رفتار حرکتی شماره ۳۱، بهار ۱۳۹۷، صص ۱۴۶-۱۲۹

تسهیل و تحکیم یادگیری حرکتی رویه‌ای با استفاده از نوروفیدبک

حسن سپهری بناب[۱]، حسن محمدزاده[۲]، صغری ابراهیمی ثانی[۳]

۱. استادیار رفتار حرکتی، دانشگاه پیام نور، ایران*
۲. استاد رفتار حرکتی، دانشگاه ارومیه
۳. دانشجوی دکتری رشد حرکتی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴

چکیده

هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر آموزش نوروفیدبک بر بهبود اجرا و یادگیری حرکتی رویه‌ای یک تکلیف جدید بود. جامعهٔ آماری پژوهش را همهٔ دانشجویان دانشگاه ارومیه در سال ۹۴-۱۳۹۳ تشکیل می‌دادند که از میان آنها ۴۷ نفر (میانگین سنی ۱/۹۶±۲۳/۲۰) به‌صورت نمونهٔ در دسترس انتخاب و در چهار گروه (نوروفیدبک همراه با تمرین رویه‌ای حرکتی، نوروفیدبک، تمرین رویه‌ای حرکتی و کنترل) به‌طور تصادفی تقسیم شدند. آزمودنی‌ها همه راست‌دست بودند و تکلیف پیگردی چرخان را به شیوهٔ معکوس با دست غیربرتر (چپ) اجرا کردند. یادگیری حرکتی رویه‌ای، به‌عنوان افزایش عملکرد در تکلیف پیگردی، در طول بلوک‌های تمرین، در همان روز ارزیابی شد و تحکیم یادگیری پس از ۲۴ ساعت استراحت ارزیابی شد. پروتکل نوروفیدبک شامل فعال‌سازی قشر حرکتی اولیهٔ راست و سرکوب موج مو (هشت تا ۱۲ هرتز) در نقطه سی‌چهار در یک جلسهٔ سی‌دقیقه‌ای بود. تحلیل داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری نشان داد که برنامهٔ نوروفیدبک همراه با تمرین رویه‌ای حرکتی، در مقایسه با دیگر گروه‌ها، تأثیر معناداری بر یادگیری حرکتی رویه‌ای داشت؛ اما در مرحلهٔ یادداری بر یادگیری مؤثر نبود. به‌طورکلی یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که یک جلسه برنامهٔ نوروفیدبک بلافاصله به دنبال جلسهٔ تمرینی، موجب تسهیل اجرا و یادگیری و تسریع اکتساب اولیهٔ تکلیف حرکتی رویه‌ای شد.

