پژوهش در علوم ورزشی شماره ۲۴، پاییز ۱۳۸۸، صص ۸۴-۶۱

اثـر باقی‌مانده از حضور مانع بر مسـیر حرکت‌های نشـانه‌گیری با دست

دکتر حمید صالحی[۱]، دکتر عباس بهـرام[۲]، دکتر محمد دارینی[۳]،
دکتر علیرضا کیامنش[۴]

۱. استادیار دانشگاه اصفهان
۲. دانشیار دانشگاه تربیت معلم تهران
۳. استادیار دانشگاه شاهد
۴. استاد دانشگاه تربیت معلم تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۵/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۶/۱۴

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، پاسخ به این سؤال بوده است که آیا در نشانه‌گیری هدف‌هایی که در برخی از موارد مانعی در مسیر ظاهر می‌شود، برنامهٔ مسیر حرکت های قبلی مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد یا خیر؟ به همین منظور، در قالب دو آزمایش، موقعیت دست راست تعداد ۵۵ دانشجوی پسر داوطلب (۱۸ تا ۲۲ سال) در شرایطی که حضور مانع در کوشش‌های پیاپی (در آزمایش اول به شکل تصادفی؛ در آزمایش دوم با توالی قابل پیش‌بینی) تغییر می‌کرد، با استفاده از مبدل‌های پتانسیومتری متصل به یک بازوی دو مفصله اندازه‌گیری شد. در آزمایش اول، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که زاویهٔ شروع مسیر (شاخص طرح‌ریزی) حرکات بدون مانعی که در حرکت قبل، مانع وجود داشت بزرگ‌تر از وقتی بود که در دو حرکت متوالی مانع ظاهر نمی‌شد ($p<۰/۰۰۱$). در آزمایش دوم، از شباهت ($F<1$) تغییرات زاویهٔ شروع حرکت گروه‌های توالی قابل پیش‌بینی با و بدون دستورالعمل با گروه الگوی تصادفی نتیجه‌گیری شد که اثر باقی‌مانده از حضور مانع در کوشش‌های قبلی نتیجهٔ پیش‌بینی توالی کوشش‌ها نبوده، بلکه تنها با برنامه‌ریزی مسیر مرتبط بوده است. در کل، این‌گونه استنباط شد که کنترل یک توالی از حرکت‌های پرهیز از مانع، مستقل از حرکات قبلی نیست و اینکه در طرح‌ریزی حرکات‌های مورد نظر، کمینه سازی هزینه‌های

محاسباتی شکل‌گیری مسیر به صرف کمترین هزینهٔ بیومکانیکی اندام مجری ارجحیت دارد.

کلیدواژه‌های فارسی: طرح‌ریزی حرکت، بهینه‌سازی هزینه، نشانه‌گیری، مسیر.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

کنترل حرکتی[1] به توانایی نظام‌های بیولوژیک و مصنوعی برای برنامه‌ریزی، آغاز، حفظ، نظارت بر نحوهٔ انجام و اصلاح حرکت برای رسیدن به اهداف محیطی می‌پردازد. در کنترل حرکتی، مدل، نظام یا فرآیندی است که می‌توان به‌وسیلهٔ آن پیامدهای مختلف یک نظام را پیش‌بینی کرد (۱).

دلایلی وجود دارد که نشانگر استفادهٔ ساز و کارهای کنترلی مختلف در تولید حرکاتی با درجهٔ پیچیدگی متفاوت است. اما اگر دستگاه‌های مسئول در کنترل حرکت از یک قاعدهٔ کلی برای تولید انواع حرکات استفاده کنند، کارایی بالاتر می رود. اگر این فرضیه مورد تأیید قرار گیرد، برای تولید حرکت‌های مختلف تنها باید جزئیات تغییر کند، بنابراین روش مورد نظر می‌تواند در شرایط مختلف به‌کار گرفته شود. اگر بپذیریم که در سطوح بالای سلسله مراتب کنترل حرکت (سطح تصمیم گیر[2]) از یک قاعدهٔ کلی استفاده می‌شود، این را نیز باید پذیرفت که تنها در سطوح پایین (سطوح مرتبط با اندام مجری[3])، آماره‌های کنترلی[4] مربوط به تکلیف یا شرایط محیطی اعمال می‌شود (۲، ۳).

یکی از انواع حرکت‌هایی که پژوهشگران حوزهٔ کنترل حرکتی سعی کرده‌اند ساز و کارهای کنترلی دخیل در تولید آن را بررسی کنند، حرکت‌های نشانه‌گیری با دست بوده است. در شرایطی که مانعی برسر راه رسیدن به هدف نباشد، مسیر حرکت دست انسان به خط مستقیم بسیار نزدیک است (۴؛ ۵؛ ۶). با قرار گرفتن مانع، انحنای مسیر تغییر می‌کند (۶؛ ۷؛ ۸؛ ۹). مدل هایی که توانسته‌اند ویژگی های مسیر این شکل از حرکت‌های دست انسان را تبیین نمایند، بر اساس اصل کارایی بیومکانیکی و اصل بهینه‌سازی هزینه‌های فیزیکی بنا شده‌اند (۵، ۶، ۷، ۹). در همهٔ این مدل‌ها پیش فرض این بوده که برنامه‌ریزی مسیر حرکت‌های قبلی روی برنامه‌ریزی حرکتی در شرف انجام، دارای تأثیر بسیار کم است و یا هیچ‌گونه تأثیری ندارد و حتی حرکات متوالی نیز به‌طور مستقل کنترل می‌شوند. براساس پیش‌بینی این مدل‌ها، برای برنامه ریزی هر توالی از حرکات، برای هر حرکت جدید، یک فرآیند کامل طرح‌ریزی و اجرا خواهد شد (۹). کارایی بیومکانیکی و بهینه‌سازی هزینه‌های فیزیکی در اجرای حرکت، بسیار مهم است، اما برای انجام حرکت‌های پیچیده (مانند رسیدن به هدف در حضور مانع) فرآیند

---

1. Motor control
2. Executive level
3. Effectors
4. Control parameters

برنامه‌ریزی، بار محاسباتی سنگینی را به سامانهٔ ادراکی ـ حرکتی انسان تحمیل می‌کند (۷، ۹). این مهم باعث می‌شود در این شکل از حرکت، توجه به کارایی محاسباتی فرایند برنامه‌ریزی اهمیت پیدا کند. در مدل‌هایی که برای تبیین حرکت‌های نشانه‌گیری با مانع (۷، ۹) و بدون مانع (۵، ۶) پیشنهاد شده، با لحاظ پیش فرض استقلال فرآیند برنامه‌ریزی و لزوم صرف کمترین انرژی بیومکانیکی، اهمیت افزایش کارایی برنامه‌ریزی که در نتیجهٔ تعدیل و استفادهٔ مجدد از برنامه های قبلی (زمینهٔ قبلی) حادث می‌شود، نادیده گرفته شده است.

با مرور ادبیات تحقیق، به پژوهش‌هایی برمی‌خوریم که ارتباط نزدیکی با ایدهٔ استفادهٔ مجدد از بخش‌هایی از برنامه های قبلی دارند. به‌عنوان مثال، لوزانت و همکاران نشان داده‌اند که سرعت هدف در کوشش‌های قبلی روی عملکرد نشانه‌گیری آزمودنی‌ها اثر دارد (۱۰؛ ۱۱). برگن و همکاران (۱۲) نشان داده اند که موقعیت قبلی جسم، روی زمان اجرای عمل چنگ زدن اثرگذار است. کنت و همکاران (۱۳) نیز اخیراً نشان داده اند که در عمل دسترسی و چنگ زدن، سابقهٔ عمل قبلی (چرخش ساعتگرد و پادساعتگرد جسم) روی هزینه انجام عمل اثرگذار است که البته این اثر با سن آزمودنی‌ها رابطهٔ معکوس دارد. کیو (۱۴) نیز نشان داده است که تجربهٔ قبلی آشنایی با شکل جسم، یادآوری نام آن اثر مثبت دارد. در مقابل، کانت و همکاران (۱۵) در آزمایش دوم و سوم خود نشان دادند که استفاده از شکل و یا نام یک جسم پیش از چنگ زدن به آن، اثری بر زمان واکنش اجرای عمل ندارد. جکس و رزنبام (۱۶) نشان داده‌اند که در عمل دسترسی، تجربهٔ قبلی مواجه شدن با مانع باعث می‌شود برخی از شاخص‌های مسیر حرکت افزایش و برخی دیگر کاهش یابند. ول و همکاران (۱۷) نیز نشان داده‌اند که در عمل دسترسی اثر تجربه‌های پیشین از یک دست، به دست دیگر منتقل می‌شود.

هنگامی که در یک توالی از حرکت های تقریباً مشابه و تکراری یک برنامه باید دو یا چند بار مورد استفاده قرار گیرد، به احتمال زیاد برنامه‌ریزی آن آسان‌تر از زمانی است که هر بار برنامه‌ای جدید و به‌طور مجزا اجرا شود (۱۸، ۱۹، ۲۰). براساس شواهد موجود، تغییر و استفادهٔ مجدد از برنامه‌هایی که پیش‌تر اجرا شده‌اند، هم باعث ارتقاء و هم افت عملکرد می‌شود (۲۱، ۲۲). به احتمال زیاد کارائی استفادهٔ مجدد، به قسمت‌هایی از برنامه که دوباره مورد استفاده قرار می گیرد و نیز مؤثر بودن یا نبودن این بخش‌ها بستگی دارد (۲۲، ۲۰).

