تواند اجزای مدل هاکن–کلسو–بونز را دچار سوگیری کند و ممکن است باعث تغییراتی در نقطه تعادل این مدل شود. بنابراین، ممکن است نیاز باشد تا مدل مذکور نقش اطلاعات حسی در پویایی‌های هماهنگی را در نظر بگیرد. از آنجایی‌که این تحقیق فقط در مورد جوانان و سالمندان مرد صورت گرفت، برای دستیابی به نتایج کامل و انجام مقایسه‌های کاربردی، انجام تحقیقات بیشتر بر روی دختران و زنان سالمند و همچنین در سنین متفاوت پیشنهاد می‌شود. برای پی بردن به مکانیسم‌های عصبی زیربنایی در بحث پویایی‌های هماهنگی دو دستی و مفهوم انتقال فاز نسبی، انجام پژوهش‌هایی با استفاده از دستگاه‌های پیشرفته ثبت مغزی (الکتروآنسفالوگرافی، نقشه مغزی، تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای و ...) پیشنهاد می‌شود.

قدردانی

محققین از کلیه شرکت‌کنندگان جوان و سالمند در اجرای پژوهش حاضر و همچنین از راهنمایی‌های پروفسور اُرون لِون عضو گروه تحقیقاتی نروپلاستیسیتی و کنترل حرکت دانشگاه لیوون بلژیک کمال تقدیر و تشکر را به عمل می‌آورند.

منابع

1-Haken H, Kelso JAS, Bunz H. A Theoretical-Model of Phase-Transitions in Human Hand Movements. Biol Cybern. 1985; 51(5):347-356.

2-de Oliveira CS. The neuronal basis of bimanual coordination: recent neurophysiological evidence and functional models. Acta Psychol . 2002; 110:139–159.

3-Aramaki Y, Honda M, Okada T and Sadato N. Neural Correlates of the Spontaneous Phase Transition during Bimanual Coordination. Cereb Cortex. 2006; 16:1338-1348.

4-Beek PJ, Peper CE, Daffertshofer A. Modeling rhythmic interlimb coordination: Beyond the Haken–Kelso–Bunz model. Brain Cognition. 2002; 48:149-165.

5-de Boer BJ, Peper CE, Beek PJ. Frequency-induced changes in interlimb inter-actions: increasing manifestations of closed-loop control. Behav Brain Res. 2011; 220:202–14.

6-Peper C(L.)E, Ridderikhoff A, Daffertshofer A, Beek PJ. Explanatory limitations of the HKB model: Incentives for a two-tiered model of rhythmic interlimb coordination. Hum Movement Sci. 2004; 23:673-697.

7-Schmidt RA, Lee TD. Motor control and learning. 4thed. Champaign. IL: Human Kinetic; 2005.

8-Jackson GM, Jackson SR ,Newport R, Harvey M. coordination of bimanual movements in centrally deafferented patient executing open loop reach-to-grasp movements. Acta Psychol. 2002; 110:231-46.

9-Takeuchi N, Oouchida Y, Izumi SI. Motor Control and Neural Plasticity through nterhemispheric Interactions. Neural Plast. 2012; 2012: 1-13.

10-Reuter-Lorenz PA, Stanczak L. Differential effects of aging on the functions of the corpus callosum.Dev Neuropsychol. 2000; 18(1):113–137.

11-Greene LS Williams HG. Aging and coordination from the dynamic pattern perspective. 1996; In A.M. Ferrandez & N. Teasdale (Eds.). Changes in sensory and motor behavior in aging. (pp. 89–131). Amsterdam: Elsevier.

12-Serrien DJ, Steyvers M, Debaere F, Stelmach GE Swinnen SP. Bimanual coordination and limb-specific parameterization in patients with Parkinson's disease. 2000; Neuropsychologia. 38 (13):1714-1722.

13-Wishart LR, Lee TD, Murdoch JE Hodges NJ. Effects of Aging on Automatic and Effortful Processes in Bimanual Coordination. J Gerontol: Psychol Sci. 2000; 55B, P85–P94.

14-Lee TD, Wishart LR Murdoch JE. Aging, Attention, and Bimanual Coordination. Can J Aging. 2002; 21(4):549-557.

15-Bangert AS, Lorenz PA, Walsh Schachter CM, Seidler RD. Bimanual coordination and aging: Neurobehavioral implications. Neuropsychologia. 2010; 48:1165–70.

16-Grillo E, Almeida Q, Lee T Verdolini AK. Do vision and audition influence bimanual timing coordination for in-phase and anti-phase patterns in a linear slide task? The open sports science journal. 2010; 3:105-110.

17-Zanone PG, Kelso JAS. Evolution of Behavioral Attractors with Learning -Nonequilibrium Phase-Transitions. J Exp Psychol Human. 1992; 18(2):403-421.

18-Kelso JAS. Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior. Cambridge, MA: The MIT Press; 1995.

19-Baldissera F, Cavallari P, Marini G, Tassone G. Differential Control of in-Phase and Antiphase Coupling of Rhythmic Movements of Ipsilateral Hand and Foot. Exp Brain Res. 1991; 83(2):375-380.

20-Fling BW, Christine M, Walsh Banger AS, Lorenz PA, Welsh RC, et al. Differential callosal contributions to bimanual control in young and older adults. J Cognitive Neurosci. 2011; 23(9):2171-85.