واژگان کلیدی: یادگیری حرکتی رویه‌ای، تمرین نوروفیدبک، پیگردی چرخان

* نویسندهٔ مسئول Email: hsepehrbonab@yahoo.com

مقدمه

شناسایی فعالیت‌های مؤثر بر یادگیری حرکتی و نحوهٔ اجرای مهارت‌های حرکتی، حجم عمده‌ای از پژوهش‌های حیطهٔ یادگیری را به خود اختصاص داده است. مداخلات کنونی در زمینهٔ بهبود عملکرد و یادگیری زمان‌بر و گاهی اوقات پرهزینه است. روان‌شناسان ورزشی نیز در پی آن هستند تا با یادگیری روش‌های جدید، در دورهٔ کوتاه و بدون عوارض جانبی، عملکرد ورزشکاران را ارتقا دهند. یکی از شیوه‌های جدید و روبه‌گسترش، آموزش نوروفیدبک است. در حقیقت نوروفیدبک نوعی شرطی‌سازی عامل است که فرد از طریق آن امواج مغزی خود را کنترل می‌کند و روشی ایمن و غیرتهاجمی است که طی آن گیرنده‌های الکترود روی مناطق خاصی از پوست سر فرد قرار داده می‌شوند. این الکترودها میزان فعالیت مغزی فرد را در قالب امواج مغزی به او نشان می‌دهند. استفاده از شکل‌پذیری عصبی برای تعدیل کارکردهای عصبی، بهبود و بازتوانی و ترمیم عصبی شیوه‌ای جدید و نوظهور در علوم عصب‌شناختی است (۱). برخی پژوهشگران شواهدی ارائه کرده‌اند که کنترل امواج مغزی از طریق ارائه و بازنمایی رایانه‌ای آن به‌وسیلهٔ حلقه بازخوردی حلقه بسته (نوروفیدبک) می‌تواند شکل‌پذیری قشر حرکتی را پس از یک جلسهٔ سی‌دقیقه‌ای تحت تأثیر قرار دهد (۲،۳). بسیاری از مهارت‌های حرکتی در دورهٔ کودکی به شکل متوالی کسب می‌شوند؛ مانند بستن بند کفش‌ها، دوچرخه‌سواری، نوشتن یا استفاده از نشانگر رایانه‌ای (ماوس). این مهارت‌ها در اثر تمرین و تکرار، خودکار می‌شوند و فرد بدون خستگی و آگاهی هوشیارانه آنها را اجرا می‌کند. این فرایند تدریجی اکتساب مهارت‌های جدید به‌وسیلهٔ تمرینِ تکراری «یادگیری رویه‌ای» نامیده شده است (۴). یادگیری رویه‌ای مراحلی دارد (۵)؛ در مرحلهٔ اول (یادگیری سریع)، پیشرفت سریعی در طول یک جلسه قابل‌مشاهده است و در مرحلهٔ دوم (یادگیری آهسته)، ادامهٔ پیشرفت در طول چندین جلسه تمرین تا رسیدن به خودکاری ادامه می‌یابد. دیون و همکاران (۲۰۰۳) همچنین به یک مرحلهٔ میانی به نام مرحلهٔ تحکیم اشاره کرده‌اند که در آن افزایش عملکرد بدون تمرین بلافاصله پس از یک زمان تأخیری ۲۴ ساعته پس از مرحلهٔ تمرین اولیه ایجاد می‌شود. یادگیری رویه‌ای نیازمند مشارکت و به‌کارگیری برخی ساختارهای مغزی در بزرگ‌سالان شامل مسیرهای قشری ـ مختلط و قشری ـ مخچه‌ای است (۴). رینر[1] و همکاران (۲۰۱۴) و رزنگورت[2] و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرده‌اند که خواب عمیق شبانه برای تحکیم و تثبیت حافظه‌ای، ضروری است. در مرحلهٔ دوم خواب[3]، نسبت دامنهٔ امواج تتا به آلفا افزایش می‌یابد که برای تثبیت یادگیری اهمیت دارد. به نقل از رینر و همکاران (۲۰۱۴) در یک