بررسی سوابق تحقیق نشان می‌دهد، تاکنون تحقیقی در زمینهٔ تعدیل و استفادهٔ مجدد از مسیر حرکت‌های نشانه گیری در حضور یا عدم حضور مانع، برای بررسی اثر باقی‌مانده از مسیر حرکت های قبلی بر شاخص‌های برنامه‌ریزی مسیر حرکت‌های نشانه‌گیری دو مفصلهٔ دست انسان انجام نگرفته است. بنابراین، هدف از طراحی و اجرای دو آزمایش این مقاله، پاسخ به این

سؤال بوده است که "آیا در برنامه‌ریزی انتخاب مسیر یک توالی از حرکت‌های نشانه‌گیری با مانع و بدون مانع، می‌توان اثری از کوشش‌های قبلی به‌دست آورد؟ و اگر چنانچه اثر باقی‌مانده مشاهده شد، آیا می‌توان از آن به عنوان دلیلی بر استفاده از ساز و کار تعدیل و استفادهٔ مجدد از برنامهٔ حرکت‌های قبلی در فرایند برنامه‌ریزی و کنترل مسیر حرکات نشانه‌گیری استفاده کرد، یا اینکه اثر مورد نظر نتیجهٔ فرایندهای دیگری است؟" اگر شواهدی مبنی بر صحت فرضیهٔ تحقیق (فرضیهٔ استفادهٔ مجدد) به‌دست آید، می‌توان ادعا کرد که انتخاب عمل و برنامه‌ریزی مسیر حرکات نشانه‌گیری با و بدون مانع به سابقهٔ عمل (مسیر انتخاب شدهٔ قبلی) بستگی دارد. در صورتی که این فرضیه تأیید شود، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به احتمال زیاد در توالی حرکات نشانه‌گیری با مانع و بدون مانع کارائی محاسباتی فرایند طرح‌ریزی مسیر حرکت بر کارائی بیومکانیکی اجرای این شکل از حرکات ارجحیت دارد.

روش‌شناسی آزمایش اول

آزمودنی‌ها

تعداد ۳۳ دانشجوی پسر در مقطع کارشناسی (با میانگین و انحراف معیار ۳/۶۸±۲۱/۹۶سال) و راست دست از دانشگاه اصفهان در این آزمایش شرکت کردند. همهٔ این افراد براساس درخواست پژوهشگر و با جلب رضایت و موافقت کتبی به‌طور داوطلبانه در این تحقیق شرکت کردند. براساس غربالگری انجام گرفته پیش از انجام آزمایش‌ها، داوطلبانی که فاقد هرگونه نقص جسمی، حسی ـ حرکتی و بینایی (به‌جز بینایی اصلاح شده) و تجربهٔ قبلی با تکالیف مورد نظر یا تکالیف مشابه بودند، انتخاب شدند. افراد مورد نظر در قبال شرکت در جلسهٔ آزمون از شرکت در دوجلسه از درس تربیت‌بدنی یک، معاف شدند.

متغیرها، ابزار و روش اجرا

برای بررسی اثر تجربهٔ قبلی بر خط سیر حرکت دست، دو نوع حرکت نشانه‌گیری با مانع و بدون مانع با یکدیگر تلفیق شدند. به این ترتیب که در کوشش‌های پیاپی، احتمال حضور مانع دستکاری گردید. متغیر مورد بررسی زاویهٔ شروع[1] مسیر حرکت دست بود که به‌صورت زاویهٔ بین خط مستقیمی که از نقطهٔ شروع تا هدف امتداد دارد، با خطی که نقطهٔ شروع آن نقطهٔ آغاز حرکت و نقطهٔ انتهایی آن ۱۵۰ هزارم ثانیه پس از شروع حرکت می‌باشد (برحسب هزارم

[1]. Start angel (SA)

درجه) تعریف شده است. الیوت و همکاران (۲۳) معتقدند، قسمتی از حرکت که در فاصلهٔ ۱۵۰ هزارم ثانیهٔ اول حرکت قرار دارد، معرف طرح‌ریزی قبلی نظام ادراکی ـ حرکتی است. پس از این بازهٔ زمانی، به احتمال زیاد ساز و کار کنترل حرکت به‌صورت «تصحیح حین حرکت[1]» خواهد بود.

ابزار مورد استفاده برای اندازه گیری متغیرهای مورد نظر، دستگاه ثبت و تحلیل مسیر حرکت‌های دست انسان بود که توسط پژوهشگر و همکارانش (قبادی و عظیمی) در سال ۱۳۸۵ در هستهٔ دینامیک، رباتیک شهرک علمی تحقیقاتی وابسته به دانشگاه صنعتی اصفهان طراحی و ساخته شده است. روایی منطقی ابزار و نیز نرم‌افزار آن، با بررسی دقیق الگوریتم و انجام آزمایش‌های مقدماتی که توسط پژوهشگر و چند متخصص (کشمیری، هادیان، جزایری، مهندسان مکانیک و الکترونیک؛ و نمازی‌زاده و بهرام، متخصصان رفتار حرکتی) بررسی و مورد تأیید قرار گرفت. روایی معیار اندازه‌گیری نیز با مقایسهٔ نتایج حاصل از ابزار با ابزار دقیق سلول نوری[2] (دستگاه اندازه گیری نیوتست پاورتایمر[3]، ساخت فنلاند، ۲۰۰۲؛ با دقت**msec**۱) و استفاده از روش آماری روایی هم‌زمان[4] مورد تأیید قرار گرفت (**p**<۰/۰۰۱ و ۰/۹۵۲=**r**(۹۴)). برای تعیین پایایی نیز از روش ضریب همبستگی درون طبقه‌ای[5] استفاده شد، بدین ترتیب ضریب پایایی شاخص عملکرد ابزار r=۰/۹۳ به‌دست آمد که ضریب بسیار بالایی است (برای مطالعهٔ شرح روش محاسبهٔ روایی معیار اندازه گیری و پایایی به منبع شمارهٔ ۲۴ مراجعه شود).

دستگاه مورد نظر طوری ساخته شده است که آزمودنی روی یک صندلی مخصوص با قابلیت تغییر ارتفاع می‌نشیند و دست برتر خود را روی محل ویژهٔ این منظور قرار می‌دهد. بازوهای مکانیکی ابزار مورد نظر طوری ساخته شده‌اند تا تنها قابلیت انجام حرکت با دو درجهٔ آزادی در صفحهٔ افق (حرکت خم و راست کردن افقی شانه و آرنج) میسر باشد (شکل شمارهٔ ۱). اطلاعات حاصل از حرکت‌های دست توسط سه مبدل پتانسیومتری که در زیر سه مفصل تعبیه شده‌اند، به یک رایانه منتقل و با حداقل تأخیر پردازش و به‌صورت تصاویر مجازی از موقعیت مچ و ساعد، به همراه ارائهٔ برنامه‌ریزی شدهٔ اهداف و موانع فرضی روی صفحهٔ نمایشگری که تقریباً عمود بر خط دید تنظیم شده بود ظاهر می‌شد. در جلسهٔ آزمون ابتدا به منظور آشنایی با ابزار و نحوهٔ انجام تکلیف آزمایشگاهی، دستورالعمل‌های آموزشی مربوط به هر آزمایش در

---

1. Concurrent correction
2. Photo cell
3. Newtest powertimer 1.0 testing system
4. Concurrent validity
5. Intraclass correlation coefficient

اختیار آزمودنی قرار گرفت. روش کلی اجرای آزمایش‌ها برای تمام آزمایش‌ها به این ترتیب بود که هر شرکت‌کننده باید دستگیرهٔ عمودی دستگاه را به حالت مشت در دست می‌گرفت؛ پس از آن، کاربر بندهای تعبیه شده برای مهار حرکت مچ را می‌بست و با اندازهٔ دست تنظیم و محکم می‌کرد، در ادامه کمربندهای صندلی نیز تنظیم و بسته می‌شد. این کمربندها بدین جهت مورد استفاده قرار می‌گرفت تا کلیهٔ حرکات احتمالی داوطلب از ناحیهٔ مچ و تنه مهار شود. ارتفاع صندلی مورد نظر نیز به گونه‌ای تنظیم می‌شد تا بازو در حالت افقی (زاویهٔ آبداکشن ۸۵-۹۰ درجه) قرار گیرد. کلیهٔ اقدامات یاد شده به این جهت انجام گرفت تا دست تنها دو درجهٔ آزادی (دوران افقی در مفاصل شانه و ساعد) داشته باشد.