21-Liederman J. The dynamics of interhemispheric collaboration and bemispheric control. Brain Cognition. 1998; 36:193-208.

22- Schöner G, Kelso JAS. Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. Sci. 1998c; 239:1513-1520.

23-Farsi AR, Vaez Mousavi MK, Norouzi E. The effects of speed and sensory feedbacks interference on perform in-phase and anti-phase patterns of bimanual coordination. In press; Motor development and learning. (In Persian).

24-Blais M, Martin E, Albaret JM, Tallet J. Preservation of perceptual integration improves temporal stability of bimanual coordination in the elderly: An evidence of age-related brain plasticity. Behav Brain Res. 2014; 275:34–42.

25-Steyvers M, Verschueren SMP, Levin O, Ouamer M, Swinnen SP. Proprioceptive control of cyclical bimanual forearm movements across different movement frequencies as revealed by means of tendon vibration. Exp Brain Res. 2001; 140:326–334.

26-Radovanovic S, Korotkov A, Ljubisavljevic M, Lyskov E, Thunberg J, Kataeva G, et al. Comparison of brain activity during different types of proprioceptive inputs: A positron emission tomography study. Exp Brain Res. 2002; 143:276–285.

27-Wenderoth N, Debaere F, Swinnen SP. Neural networks involved in cyclical interlimb coordination as revealed by medical imaging techniques. 2004b. In: Neurobehavioral determinants of interlimb coordination: a multidisciplinary approach. (Swinnen SP, Duysens J, eds), pp 127–222. Boston: Kluwer Academic.
28-Heuninckx S, Debaere F, Wenderoth N, Verschueren S, Swinnen SP. Ipsilateral coordination deficits and central processing requirements associated with coordination as a function of aging. J. Gerontol B. Psychol. Sci Soc Sci. 2004; 59:225–232.
29-Carrasco M, Ling S, Read S. Attention alters appearance. Nat Neurosci. 2004; 7:308 –313.
30- Guerreiro MJS, Murphy DR, Van Gerven PWM. The role of sensory modality in age-related distraction: A critical review and a renewed view. Psychol Bull. 2010; 136:975–1022.
31-Verschueren SM, Swinnen SP, Cordo PJ, Dounskaia NV. Proprioceptive control of multijoint movement: unimanual circle drawing. Exp Brain Res. 1999; 127:171–181.
32-Spencer RMC, Ivry RB, Cattaert D, Semjen A. Bimanual coordination during rhythmic movements in the absence of somatosensory feedback. J Neurophysiol. 2005; 94(4):2901-2910.
33-Temprado JJ, Vercruysse S, Salesse R, Berton E. A dynamic systems approach to the effects of aging on bimanual coordination. Gerontol. 2009; 56:335–44.

The Effect of the Sensory Information and Age on the Transition of the Relative Phase in Bimanual Coordination Pattern

Rasoul Abedan Zadeh[1*], Behrooz Abdoli[2], Ali Reza Farsi[2]

1-Assistant Professor of Motor Behavior.
2-Associated Professor of Motor Behavior.

1-Department of Motor Behavior, Sport Science Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2-Department of Motor Behavior, Sport Science Faculty, Shahid Beheshti University of Tehran, Tehran, Iran.

**Corresponding author:*
Rasoul Abedan Zadeh; Department of Motor Behavior, Physical Education and Sport Science Faculty, Shahid Beheshti Univercity of Tehran, Tehran, Iran.
Tel:+989132620144
Email: r.abedanzadeh@scu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Integration and interpret of sensory feedback helps to performing of bimanual coordination tasks. The purpose of present research was to study of the effect of sensory information and age differences on the transition of the relative phase in bimanual coordination task.

Subjects and Methods: Fifteen male young adults (25±3.9 y) and 15 male elder (66.06±6.12 y), all of whom right-handed, were selected by available sampling method. Participants started performing the task with bimanual coordination device with anti-phase pattern at frequency 0.75 Hz which was increased by 0.25 Hz in 5-seconds steps and as far as the transition occurred toward in-phase pattern. The final frequency considered was at 5 Hz. The task was performed under 8 sensory conditions. Data analyzed by mixed analysis of variance with repeated measures and paired-samples t-test with Bonferroni correction for pair comparisons of the interaction effects.

Results: The findings revealed that main effects of senses and group and also the interaction effects between vision-audition, vision-proprioception, audition-proprioception and audition-group were significant ($P<0.05$). Also the results revealed that the young adults were depended on vision and proprioception information and elders were more depended on audition and proprioception information for performing anti-phase pattern.

Conclusion: These results showed the positive effect of afferent information on the speed of the relative phase. In addition, these findings suggest that bimanual coordination task performed under close-loop control system.

Keywords: Sensory information, Bimanual coordination, Relative phase transition.

►*Please cite this paper as:*
Abedan Zadeh R, Abdoli B, Farsi AR. The Effect of the Sensory Information and Age on the Transition of the Relative Phase in Bimanual Coordination Pattern. Jundishapur Sci Med J 2017;15(6):619-633.

Received: Oct 4, 2016 **Revised: Jan 5, 2017** **Accepted: Jan 25, 2017**