1. Reiner
2. Rozengurt
3. Rapid Eye Movement (REM)

مطالعهٔ فراتحلیل استیک گلد (۲۰۰۵) انجام داده است، یک ارتباط ۰/۹۶-۰/۵۶ بین خواب شبانه و فرایند تحکیم دیده شده است که این اثر تثبیت از ۲۴ تا ۹۶ ساعت ماندگار بوده است. تحکیم حافظهٔ حرکتی در دو مرحله شکل می‌گیرد؛ مرحلهٔ نخست، کدگذاری اولیه است که با پیشرفت سریع در همهٔ سیستم‌های حافظه و در مراحل اولیهٔ کسبِ یک مهارت در هیپوکامپوس انجام می‌شود و منجر به شکل‌پذیری سیناپسی می‌شود (یعنی تقویت مسیرها و ارتباطات نورونی) و مرحلهٔ دوم که مرحلهٔ تحکیم است و در غیاب تمرین و با گذشت زمان با استراحت و خواب انجام می‌شود و تحکیم حافظه‌ای با تغییرات سطح سیستمی و انتقال اطلاعات و بازنمایی حرکتیِ شکل‌گرفته از هیپوکامپوس به قشر پیش‌پیشانی و نئوکورتکس انجام می‌شود. همچنین نوسانات و تغییرات در هم‌زمانی امواج مغزی، نقش مهمی در فرایندهای شناختی دارند (مثل چرخش ذهنی، حافظهٔ کاری، توجه و تحکیم حافظه‌ای). هم‌زمانی ـ مرحله‌ای که به‌وسیله الکترودها یا تصویربرداری از سطح مغز انجام می‌شود ـ بازتابی از ارتباطات بین نواحی مغزی است و هم‌زمانی موج تتا در قشر نئوکورتکس و هیپوکامپوس نشان‌دهندهٔ شکل‌گیری حافظه است (۶). عمدتاً ظرفیت یادگیری حرکتی رویه‌ای به‌وسیلهٔ دو گروه از تکالیف سنجیده می‌شود: یادگیری زنجیره‌ای و سازگاری ادراکی ـ حرکتی. گروه اول (عموماً در شرایط پنهان) شامل یادگیری حرکات مربوط به یک توالی خاص است؛ درحالی‌که سازگاری حرکتی مربوط به یادگیری روابط جدید بین بینایی و حرکات دست است (سازگاری مداوم). اکثر تکالیفی که برای ارزیابی یادگیری رویه‌ای استفاده شده‌اند، شامل تکالیف پیگردی چرخان، زمان واکنش زنجیره‌ای و ردیابی آینه‌ای و پیش‌بینی آب‌وهوا بوده‌اند. تکلیف پیگردی چرخان از اواسط دههٔ ۵۰ برای ارزیابی یادگیری حرکتی رویه‌ای، هم در کودکان و هم در بزرگ‌سالان عادی و یا مبتلا به مشکلات خاص استفاده شده است (۴،۷-۱۰). در این مطالعهٔ تجربی به‌منظور حذف ماهیت آشکار تکلیف پیگردی چرخان و تجارب یادگیری قبلی، به شرکت‌کنندگان گفته شد که با قلم نوری یا کنترل دستهٔ بازی یا نشانگر رایانه‌ای برای رسیدن به هدف یا ردیابی مسیر مشخص‌شده با دست غیربرتر و به شکل برعکس‌شده، بپردازند؛ یعنی در حالتی که ارتباط بین حرکت‌های دستهٔ کنترل و حرکات نشانگر به‌اندازهٔ ۱۸۰ درجه چرخش داده شده بود (۴،۱۱). در ابتدای فرایند و مراحل یادگیری، سازگاری با حالت معکوس‌شده، با استفاده از مکانیسم‌های آشکار مثل بازداری تسهیل می‌شود (۱۲،۱۳). امروزه آموزش نوروفیدبک یکی از ابزارهای اساسی تیم‌های بزرگ ورزشی و قهرمانان المپیک برای دست‌یافتن به عملکرد بهینه است. نوروفیدبک طی جلسات مختلف، مغز را برای فعالیت یا الگوی مناسب پرورش می‌دهد. این حالت شامل افزایش یا کاهش فعالیت موجی خاص در ناحیهٔ خاصی از مغز می‌شود. از شاخص‌های مهمی که در آموزش نوروفیدبک در زمینهٔ آموزش عملکرد ورزشکاران موردتوجه است و برای دست‌یابی به آن تلاش کرده‌اند می‌توان به این موارد اشاره کرد: تمرکز توجه و انگیزش، کنترل

سطح انگیختگی، کنترل خودکار، کاهش اضطراب، توان‌بخشی در درمان آسیب‌های مغزی، بهبود مشکلات تعادلی و قرار گرفتن در منطقهٔ مطلوب عملکرد (۱۴). در تمرینات نوروفیدبک از پروتکل‌های زیادی مثل آلفا/تتا، اس‌ام‌آر/تتا، تقویت بتا و تتا، تقویت یا سرکوب آلفا با جلسات متفاوت و نقاط مختلف برای بهبود عملکرد استفاده کرده‌اند. به نقل از صالحی (۱۳۹۴)، نتایج پژوهش‌های کیم و همکاران (۲۰۰۸)، هتفیلد و همکاران (۱۹۸۲) و اسکندرنژاد (۱۳۸۹) به وجود الگوی خاص امواج مغزی در فعالیت ورزشی دلالت داشته است و پژوهشگران حوزهٔ علوم ورزشی برآن‌اند تا بتوانند با استفاده از اصول شرطی‌سازی، الگوی امواج مغزی ورزشکاران را به الگوی امواج مغزی ورزشکاران حرفه‌ای نزدیک گردانند و مسیر رسیدن به موفقیت را کوتاه کنند. در این زمینه نادا و همکاران (۲۰۱۰) از آموزش نوروفیدبک در تمرینات اسکی مسابقات المپیک کمک گرفتند (۱۵) و رینر و همکاران (۲۰۱۴) و رزنگورت و همکاران (۲۰۱۶) از آموزش نوروفیدبک با تقویت موج تتا، به افزایش تثبیت حافظه‌ای توالی حرکتی دست یافتند. نیتچه[1] و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی اثر افزایش تحریک‌پذیری قشر حرکتی با الکترود[2]، به مطالعهٔ یادگیری زمان واکنش زنجیره‌ای پرداختند و دریافتند که قشر حرکتی به‌طور موقتی دچار افزایش تحریک‌پذیری در طول جریان یادگیری توالی حرکتی انگشتان می‌شود. نتایج آنها همچنین نشان داد که استفاده از تحریک قشری مستقیم در طول دورهٔ آزمایش در مقایسه با حالت تحریک صوری[3] موجب کاهش زمان واکنش در تعدادی از کوشش‌ها با توالی ثابت و زمان واکنش کلی در کوشش‌های با توالی تصادفی می‌شود. رز[4] و همکاران (۲۰۱۳) بامطالعهٔ یادگیری ضمنی و تکلیف زمان واکنش زنجیره‌ای، با افزایش تحریک‌پذیری قشر حرکتی به مدت‌زمان ۲۰ دقیقه در طول یک جلسه برنامهٔ نوروفیدبک و از طریق ناهم‌زمان‌سازی موج مو[5] (۸-۱۲ هرتز) در بخش حرکتی، دریافتند که یک جلسه برنامهٔ نوروفیدبک ممکن است موجب تسریع در اکتساب یک تکلیف ادراکی حرکتی رویه‌ای شود. همچنین آنها احتمال دادند که این برنامه موجب افزایش تحریک‌پذیری قشری ـ نخاعی[6] و کاهش در بازداری[7] داخل‌قشری کوتاه‌مدت می‌شود، که هر دو معیار به نظر می‌رسد مربوط به یادگیری حرکتی موفق است (۳). مطالعات فراوانی هم در خصوص بررسی نوروفیدبک در درمان بیماری‌ها و اختلالات رفتاری انجام شده است؛ اما پژوهش‌های محدودی در زمینهٔ تأثیر نوروفیدبک بر افزایش عملکرد و یادگیری صورت پذیرفته و ازاین‌رو، این شیوه، روش