شکل ۱. دستگاه ثبت و تحلیل مسیر حرکت‌های دست و نحوهٔ عمل آزمودنی‌ها

پس از اعلام آمادگی شرکت‌کننده برای انجام تکلیف، کاربر ابتدا گزینهٔ شروع دستهٔ کوشش و سپس ورود به محیط مجازی را انتخاب می‌کرد. شرکت‌کننده از این به بعد، مچ دست و ساعد

خود را در یک محیط مجازی مشاهده می نمود. او موظف بود ابتدا دست خود را به دایرهٔ آبی رنگی (با قطر ۲۰ میلی‌متر) که در وسط فضای کاری قرار داشت، برساند. زمانی که مچ به مدت کمی (۲۵۰ هزارم ثانیه) روی این دایره باقی می ماند، رنگ این دایره از آبی به سبز تغییر می‌یافت. به مجرد سبز شدن دایرهٔ مرکزی، شمارش تعداد کوشش‌ها و ثبت کلیهٔ ویژگی‌های مورد نظر آغاز می‌شد. هم‌زمان با سبز شدن این دایره، یکی از اهدف دوازده‌گانه که آن هم دایرهٔ هم اندازه و هم شکل دایرهٔ مرکزی بود، در پیرامون فضای کاری ظاهر می‌شد. آزمودنی باید با سرعتی بیش از ۶۰ متربرثانیه و با دقت، مچ دست خود را به مکان هدف می‌رساند (حرکت به سمت خارج). وقتی مچ دست به دایرهٔ هدف می‌رسید و به مدت ۲۵۰ هزارم ثانیه متوقف می ماند، رنگ آن از آبی به سبز تغییر می‌کرد. پس از سپری شدن زمان توقف، رنگ سبز دایرهٔ هدف ناپدید می‌شد که علامت، این بود که آزمودنی باید با سرعت و دقت مناسب حرکت بازگشت به مرکز را انجام دهد. آزمودنی باید پس از رسیدن به دایرهٔ مرکزی دوباره مچ دست خود را به میزان ۲۵۰ هزارم ثانیه روی این نقطه نگاه می‌داشت تا یکی دیگر از هدف‌ها روی محیط دایره (به قطر ۲۰۰ میلی‌متر) ظاهر شود. رسیدن به دایرهٔ مرکزی، پایان یک کوشش محسوب می‌شد.

در هر دسته کوشش، تعداد ظهور هدف‌های پیرامونی به‌صورت مساوی ولی به‌گونهٔ شبه تصادفی بود. تنها محدودیت موجود در ظاهر شدن هدف‌ها این بود که هدف در دو کوشش پیاپی در یک نقطه ارائه نمی‌شد (در این وضعیت آزمودنی مجبور می‌شد هر بار در فرآیند طرح‌ریزی حرکت درگیر شود). روال انجام آزمایش به این شکل طراحی شد که در برخی از کوشش‌ها بتوان مانعی در مسیر رسیدن به هدف قرار داد. در کوشش‌هایی که مانع برسر راه رسیدن به هدف ظاهر می‌شد، این مانع درست در وسط شعاعی از دایره نمایان می‌گردید که مرکز را به هدف مورد نظر وصل می‌کرد. مانع، یک دایرهٔ توپر قرمز رنگ بود که اندازهٔ آن، به اندازهٔ دایره‌های مرکزی و پیرامونی در نظر گرفته شد. مانع درست زمانی که هدف روی دایرهٔ پیرامون نمایان می‌شد ظاهر می‌گشت و در طول حرکت رفت و برگشت روی صفحه باقی می‌ماند. عدم برخورد مچ و کف دست تضمین‌کنندهٔ برخورد نکردن دیگر قسمت‌های دست با مانع نیست، به همین دلیل مچ و ساعد به صورت اجسام مجازی روی صفحهٔ نمایشگر نشان داده شد. آزمودنی باید در هنگام دور زدن مانع این قانون را رعایت می‌کرد که هیچ یک از بخش های دست با مانع برخورد نکند. به هر حال هرگاه برخوردی صورت می‌گرفت، هشداری صوتی شنیده می شد و وضعیت نمایش مانع به‌صورت چشمک زن تغییر می‌کرد. در جریان انجام کوشش‌ها نیز اگر سرعت در حرکت‌های رفت یا برگشت از ۶۰ متر بر ثانیه کمتر می‌شد، پیغام درخواست

برای حرکت سریع تر روی صفحهٔ نمایشگر ظاهر می‌شد. برای اطمینان یافتن از این موضوع که آزمودنی با حداکثر سرعت و بدون برخورد با مانع حرکت‌های خود را انجام می‌دهد، بعد از پایان هر دسته کوشش به آنها نمره‌ای اختصاص داده می‌شد که در فاصلهٔ استراحت بین دسته کوشش‌ها روی صفحهٔ نمایشگر رایانه ظاهر می‌شد. انجام آزمون برای هر شرکت‌کننده، تنها در یک روز انجام شد. فاصلهٔ استراحت بین دسته کوشش‌ها، سه دقیقه در نظر گرفته شد. هر آزمودنی در کل ۲۸۸ کوشش را در زمان حدود ۳۰ دقیقه انجام می‌داد. دو دستهٔ ۴۸ کوششی ابتدایی به عنوان کوشش‌های تمرینی و برای آشنایی آزمودنی‌ها با تکلیف و شرایط اجرای آن در نظر گرفته شد و در تجزیه و تحلیل‌ها اطلاعات آنها استفاده نشد. کوشش‌های اصلی، پس از دو دسته کوشش تمرینی اجرا شد که شامل چهار دستهٔ ۴۸ کوششی بود.

سه گروه یازده نفری (با گزینش تصادفی ساده درون گروه‌ها) در این آزمایش شرکت کردند. تفاوت بین گروه‌ها در احتمال ارائهٔ مانع در کوشش‌های پیاپی بود. آزمودنی‌های گروه (الف) حرکات را در حضور مانع (۱۰۰ درصد) تجربه کردند، در حالی که گروه (ب) حرکات را بدون مانع (صفر درصد) انجام می‌دادند. گروه (ج) نیز در برخی از کوشش‌ها (۵۰ درصد) به‌طور تصادفی با مانع مواجه می‌شدند. بنابراین در کل، چهار نوع کوشش وجود داشت: ۱. کوشش‌های گروه (الف) که مانع در آنها همیشه ظاهر می‌شد [A]، ۲. کوشش‌هایی از گروه (ج) که در هنگام ارائه تصادفی (۵۰ درصد)، در آنها مانع وجود داشت [R+]، ۳. کوشش هایی از گروه (ج) که در هنگام ارائه تصادفی (۵۰ درصد)، مانع در آنها ظاهر نمی‌شد [R-] و در نهایت ۴. کوشش‌های گروه (ب) که هیچ‌گاه مانعی بر سر راه آنها ظاهر نمی‌شد، [N][1]. R+ و R– کوشش‌های اصلی بودند که با کوشش‌های کنترل نظیر خود (A برای R+ + و N برای R- -) مقایسه شده‌اند. توضیح علامت‌های اختصاری R± این است که از سمت راست به چپ، علامت مثبت یا منفی اول نشانهٔ کوشش nام و علامت مثبت یا منفی دوم، نشانهٔ کوشش n-1 ام می‌باشد.

روش‌های آماری

---

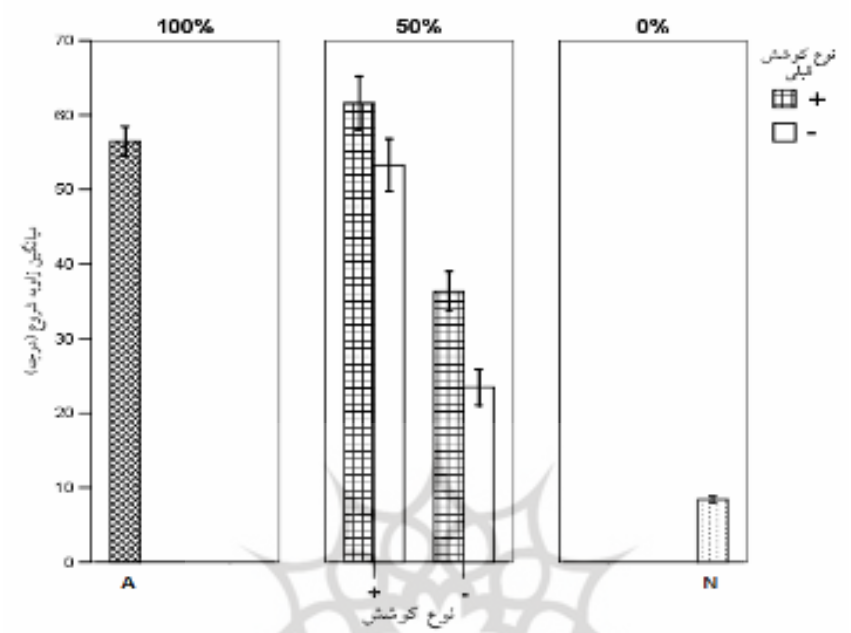
[1]. **حرف A ابتدای کلمهٔ always ، به معنای ظهور همیشگی مانع، R+ به معنای وجود مانع در کوشش nاُم به‌صورت تصادفی (random+)، حرف R-، به معنای عدم وجود مانع در کوشش nاُم در هنگام ارائهٔ تصادفی مانع (random–) و حرف N، ابتدای کلمهٔ never و به معنای عدم حضور مانع در کلیهٔ کوشش‌ها است.**

پس از بررسی وضعیت کوشش‌های انجام شده توسط شرکت‌کننده‌ها، کوشش‌هایی که در آن خطای برخورد صورت گرفته بود، حذف شدند و تنها کوشش‌های سالم که در آنها برخوردی صورت نگرفته بود برای تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفتند. کاوش کوشش به کوشش نشان داد آزمودنی های گروه های الف و ج در۲۹/۸۲ درصد از کوشش‌ها مرتکب خطا شده بودند. با اِعمال این محدودیت، در کل، ۴۰۶۱ کوشش برای تحلیل‌های آماری استفاده شد. برای بررسی اثر کوشش n-1اُم بر کوشش nاُم در گروه (ج)، تحلیل واریانس دو عاملی با سنجش مکرر روی دو عامل درون گروهی (نوع کوشش و نوع کوشش ماقبل) مورد استفاده قرار گرفت. برای مقایسهٔ زاویهٔ شروع حرکت در کوشش‌هایی نظیر گروه‌های سه‌گانه نیز از آزمون تی، برای گروه‌های مستقل استفاده شد. سطح معنی‌داری نیز P<۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

میانگین و انحراف معیار زاویهٔ شروع (SA) مسیر حرکت در شکل شمارهٔ ۲ نشان داده شده است. برای بررسی این مقادیر در وضعیت های R- و R+ از تحلیل واریانس دو عاملی با سنجش‌های مکرر روی دو عامل (نوع کوشش دارای ۲ سطح: کوشش‌های بامانع و بدون مانع) و (نوع کوشش ماقبل دارای ۲ سطح: کوشش‌های قبلی بامانع و بدون مانع) استفاده شده است. در این تحلیل اثر نوع کوشش معنی‌دار شد ($F_{(1/10)}$=۱۳۱۵/۵۰ ، p<۰/۰۰۱ η^2=۰/۹۹)، به‌طوری که میانگین زاویهٔ شروع کوشش‌های بامانع (R+) بیشتر از مقدار آن در کوشش‌های بدون مانع (R-) بود.

همان‌گونه که در شکل شمارهٔ ۲ مشاهده می‌شود، اثر اصلی نوع کوشش ماقبل نیز معنی‌دار شده است ($F_{(1/10)}$=۳۴/۳۳ ، p<۰/۰۰۱ η^2=۰/۷۷). به عبارت دیگر، میانگین زاویهٔ شروع مسیر حرکت‌هایی که کوشش ماقبل آنها یک کوشش بامانع بوده، بزرگ‌تر از کوشش‌هایی می‌باشد که در کوشش ماقبل مانع ظاهر نشده است. در حالی که اثر متقابل نوع کوشش در نوع کوشش ماقبل معنی‌دار نبوده است ($F_{(1/10)}$=۳/۵۰ ، p=۰/۰۹).



شکل ۲. میانگین (±1SE) زاویهٔ شروع مسیر حرکت های نشانه‌گیری دو مفصلهٔ دست انسان در آزمایش اول در شرایطی که در کوشش‌های متوالی احتمال حضور کوشش‌های بامانع تغییر می کرد. Aشرایطی که همیشه (۱۰۰ درصد) مانع ظاهر شده است؛ N شرایطی که هیچ‌گاه (صفر درصد) مانع ظاهر نشده است؛ + شرایطی که در ۵۰ درصد از مواقع (به‌صورت تصادفی) مانع ظاهر شده است. - شرایطی که در ۵۰ درصد از مواقع (به‌صورت تصادفی) مانع ظاهر نشده است.

در شکل شمارهٔ ۲، اثر احتمال وجود یا عدم وجود مانع در کوشش‌های تصادفی (R+ و R-) نسبت به کوشش‌های ثابت، به ترتیب وضعیت‌های A و N ارائه شده است. نتایج مقایسهٔ بین این وضعیت-ها، با استفاده از آزمون تی برای گروه‌های مستقل نشان می‌دهد، میانگین زاویهٔ شروع در کوشش-های N به میزان معنی‌داری کمتر از کوشش‌های R- (t(۲۰)=۱۲/۴۳ ، p< ۰/۰۰۱)و نیز کمتر از میانگین این شاخص در کوشش‌های R- + (t(۲۰)=۱۳/۵۰ ، p< ۰/۰۰۱)بوده است. همچنین میانگین زاویهٔ شروع تنها در کوشش‌های A بیشتر از کوشش‌های R+- (t(۲۰)=۴/۳۰ ، p< ۰/۰۰۱) بوده، در صورتی که بین میانگین این شاخص در کوشش‌های A و R+ + تفاوت معنی‌دار مشاهده نشده است. (t(۲۰)=۰/۸۶ ، p< ۰/۴۰).

بحث

هدف از انجام این آزمایش، بررسی اثرهای باقی‌مانده از کوشش های ماقبل (زمینهٔ حضور یا عدم حضور مانع) بر خط سیر حرکت‌های دو بعدی دست بوده است. یافته‌ها، شواهدی را مبنی بر اینکه بین برنامه‌ریزی حرکت‌های متوالی استقلال وجود ندارد و می‌توان اثراتی از کوشش‌هایی که به تازگی انجام شده‌اند را مشاهده کرد، ارائه دادند. وقتی مانع ظاهر گردید، زاویهٔ شروع (شاخص انحنای مسیر در آغاز حرکت، که معرف برنامه‌ریزی قبلی حرکت است) حرکت‌هایی که حرکت قبل آنها به تازگی یک حرکت بامانع انجام شده بود، بزرگ‌تر از وقتی بود که حرکت قبل بدون مانع انجام شده بود. جالب‌تر اینکه، وقتی حرکت n-1 ام بامانع و حرکت nام بدون مانع بود، آزمودنی‌ها حرکت‌های خود را با زاویه‌ای بزرگ‌تر نسبت به دو حرکت بدون مانع آغاز کرده بودند. مدارکی وجود دارد که تأیید می‌کند شروع یک حرکت با زاویهٔ بیشتر از نظر بیومکانیکی هزینهٔ بیشتری را طلب می کند (۲۵، ۲۶). باتوجه به این مستندات و مشاهدهٔ اختلاف بین زاویهٔ شروع حرکت‌های N و ±R و با استفاده از پیامدهای منطقی فرضیهٔ صرف کمترین هزینه انرژی (۲۷) می‌توان استنتاج کرد که هزینهٔ بیومکانیکی عملکرد آزمودنی‌ها در شرایطی که احتمال حضور مانع وجود داشته، کمینه نشده است. سؤال-هایی که باید پاسخ داده می‌شد این بود که: الف- دلیل عدم دقت آزمودنی‌ها برای صرف کمترین انرژی چه بوده است، آیا نظام ادراکی ـ حرکتی برای کمینه کردن هزینه های بیومکانیکی با محدودیتی روبه‌رو بوده است؟ ب- آیا رفتارهای مشاهده شده، در ذات طرح‌ریزی مسیر حرکت‌های مورد نظر بوده است یا چیزی به‌جز آن؟ بر اساس نتایج، در پاسخ به سؤال اول و با توجه به نتایج تحقیقات مشابه (۱۲، ۱۳، ۱۶، ۱۷) و نظریه‌های بهینه‌سازی هزینه‌ها (۱، ۲۷) می‌توان استدلال کرد که نظام ادراکی ـ حرکتی بین کمینه‌سازی هزینه‌های بیومکانیکی و کمینه‌سازی هزینه های محاسباتی، یک مبادلهٔ سود و هزینه انجام داده است. به این صورت که در یک توالی از حرکت‌های مورد بررسی، به‌جای کمینه‌کردن هزینه های بیومکانیکی، با تعدیل و استفادهٔ مجدد از برنامهٔ مسیر حرکت‌های قبلی هزینهٔ محاسباتی را کمینه کرده است. اما به نظر می‌رسد با شرایطی که در آزمایش اول فراهم شد، نمی‌توان پاسخ مستدلی برای سؤال دوم ارائه کرد. بنابراین در راستای بررسی مجدد فرضیهٔ تحقیق و پاسخ به این سؤال، آزمایش دوم با شرایط آزمایشگاهی جدید طراحی و اجرا شده است.

آزمایش دوم

نتایج به‌دست آمده در آزمایش اول این‌گونه تعبیر شد که دستگاه ادراکی ـ حرکتی انسان از

برنامهٔ حرکتی‌ای که پیش‌تر اجرا شده، برای برنامه‌ریزی و کنترل حرکت‌های جدید استفاده کرده است. با این حال، نتایج حاصل نتوانست پاسخ مستدلی برای سؤال دوم تحقیق فراهم کند. از طرف دیگر، نتایج حاصل از آزمایش اول را به گونه‌ای دیگر نیز می‌توان تفسیر کرد بدین ترتیب که احتمالاً ماهیت تصادفی بودن ارائهٔ کوشش‌های بامانع و بدون مانع باعث شده است آزمودنی‌ها در هنگام روبه‌رو شدن با یک کوشش جدید دست به پیش‌بینی بزنند. در همین ارتباط، درمورد تکلیف‌های شناختی، فرضیه‌های «انتظار تکرار تکلیف[1]» (۲۸، ۲۹) و «انتظار تعویض تکلیف[2]» (۲۹) مطرح شده است. برطبق فرضیهٔ انتظار تعویض، آزمودنی‌ها در شرایطی که به‌طور مثال کوشش ماقبل یک کوشش بدون مانع بوده است، در انتظار تعویض نوع کوشش و ارائهٔ یک کوشش بامانع بوده‌اند. برطبق فرضیهٔ انتظار تکرار، آزمودنی‌ها در شرایطی که به‌طور مثال کوشش قبل یک کوشش بدون مانع بوده است، ممکن است در انتظار تکرار همان نوع کوشش بوده‌اند. به احتمال زیاد این شکل از پیش‌بینی باعث مشاهدهٔ اثرهای مشاهده شده در توالی حرکت‌های بامانع و بدون مانع گردیده است.