1. Nitsche
2. Transcranial Direct-Current Stimulation(tDCS)
3. sham stimulation
4. Ros
5. Mu rhythm Desynchronisation
6. corticospinal Motor Evoked Potential
7. Disinhibition

نوینی است. به نظر می‌رسد بتوان از نوروفیدبک در بهبود عملکرد حرکتی در زمینه‌های یادگیری بهره گرفت. در مطالعهٔ حاضر پژوهشگران قصد دارند به جای استفاده از تکلیف زمان واکنش زنجیره‌ای، از تکلیف پیگردی چرخان برای سنجش یادگیری حرکتی رویه‌ای استفاده کنند؛ زیرا در تکالیف یادگیری زنجیره‌ای (مثل زمان واکنش زنجیره‌ای) افراد مجبور به یادگیری توالی خاصی از حرکات هستند؛ یعنی شکلی از ساختار دانش خاص که قابل‌تعمیم به موقعیت‌های کاربردی دیگر نیست (دانش و آگاهی از یک توالی مشخص در تکلیف زمان واکنش زنجیره‌ای، یادگیری توالی دیگری را تسهیل نمی‌کند). همچنین در پژوهش حاضر، روش‌شناسی پژوهش تغییر داده شده و دو گروه دیگر به پژوهش اضافه شده‌اند تا مشخص شود کدام‌یک از شرایط بیشترین اثر واقعی را بر اکتساب و یادگیری دارند. درنتیجه، هدف مطالعهٔ حاضر این است که آیا ممکن است اکتساب و یادگیری یک تکلیف حرکتی رویه‌ای با استفاده از شیوهٔ سازگاری ادراکی حرکتی (تکلیف نشانگر رایانهٔ وارون‌شده؛ لجیون و همکاران ۲۰۱۳) با استفاده از برنامهٔ نوروفیدبک تسهیل شود.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی است که به‌صورت میدانی انجام گرفت. جامعهٔ آماری این پژوهش را همهٔ دانشجویان پسر دانشگاه ارومیه در سال ۹۴-۹۳ تشکیل می‌دادند که تماماً پسر، راست‌دست، فاقد هرگونه ناتوانی یادگیری، روانی و عصب‌شناختی و دارای دید و بینایی طبیعی بودند که زبان اصلی آنها فارسی بود و تقریباً با کاربرد نشانگر رایانه آشنایی قبلی داشتند ولی هیچ‌گونه آشنایی قبلی با آموزش و تمرین نوروفیدبک نداشتند. پس از یافتن شرکت‌کنندگانی با ویژگی‌های مذکور در جامعهٔ موردنظر، به‌صورت نمونهٔ در دسترس ۴۷ نفر انتخاب شدند و به‌صورت داوطلبانه در این مطالعه شرکت کردند. شرکت‌کنندگان پس از انتخاب به‌صورت تصادفی به چهار گروه تقسیم شدند؛ گروه اول (۱۲ نفر) تمرین نوروفیدبک به همراه تمرین حرکتی رویه‌ای، با میانگین سنی ۱±۲۳/۰۹ سال، گروه دوم (۱۱ نفر) تمرین نوروفیدبک، با میانگین سنی ۰/۷۸±۲۳/۸ سال، گروه سوم (۱۲ نفر) تمرین حرکتی رویه‌ای، با میانگین سنی ۲/۴ ±۲۲/۷۲ سال و گروه کنترل (۱۲ نفر) با میانگین سنی ۲/۸±۲۳/۲۴ سال. شرکت‌کنندگان پس از توضیح اهداف پژوهش، در زمان مشخص‌شده در آزمایشگاه حضور یافتند و به‌تنهایی در برنامهٔ موردنظر گروه خود شرکت کردند. برنامهٔ نوروفیدبک شامل یک جلسهٔ سی‌دقیقه‌ای بازخورد زیستی بود که بلافاصله قبل از اجرای تکلیف پیگردی چرخان انجام می‌گرفت. در این برنامه موج مو در دامنهٔ ۱۲-۸ هرتز در قشر حرکتی راست نقطه سی‌چهار مطابق با پروتکل رز و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۳) سرکوب می‌شد.