به منظور ایجاد تمایز بین پیش‌بینی‌های فرضیهٔ استفادهٔ مجدد و فرضیه‌های انتظار تعویض تکلیف و انتظار تکرار تکلیف، و نیز برای پاسخ گفتن به سؤال دوم تحقیق با استفاده از یک توالی قابل پیش‌بینی، عدم قطعیت در مورد کوشش‌های با مانع و بدون مانع از بین برده شد. وقتی که نوع کوشش‌ها قابل پیش‌بینی باشد، فرضیه‌های انتظار تعویض تکلیف و انتظار تکرار تکلیف (۲۸، ۲۹) پیش‌بینی می‌کنند که یا از شدت اثر نوع کوشش ماقبل کم خواهد شد و یا این اثرها در کل از بین خواهند رفت، در حالی که پیش‌بینی فرضیهٔ استفادهٔ مجدد این است که تغییری در اثرهای مورد نظر به‌وجود نخواهد آمد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

روش‌شناسی

آزمودنی‌ها

با معیار انتخابی مشابهٔ آزمایش اول، تعداد ۲۲ آزمودنی (۲۱/۰۶±۳/۲۰ ساله) انتخاب شدند و در این آزمایش شرکت کردند که به‌صورت تصادفی ساده در دو گروه ($n_1=n_2=11$) گزینش شدند. عملکرد این دو گروه با عملکرد گروه (ج) آزمایش اول که نحوهٔ ارائهٔ ۵۰ درصد از موانع را با الگوی تصادفی تجربه کرده بودند، مقایسه شد.

---

1. Task-repetition expectancy
2. Switch-task expectancy

روش اجرا

آزمایش دوم نیز با روشی مشابهٔ آزمایش اول انجام شد. با این تفاوت که احتمال ارائهٔ کوشش‌های بامانع و بدون مانع (۵۰ درصد) به‌صورت الگوی منظم ۴ کوشش بامانع ـ ۴ کوشش بدون مانع و/یا بلعکس (با شروع تصادفی) در نظر گرفته شد. دو گروه آزمودنی دیگر در این آزمایش شرکت کردند. گروه اول، پیش از آغاز و در شروع دسته کوشش اول از نظم حاکم بر ارائهٔ موانع باخبر شد (شرایط ارائهٔ دستورالعمل آموزشی، گروه د) و گروه دیگر هیچ اطلاعی از الگوی مورد نظر دریافت نکرد (گروه بدون دستورالعمل آموزشی، گروه ه). لازم شد که از دو گروه با دستورالعمل و بدون دستورالعمل استفاده شود. در پژوهش مقدماتی، همین طور در مراحل اجرای آزمایش از آزمودنی‌های گروه بدون دستورالعمل سؤال شد که آیا متوجه وجود نظمی در نحوهٔ ارائهٔ موانع شده‌اند یا خیر؟ مدارکی وجود دارد که نشان می‌دهد انسان قادر است الگوهای موجود در محیط - حتی اگر اطلاعی از آنها نداشته باشد - را درک کند (۳۰؛ ۳۱). تحقیقاتی که در زمینهٔ یادگیری پنهان انجام شده است نیز به‌طور ضمنی به همین واقعیت اشاره کرده‌اند (۳۲). اما با کمال تعجب، آزمودنی‌هایی که برای آنها الگوی منظم بدون دستورالعمل درمورد نظم کوشش‌های با مانع و بدون مانع ارائه شده بود، در اغلب موارد متوجه نظم حاکم نمی‌شدند و اظهار می‌داشتند که الگوی منظمی در ارائهٔ موانع وجود نداشته است. به همین دلیل از گروه دیگری که پیش از آغاز کوشش‌ها در مورد وجود نظم به آنها پیش آگاهی داده می‌شد، استفاده گردید. با این وصف، اگر آزمودنی‌ها خود متوجه نظم مورد نظر شده باشند، و از این نظم برای پاسخ دادن به شرایط ایجاد شده استفاده کنند، احتیاجی به استفاده از دستورالعمل‌های ارائه شده نخواهند داشت. اما اگر آزمودنی‌ها در مرحلهٔ آمادگی متوجه نظم مورد نظر نشوند، با ارائهٔ دستورالعمل مورد نظر، شرایط برای مقایسهٔ فرضیهٔ استفادهٔ مجدد با فرضیه‌های انتظار تعویض تکلیف و انتظار تکرار تکلیف (۲۸؛ ۲۹) فراهم خواهد شد.

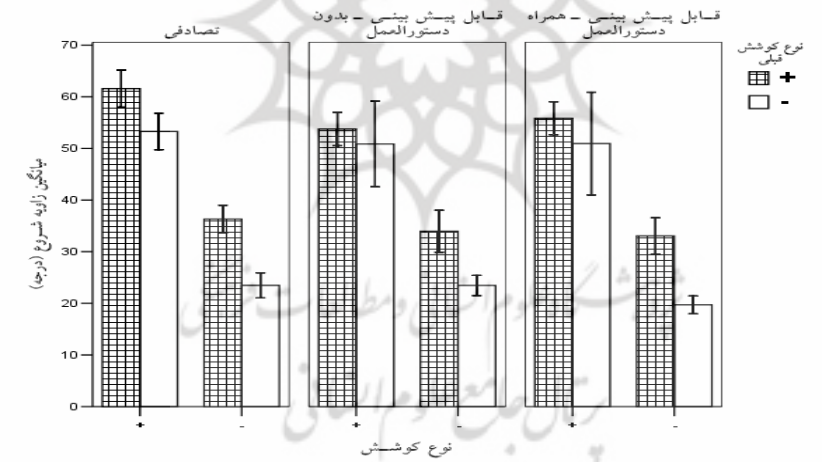
روش‌های آماری

از مجموع کوشش‌های انجام شده توسط شرکت کننده‌های گروه‌های (د) و (ه)، پس از حذف کوشش‌های اشتباه، تنها کوشش‌های موفق که در آنها برخوردی صورت نگرفته بود، برای تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشانگر این بود که آزمودنی‌ها در ۳۷/۰۳ درصد از کوشش‌ها مرتکب خطا شده بودند. بنابراین در کل از ۲۵۷۲ کوشش برای تحلیل آماری استفاده شد. در کوشش‌های گروه‌های (د) و (ه)، خاصیت تصادفی بودن نحوهٔ ارائهٔ مانع از بین رفت. بنابراین برای متمایز ساختن وضعیت‌های تعویض تکلیف، از همان علامت‌های اختصاری R- - ؛ R-+ ؛ R+- و

R++ ، ولی بدون حرف R (که نشانهٔ تصادفی بودن الگوی تعویض در آزمایش اول بود) استفاده شد. برای بررسی اثر تغییر الگوی ارائهٔ مانع، از تحلیل واریانس کرت‌های تقسیم شده[1] شامل سه گروه: تصادفی؛ قابل پیش بینی بدون دستورالعمل و قابل پیش بینی همراه دستورالعمل × (۲نوع کوشش: +یا- × ۲نوع کوشش ماقبل: +یا-) استفاده شد. سطح معنی‌داری نیز P<۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

میانگین زاویهٔ شروع مسیر در آزمایش دوم در شکل شمارهٔ ۳ رسم شده است. مهم‌ترین ویژگی این نمودار این است که روند تغییرات زاویهٔ شروع در دو گروه الگوی قابل پیش‌بینی با و بدون دستورالعمل (د و ه) شبیه گروه الگوی تصادفی (ج) است. در تحلیل واریانس انجام شده، اثر اصلی گروه (p=۰/۵۶، F(۲/۳۰)=۵۹) و اثرهای متقابل کوشش در گروه (p=۰/۱۳، F(۲/۳۰)=۲۱۹) و کوشش ماقبل در گروه (p=۰/۲۷، F(۲/۳۰)=۱/۳۸) معنادار نشد. مشابهٔ نتایج آزمایش اول، تنها اثر اصلی کوشش (p=۰/۰۰۱، F(۱/۳۰)=۷۱۵/۳۶) و اثر اصلی کوشش ماقبل (p=۰/۰۰۱، F(۱/۳۰)=۵۴/۹۷) معنادار بوده است.



شکل ۳. میانگین (±1SE) زاویهٔ شروع مسیر حرکت های نشانه‌گیری دو مفصله دست انسان در آزمایش دوم، در شرایطی که در کوشش‌های متوالی احتمال حضور مانع (۵۰ درصد) در شرایط تصادفی، با الگوی قابل پیش بینی و بدون دستورالعمل قبلی در مورد نظم کوشش‌ها، و با قابل پیش بینی همراه با دستورالعمل قبلی در مورد نظم کوشش‌ها وجود دارد.

[1]. Split-plot ANOVA design

بحث

هدف از آزمایش دوم، پاسخ به این سؤال بود که آیا اثر مشاهده شده در آزمایش اول در ذات برنامه‌ریزی و نتیجهٔ تعدیل و استفادهٔ مجدد از ویژگی‌های مسیر حرکات قبل بوده است یا به علت پیش‌بینی و انتظار توالی تغییر کوشش‌های با مانع و بدون مانع؟ در شرایطی که ارائهٔ کوشش‌های بامانع و بدون مانع الگویی قابل پیش‌بینی و از قبل تعیین شده داشت، نتایج حاصل، درست شبیه شرایط آزمایش اول (الگوی تصادفی) بود. حتی وقتی که آزمودنی‌ها از قبل در مورد نظم حاکم بر توالی حرکت‌های با مانع و بدون مانع مطلع بودند، هنوز هم حرکت-هایی که در حرکت قبل آنها مانع ظاهر شده بود (- + و ++) را با زاویه‌ای بیشتر از هنگامی‌که حرکات قبل بدون مانع بود (به ترتیب - - و +-) آغاز می‌کردند. در نتیجه پیش آگاهی آزمودنی‌ها در مورد نظم حاکم بر ارائه کوشش‌ها ضمن اهمیت نداشتن برای آنها، بر عملکرد آنان اثری نداشته است. بنابراین با شرایط ایجاد شده در این آزمایش در طول انجام تکلیف، ماهیت برنامه‌ریزی حرکت‌های مورد نظر بدون تغییر و ثابت بوده است.

بحث کلی

هیچ یک از مدل‌های موجود در زمینهٔ حرکت‌های نشانه‌گیری سادهٔ دست انسان (۵،۶) و نیز مدل‌های ارائه شده برای حرکت پرهیز از برخورد با مانع (۷، ۹) قادر به پیش بینی و توضیح همهٔ نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نیستند. همهٔ این مدل‌ها با پیش فرض استقلال هزینه‌های طرح‌ریزی و اجرای حرکت، تعریف و بنا شده‌اند، بنابراین نمی‌توانند وجود ارتباط بین آماره‌های مسیر حرکت های متوالی (که فاصلهٔ کمی از هم دارند) را پیش‌بینی و توجیه نمایند. با این وجود، در مرور ادبیات و پیشینهٔ تحقیق به گزارش‌هایی بر می‌خوریم که در ظاهر مشابه نتایج به‌دست آمده در این آزمایش هستند. به عنوان نمونه، کیو (۱۴) نشان داده است در بازشناسی اسم اشیاء، اثر تجربه‌های گذشته، حتی با گذشت فاصلهٔ ۴۸ هفته‌ای قابل ملاحظه بوده است. اما اگر دقیق‌تر به موضوع نگاه کنیم، اثرهای مشاهده شده در تحقیق کیو و آنچه در این آزمایش به‌دست آمده است، از دو جنبهٔ بسیار مهم قابل تمایز هستند. بر اساس نظریهٔ معروف گودال و مایلنر (۳۳)، فرایندهای درگیر در پردازش و اجرای یک تکلیف و فرایندهای مربوط به بازشناسی، مستقل از هم عمل می‌کنند. بر طبق این نظریه، پردازش‌های بصری (که مربوط به اجرای تکلیف هستند) توسط مسیرهای پشتی[1] دستگاه اعصاب مرکزی و بازشناسی

[1]. Dorsal streams

عمل توسط مسیرهای بطنی یا شکمی[1] انجام می گیرد. تفاوت این دو مسیر عصبی، دامنهٔ زمان اثرپذیری آنها از تجربه‌های حسی گذشته و اثر این تجربه‌ها بر آماده‌سازی و اجرای رفتارهای مشابه بعدی است.

کانت و همکاران (۱۵) نشان داده‌اند که اثر تجربه‌های گذشته در پردازش‌های مسیرهای شکمی قابل ملاحظه است، لیکن پردازش در مسیرهای پشتی به‌طور مستقل انجام می گیرد. بنابر آنچه گفته شد، مشخص است که تکلیف مورد استفاده توسط کیو یک تکلیف صرفاً شناختی و از نوع بازشناسی است، بنابراین پردازش‌های آن با استفاده از مسیرهای شکمی انجام می پذیرد (۳۴). در حالی که در برنامه ریزی و اجرای تکلیف حرکتی نشانه‌گیری، فرد ابتدا باید مکان قرار گرفتن هدف را در فضا ببیند، بنابراین لازمهٔ موفقیت در این تکلیف، استفاده از پردازش‌های بصری، که در مسیرهای پشتی دستگاه عصبی مرکزی انجام می‌شود (۳۵) خواهد بود. طبق آنچه بحث شد، نمی‌توان نتایج به‌دست آمده در این مقاله و همچنین نتایج حاصله از تحقیق کیو (۱۴) را از یک سنخ تلقی کرد، زیرا مسیرهای پردازش اطلاعات مورد استفاده برای این دو نوع تکلیف متفاوت است، و قاعدتاً نحوهٔ پردازش ملزومات این دو تکلیف نیز از یک الگو پیروی نخواهند کرد. علاوه بر تفاوت مذکور، نتایج حاصل در این آزمایش از یک جنبهٔ دیگر نیز با تحقیق کیو تفاوت دارد. با دقت بیشتر در روش اجرای تحقیق کیو، و مقایسهٔ آن با روش‌شناسی به‌کار رفته در آزمایش حاضر، مشخص می‌گردد که در تحقیق یاد شده، تعویض تکلیفی صورت نمی‌گرفته است. به عبارت دیگر، آزمودنی‌ها تنها یک تکلیف را در فاصله‌های زمانی مختلف اجرا کرده‌اند، در حالی که در تحقیق حاضر، شرکت‌کننده های گروه (ج)، دو تکلیف (- یا +) را با الگوی تصادفی (۵۰ درصد) تجربه می‌کردند. لازم نیست ثابت کنیم تکلیف‌های نشانه‌گیری بدون مانع (-) و پرهیز از برخورد با مانع (+) برنامه‌ریزی‌های متفاوتی دارند. با این حال برای اطمینان، با مقایسهٔ گروه‌های ۱۰۰ درصد و صفر درصد مانع نشان دادیم که شاخص برنامه‌ریزی مسیر آنها (SA) کاملاً قابل تمایز است. بنابراین چنین استنتاجی غیر منطقی نیست که بگوییم تعدیل و استفادهٔ مجدد از برنامهٔ قبلی (در قالب اثر باقی‌مانده یا تجربهٔ آشنایی قبلی با یک تکلیف) و اجرای تکلیفی متفاوت در حرکت‌های بعد، تفاوت‌های بسیاری با قرار داشتن در یک زمینهٔ یکسان دارد.

از همین منطق می‌توان جهت متمایز کردن نتایج تحقیق حاضر با گزارش‌هایی که تأثیر تجربهٔ حرکتی گذشته را در تکلیف نیروی گرفتن و بلند کردن وزنه‌ها (۳۶)، ضربه زدن به جسم در حال پرواز (۱۰؛ ۱۱) سابقهٔ مواجه شدن با میدان‌های متفاوت جاذبه در عمل دسترسی (۲۰)

[1]. Ventral streams

زمان واکنش عمل چرخاندن جسم در جهت‌های مختلف (۱۲، ۱۳)، محل گرفتن جسم برای برداشتن آن دستگیره (۳۷) و انتخاب وضعیت دست و انگشتان در عمل چنگ‌زدن و چرخاندن جسم در جهت‌های مختلف (۱۳) گزارش کرده‌اند، استفاده نمود. وجه مشترک تحقیقات ذکر شده و تحقیق حاضر، استفاده از مسیرهای عصبی مشابه (مسیرهای پشتی) جهت پردازش اطلاعات مورد نیاز برای اجرای تکلیف است. اما تمایز روش‌شناختی که لازم است بر آن تأکید بیشتری شود این است که در همهٔ این تحقیقات، تنها از یک تکلیف استفاده شده است. بنابراین تشابه حرکاتی که به‌صورت پیاپی انجام می‌شده‌اند، بسیار بیشتر از تفاوت بین آنها بوده است، به‌طوری که در توالی کوشش‌ها، تنها تفاوت‌ها و تغییراتی بسیار جزئی در وجوه ظاهری مانند جرم وزنه‌ها (۱۲)، سرعت جسم در حال پرواز (۱۰، ۱۱) میدان اعمال شده (۲۰) انتخاب چرخش ساعتگرد یا پادساعتگرد (۱۲، ۱۳) یا محل دستگیره (۳۷) اعمال شده است. در حالی که به استناد تحقیقات گذشته (۷، ۸) در تحقیق حاضر وجوه جوهری دو حرکتی که شرکت‌کننده‌ها به‌طور پیاپی اجرا کرده‌اند، متفاوت بوده است. بنابراین اثرهای مشاهده شده در تحقیق حاضر، از این جهت متمایز از تحقیقات گذشته است.