تکلیف پیگردی چرخان به شکل وسیعی در یادگیری حرکتی کودکان با دامنهٔ سنی ۱۳-۹ سال (۱۶)، مردان و زنان ۷۸ ساله (۹) و سنین ۲۵-۱۸ سال (۱۷) استفاده شده است. برای ارزیابی یادگیری حرکتی رویه‌ای، از شکل تعدیل‌یافتهٔ نرم‌افزاری آزمون پیگردی چرخان استفاده شد. در این تکلیف از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شد یک هدف دایره‌ای قرمزرنگ (به قطر یک سانتی‌متر) را با دست در صفحهٔ رایانه (نمایشگر ۱۵/۶ اینچی با رزولوشن ۱۳۶۶×۷۶۸ پیکسل) در مسیر دایره‌ای در جهت ساعت‌گرد، با استفاده از یک نشانگر (ماوس) بی‌سیم (مشخصات موس: ۲/۴ گیگاهرتز، havit-k501G) و به حالت معکوس، تعقیب و ردیابی کنند (شعاع مسیر حرکت ۵۳۵ میلی‌متر، شعاع هدف ۲۵ میلی‌متر). به شرکت‌کنندگان گفته شد که نشان‌گر را بر روی هدف قرمزرنگ نگه دارند. زمانی‌که نشان‌گر بر روی هدف قرار می‌گرفت رنگ هدف روشن‌تر می‌شد. مسیر دایره‌ای سفیدرنگ برای حرکت هدف، قابل‌مشاهده بود و نشانه‌های آشکاری از مسیر حرکت هدف را فراهم می‌آورد. تکلیف از ۱۰ بلوک تشکیل شده بود که هریک شش کوشش تمرینی داشتند. همهٔ کوشش‌ها با دست غیربرتر افراد (دست چپ) اجرا می‌شدند. به آزمودنی‌ها گفته شد که بلوک اول را به حالت طبیعیِ نشانگر انجام دهند که انتظار می‌رفت دقت فراوانی داشته باشند؛ اما در بلوک بعدی، نشانگر در حالت حرکت معکوس قرار گرفته بود و ارتباط بین حرکات نشانگر و علامتِ آن بر روی صفحه، برعکس شده بود؛ بدین‌ترتیب که هنگامی‌که نشانگر به سمت چپ یا پایین حرکت می‌کرد، علامتِ آن بر روی نمایشگر، به‌ترتیب به راست یا بالا می‌رفت و برعکس. بلوک‌های یک تا نُه در یک روز اجرا شدند اما بلوک ۱۰ پس از ۲۴ ساعت تأخیر و استراحت به‌منظور اندازه‌گیری تحکیم و یادگیری انجام گرفت. در همهٔ بلوک‌ها مسیر دایره‌ای مشخص‌شده دو دور با سرعت تعیین‌شده (۰/۰۷ و ۰/۰۸ هرتز) به مدت ۱۵ ثانیه و به‌صورت تصادفی در هر کوشش دنبال می‌شد. بین هر کوشش تمرینی پنج ثانیه استراحت بود و هر بلوک حدوداً دو دقیقه طول می‌کشید. در گروه تجربی شمارهٔ یک (تمرین نوروفیدبک به همراه تمرین یادگیری حرکتی رویه‌ای)، شرکت‌کنندگان پس از اجرای پیش‌آزمون در بلوک یک و دو به‌ترتیب در حالت عادی و معکوس‌شده، یک جلسهٔ سی‌دقیقه‌ای تمرین نوروفیدبک داشتند و سپس بلافاصله تکلیف پیگردی چرخان را در بلوک‌های سه تا هشت تمرین کردند و سپس بلوک نه را به‌عنوان پس‌آزمون پس از ده دقیقه و بلوک ۱۰ را پس از ۲۴ ساعت استراحت اجرا کردند. گروه تجربی دو (تمرین یادگیری حرکتی رویه‌ای) پس از پیش‌آزمون مثل گروه اول، به تمرین تکلیف پیگردی بدون مداخلهٔ برنامهٔ نوروفیدبک ادامه دادند. گروه تجربی سوم (فقط برنامهٔ نوروفیدبک)، پس از پیش‌آزمون مشابه گروه‌های قبلی، تنها در برنامهٔ نوروفیدبک شرکت کرد و سپس در پس‌آزمون، بلوک‌های نه و ده را اجرا کرد. اعضای گروه چهارم (کنترل) به اجرا در بلوک‌های یک و دو (پیش‌آزمون) و نه و ده (پس‌آزمون) بدون هیچ‌گونه تمرین دیگر پرداختند. این شرایط تجربی برای تعیین اثر برنامهٔ