گزارش‌هایی وجود دارند که نشان می‌دهند، استفادهٔ دوباره از برنامه‌های قبلی باعث افت عملکرد می شود. این شواهد آزمایشگاهی در ادبیات و پیشینهٔ پژوهشی با عنوان «اثر طرح‌ریزی مجدد پارامتر[1]» معروف شده است (۱۹). نتایج تحقیق حاضر از این جهت که نشان می‌دهد در شرایط خاص، انحنای غیر ضروری در حرکت‌های مستقیم ایجاد شده است را می‌توان همتراز نتایج رزنبام و همکاران (۱۶، ۱۷) دانست. با این تفاوت که در پژوهش حاضر، اثر مورد نظر در زاویهٔ شروع حرکت که معرف برنامه‌ریزی و انتخاب عمل است (۲۳) مشاهده شده است، در حالی‌که در دو پژوهشی که رزنبام و دانشجویانش (۱۶؛ ۱۷) انجام داده‌اند، تنها اثر قرار گرفتن مانع در پیامد برنامه‌ریزی حرکت (بیشترین انحنای مسیر) مورد بررسی قرار گرفته است.

یکی از تفاوت‌های بارز نتایج حاصل با یافته‌های تحقیق ول و همکاران (۱۷) این است که در پژوهش مورد نظر آزمودنی‌ها باید با هر دو دست خود و هم فاز با زمانبندی مشخصی که توسط مترونوم تعیین می‌شد، حرکت نمایند، در صورتی که در تحقیق حاضر، حرکت تنها با دست برتر و بدون زمانبندی سختگیرانه (تنها با حفظ یک معیار سرعت سهل الاوصول) انجام شده است. به نظر می‌رسد اعمال قیدهای بیشتر (مانند حرکت هم‌زمان دست‌ها و یا با سرعت مشخص) به سامانهٔ کنترل حرکت، نحوهٔ برنامه‌ریزی و اجرا را متأثر نماید. لذا در تحقیق حاضر

[1]. Parameter remapping effect

سعی شده است از هیچ‌گونه قیدی از این نوع استفاده نشود. علاوه بر آن از شاخصی برای ارزیابی استفاده گردید که دقیقاً بیانگر رفتار برنامه‌ریزی نظام کنترل حرکت باشد. در دنیای واقعی نیز به نظر می‌رسد کمتر اتفاق بیفتد که انسان مجبور باشد حرکت‌های دو دست خود را با حفظ سرعتی خاص ادامه دهد و اغلب آزادی عمل در حرکت‌های دست انسان بیشتر از قیود دیده می‌شود.

به هر حال از یافته‌های به‌دست آمده این‌گونه استنباط می‌شود که وجود مانع در حرکت قبل، باعث شده است تا آزمودنی‌ها بر خلاف شرایط عادی که در حرکت بدون مانع مسیر مستقیم را انتخاب می‌کردند، عملی متفاوت از عمل صحیح را انتخاب و برنامه‌ریزی کنند که در ظاهر باعث افت عملکرد در هنگام انجام حرکت بدون مانع شده است و آزمودنی‌ها مجبور شده‌اند از صرف کمترین هزینهٔ بیومکانیکی چشم‌پوشی کنند.

بیشتر مدل‌هایی که تا کنون در زمینهٔ برنامه‌ریزی و کنترل حرکات دو مفصلهٔ دست انسان مطرح شده است، از جمله مدل کمترین جرک[1] (۵)، کمترین تغییر گشتار[2] (۶) و یا مدل کنترل آماره های عمل[3] (۹)، بر مبنای کمینه‌سازی هزینه‌های بیومکانیکی اجرای عمل و استقلال برنامه‌ریزی و کنترل هر حرکت بنا شده‌اند. اگر بپذیریم که هدف طرح‌ریزی حرکت تنها کمینه کردن هزینه های بیومکانیکی نیست، در این صورت افت ناشی از اثر باقی‌مانده از کوشش قبلی و تخطی از صرف کمترین انرژی بیومکانیکی را می‌توان به نوعی توجیه کرد. نظریه‌پردازان حوزهٔ کنترل حرکت (۲، ۳)، سلسله مراتب کنترل حرکت را فرآیندی شامل یک سری از محاسبه‌های منطقی و ضابطه‌مند می‌دانند که در سطح‌های مجزا انجام می‌پذیرد. بنابراین می‌توان این‌گونه استدلال کرد که نظام برنامه‌ریزی حرکت به احتمال زیاد در شرایط مختلف، تعادلی بین کمینه‌کردن هزینه‌های انرژی بیومکانیکی و بهینه‌سازی هزینه‌های محاسباتی ایجاد می‌کند. مزیت محاسباتی تعدیل و استفادهٔ مجدد، نه تولید یک برنامهٔ جدید، ایجاب می‌کند وقتی‌که در حرکت قبل مانعی بر سر راه حرکت مستقیم وجود داشته است، همان برنامهٔ حرکت پرهیز از برخورد با مانع را تنها با کمی تغییر یا تعدیل دوباره استفاده نماید. حال اگر نظام عصبی، در شرف تولید یک حرکت مستقیم جدید باشد، احتمال دارد برخی از ویژگی‌های برنامهٔ حرکت با مانع قبلی بدون تغییر بماند و نشانه‌هایی از آن در مسیر حرکت جدید ظاهر شود و انحنای مسیر به شکل غیر ضروری افزایش یابد. در این شرایط هزینه‌های

---

1. Minimum jerk
2. Minimum torque change
3. Controlling the statistics of action

بیومکانیکی مسیر حرکت، کمینه‌سازی نمی‌شود. سؤالی که مطرح می شود این است که چه توجیهی برای این گونه برنامه‌ریزی می‌توان ارائه کرد؟

تغییر هر برنامه‌ای، اعم از نوع فیزیکی و یا روانی مستلزم صرف انرژی است. می‌توان این‌گونه استدلال کرد که تعریف عملیاتی تغییر انرژی روانی، افزایش یا کاهش نیازهای محاسباتی برنامه‌ریزی و اجرای عمل است. با این تعریف، هنگامی‌که بیان می‌کنیم نظام ادراکی ـ حرکتی انسان در انجام مهارت‌های ادراکی- حرکتی سعی می‌کند کمترین انرژی روانی را مصرف کند (۳۸) به‌طور ضمنی بیان داشته‌ایم که این نظام به گونه‌ای عمل می‌کند که در فرآیند برنامه-ریزی، کمترین محاسبات منطقی انجام پذیرد (۲، ۳).

نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات مشابه قبلی (۵، ۶) نشان می‌دهد، وقتی که کوشش‌های پیاپی از یک نوع باشند، هیچ‌گونه تغییری در عملکرد نظام برنامه‌ریزی مشاهده نمی شود و کمینه‌سازی هزینه‌های انرژی بیومکانیکی ایجاب می‌کند که کوشش‌ها با حداقل انحراف از خط راست، برنامه‌ریزی و اجرا شوند و تنها وقتی رفتار نظام برنامه‌ریزی تغییر می‌یابد که کوشش ماقبل، متفاوت از کوشش در شرف اجرا باشد. بنابراین به نظر می‌رسد راهکار کمینه‌سازی هزینه های محاسباتی زمانی که حرکت‌های متوالی درجهٔ پیچیدگی محاسباتی متفاوتی دارند، بیشتر به‌کار گرفته شود. به بیان دیگر، هرگاه در نتیجهٔ تعویض تکلیف، هزینهٔ برنامه‌ریزی مجدد به اندازهٔ کافی بالا باشد، نظام ادراکی ـ حرکتی این شیوه را برمی‌گزینند تا هزینهٔ محاسباتی تعویض را به حداقل برساند، در این شرایط بهینه‌سازی محاسباتی بر کمینه‌سازی انرژی بیومکانیکی ترجیح داده می‌شود. به نظر معقول می‌آید که بپذیریم در یک توالی از حرکات که از نظر برنامه‌ریزی و اجرا شباهت‌های زیادی با هم دارند، هر بار یک چرخهٔ کامل برنامه‌ریزی طی نشود، بلکه تنها بخش‌هایی از برنامه یا برنامه‌های قبلی تغییر کند و مورد استفاده مجدد قرار گیرد. مسلم است که تکرار یک راه حل، ملزومات محاسباتی بسیار کمتری نسبت به تولید یک راه حل کاملاً جدید دارد. می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری را کامل‌تر کرد که به احتمال زیاد، در سلسه مراتب قیود برنامه‌ریزی و اجرای حرکت‌های متوالی (از نوعی که در این تحقیق استفاده شده است)، رعایت کمینه‌کردن هزینه‌های محاسباتی فرآیند برنامه‌ریزی، در سطحی بالاتر از رعایت کمینه‌سازی هزینه‌های بیومکانیکی اجرای حرکت توسط اندام مجری قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد درتوالی حرکت‌های نشانه گیری با مانع و بدون مانع، رقابت بین مجموعهٔ ضوابطی که در فرآیند طرح‌ریزی حرکت استفاده می‌شود، به نفع کمینه‌سازی محاسباتی برنامه‌ریزی مسیر حرکت تمام شده است و نظام کنترل حرکت انسان، انجام محاسبات و به تبع آن صرف انرژی روانی کمتری را بر صرفه‌جویی انرژی فیزیولوژیکی ارجح می‌داند.

به عنوان نتیجه‌گیری پایانی باید گفت که، چالش حاصل از یافته‌های ارائه شده در این پژوهش و تحقیقات مشابه می‌تواند موجب پیشنهاد مدل‌های جدید یا توسعهٔ مدل‌هایی شود که توضیح قابل قبول‌تری را برای تکلیف‌های حرکتی پیچیده (مانند توالی حرکت‌های با مانع و بدون مانع) فراهم نمایند. به نظر می‌رسد برای بررسی بیشتر درستی فرضیه ارائه شده در این تحقیق و نتایج حاصل، پژوهش‌های آینده می‌تواند با در نظر گرفتن و تحلیل دیگر شاخص‌های سینماتیکی (سرعت و شتاب و دیگر شاخص های خط سیر و مسیر حرکت) و سینتیکی (مانند نیروها و گشتاورهای تولیدی) و نیز شاخص‌های هزینه‌ای متفاوت (مانند زمان واکنش، انرژی بیومکانیکی مصرفی) یا فعالیت‌های الکتریکی مغز انجام پذیرد. بررسی‌های دیگر می‌تواند در راستای بررسی تأثیر پیچیدگی تکلیف و اثرهای مرتبط با آن (مانند اثر تکرار کوشش‌ها و یا اثر سن آزمودنی‌ها) و کنترل بیشتر شرایط آزمایشگاهی و کاهش خطاهای اندازه‌گیری، انجام پذیرد.

منابع:

1. Brown, L. E., & Rosenbaum, D. A. (2002). Motor Control: Models. In L. Nadel (Ed.), *Encyclopedia of Cognitive Science.* London: Macmillan.
2. Hollerbach, J. M. (1982). Computers, Brains, and the Control of Movement. *Trends Neurosciences, 5, 189_192. , 5*, 189-192.
3. Saltzman, E. (1979). Levels of Sensorimotor Representation. *Journal of Mathematical Psychology , 20*, 91-163.
4. Abend, W., Bizzi, E., & Morasso, P. (1982). Human Arm Trajectory Formation. *Brain , 105*, 331-348.
5. Flash, T., & Hogan, N. (1985). The Coordination of Arm Movements: An Experimentally Confirmed Mathematical Model. *The Journal of Neuroscience , 5*, 1688-1703.
6. Uno, Y., Kawato, M., & Suzuki, R. (1989). Formation and Control of Optimal Trajectory in Human Multijoint Arm Movement: Minimum Torque Change Model. *Biological Cybernetics , 61*, 89-101.
7. Sabes, P. N., & Jordan, M. I. (1997). Obstacle Avoidance and a Sensitivity Model of Motor Planning. *The Journal of Neuroscience , 17*, 7119-7128.

8. Dean, J., & Brüwer, M. (1997). Control Of Human Arm Movements in two Dimensions: Influence of Pointer Length on Obstacle Avoidance. *Journal of Motor Behavior , 29*, 47-63.

9. Hamilton, A., & Wolpert, D. W. (2002). Controlling the Statistics of Action: Obstacle Avoidance. *Journal of Neurophysiology , 87*, 2434-2440.

10. de Lussanet, M. H., Smeets, J. B., & Brenner, E. (2001). The Effect of Expectations on Hitting Moving Targets: Influence of the Preceding Target's Speed. *Experimental Brain Research , 137*, 246-248.

11. de Lussanet, M. H., Smeets, J. B., & Brenner, E. (2002). The Relation Between Task History and Movement Strategy. *Behavioral Brain Research , 129*, 51-59.

12. van Bergen, E., van Swieten, L. M., & Mon-Williams, M. (2007). The Effect of Orientation on Prehension Movement Time. *Experimental Brain Research , 178*, 180-193.

13. Kent, S. W., Wilson, A. D., Plumb, M. S., Williams, J. H., & Mon-Williams, M. (2009). Immediate Movement History Influences Reach-to-Grasp Action Selection in Children and Adults. *Journal of Motor Behavior , 41* (1), 10-15.

14. Cave, B. C. (1997). Very Long-Lasting Priming in Picture Naming. *Psychological Science , 8*, 322-325.

15. Cant, J. S., Westwood, D. A., Valyear, K. F., & Goodale, M. A. (2005). No Evidence for Visuomotor Priming in Evidence for Visuomotor Priming in a Visually Guided Action Task. *Neuropsychologia , 43*, 216-226.

16. Jax, S., & Rosenbaum, D. A. (2007). Hand Path Priming in Manual Obstacle Avoidance: Evidence for Abstract Spatio-temporal Forms in Human Motor Control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance , 33* (2), 425-441.

17. van der Wel, R. P., Fleckenstein, R. M., Jax, S., & Rosenbaum, D. A. (2007). Hand Path Priming in Manual Obstacle Avoidance: Evidence for Abstract Spatio-temporal Forms in Human Motor Control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance , 33*, 1117-1126.

18. Rosenbaum, D. A. (1980). Human Movement Initiation: Specification of Arm, Direction, and Extent. *Journal of Experimental Psychology: General , 109*, 444-474.

19. Rosenbaum, D. A., Weber, R. J., Hazelett, W. M., & Hindorff, V. (1986). The Parameter Remapping Effect in Human Performance: Evidence from Tongue Twisters and Finger Fumblers. *Journal of Memory and Language , 25*, 710-725.

20. Shadmehr, R., & Mussa-Ivaldi, F. A. (1994). Adaptive Representation of Dynamics during Learning of a Motor Task. *Journal of Neuroscience , 14*, 3208-3224.

21. Teulings, H. L., Thomassen, A. J., & Van Galen, G. P. (1983). Preparation of Partly Precued Handwriting Movements: The Size of Movement Units in Writing. *Acta Psychologica , 54*, 156-177.

22. Requin, J., Brener, J., & Ring, C. (1991). Preparation for Action. In J. R. Jennings, & M. G. Coles (Eds.), *Handbook of Cognitive Psychophysiology: Central and Autonomic Nervous System Approaches* (pp. 357-448). New York: Wiley.

23. Elliot, D., Helsen, W. F., & Chua, R. (2001). A Century Later: Woodworth's (1899). Two Component Model of Goal-Directed Aiming. *Psychological Bulletin , 127*, 342-357.

۲۴.صالحی، حمید (۱۳۸۶). پایداری اثر حضور مانع بر خط سیر حرکت‌های دست. *رساله دکترای چاپ نشده*؛ دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران: ص‌ص: ۱۲۵-۱۳۲.

25. Klein Breteler, M. D., Meulenbroek, R. G., & Gielen, S. C. (2002). An Evaluation of the Minimum-Jerk and Minimum Torque-Change Principles at the Path, Trajectory and Movement-Cost Levels. *Motor Control , 6*, 69-83.

26. Smit, A., & van Gisbergen, J. (1990). An Analysis of Curvature in Fast and Slow Human Saccades. *Experimental Brain Research , 81*, 335-345.

27. Alexander, R. M. (1997). A Minimum Energy Cost Hypothesis for Human Arm Trajectories. *Biological Cybernetics, 76*, 97-105.

28. Allport, A., & Wylie, G. (2000). Task Switching, Stimulus Response Bindings, and Negative Priming. In S. Monsell, & J. S. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (p. 35_70). Cambridge, MA, USA: MIT Press.

29. Monsell, S. (2003). Task Switching. *Trends in Cognitive Sciences , 7* (3), 134_140.

30. Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology , 11*, 729-732.

31. Trommershäuser, J., Landy, M. S., & Maloney, L. T. (2006). Humans rapidly estimate expected gain in movement planning. *Psychological Science , 11*, 981-988.

32. Nancy, A., Dennis, N. A., Howard, J. H., Darlene, J., & Howard, V. (2006). Implicit sequence learning without motor sequencing in young and old adults. *Experimental Brain Research , 175* (1), 153-164.

33. Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate Visual Pathways for Perception and Action. *Trends in Neuroscience , 15*, 20-25.

34. Van Turennout, M., Bielamowicz, L., & Martin, A. (2003). Modulation of Neural Activity during Object Naming: Effects of Time and Practice. *Cerebral Cortex , 13*, 381-391.

35. Schindler, I., Rice, N. J., McIntosh, R. D., Rossetti, Y., Vighetto, A., & Milner, A. D. (2004). Automatic avoidance of obstacles is a dorsal stream function: Evidence from optic ataxia. *Nature Neuroscience , 7*, 779-784.

36. Witney, A., Vetter, P., & Wolpert, D. M. (2001). The Influence of Previous Experience on Predictive Motor Control. *Neuroreport , 12* (4), 649-653.

37. Cohen, R. G., & Rosenbaum, D. A. (2004). Where objects are grasped reveals how grasps are planned: Generation and recall of motor plans. *Experimental Brain Research , 157*, 486-495.

۳۸. اشمیت، ریچارد. ای (۱۳۷۶). *یادگیری حرکتی و اجرا از اصول تا تمرین*. ترجمهٔ مهدی نمـازی‌زاده و محمدکاظم واعظموسوی، تهران: انتشارات سمت. (تاریخ انتشار اثر به زبان اصلی، ۱۹۹۱).