نوروفیدبک در مقایسه با شرایط تجربی دیگر برای استفاده در محیط‌های درمانی و توان‌بخشی تنظیم شد.

برنامهٔ نوروفیدبک شامل سرکوب موج مو در دامنهٔ (۸-۱۲ هرتز) در قشر حرکتی راست (نقطهٔ سی‌چهار) مطابق با پروتکل تمرینی رز و همکاران (۲۰۱۴) بود. سیگنال‌های امواج مغزی به‌وسیلهٔ دستگاه فلکس‌کامپ[1] با آمپلی‌فایر الکترو وانسفالوگرافی با مبدل آنالوگ به دیجیتال[2] ۲۴ بیت ثبت می‌شدند و تمرین نوروفیدبک به شکل بصری به‌وسیلهٔ برنامه بیوگراف[3] به همراه برنامهٔ نرم‌افزاری در یک رایانهٔ اینتل دوهسته‌ای با صفحه‌نمایش پانزده‌اینچی اجرا می‌شد. امواج مغزی استفاده‌شده برای بازخورد و پس‌خوراند زیستی، با الکترودهای مرجع آبی[4] با فرکانس ۲۵۶ هرتز در قشر حرکتی اولیهٔ راست، نقطهٔ سی‌چهار نمونه‌برداری و ثبت می‌شدند و الکترود مرجع (رفرنس) در سمت مخالف در ناحیهٔ پشت گوش بر روی استخوان ماستوئید قرار گرفت. محل قرارگیری الکترودها روی جمجمه با ژل پاک‌کننده تمیز شد و با استفاده از چسب الکترود تن‌بیست، الکترودها نصب شدند. الکترود گرند بر لالهٔ گوش راست وصل شده بود. دامنهٔ پاداش طوری تنظیم شده بود که در ۷۰ درصد مواقع دامنهٔ موج مو در زیر دامنهٔ میانگین اولیه (خط پایه) بود. هر مداخله در یک محیط آرام انجام گرفت که پنج دقیقهٔ اول صرف تمرکز شد و سپس اطلاعات پایهٔ امواج مغزی (بیس‌لاین اولیه) در حالت چشم‌باز و استراحت به مدت‌زمان سه دقیقه ثبت شد؛ آنگاه پروتکل نوروفیدبک آغاز شد و پس از پایان تمرین نوروفیدبک، بلافاصله سه دقیقهٔ دیگر امواج مغزی ثبت شدند. با توجه به راهبرد تمرین نوروفیدبک، شرکت‌کنندگان هیچ‌گونه آموزش و دستورالعمل کلامی آشکاری دریافت نمی‌کردند و گفته شده بود که به‌وسیلهٔ فرایند نوروفیدبک هدایت خواهند شد. گیرنده‌های الکترودی که فعالیت الکتریکی مغز را دریافت کردند، آنها را به واحد اصلی ابزار و دستگاه نوروفیدبک تبدیل می‌کردند و به یک رایانه انتقال می‌دادند. سپس رایانه امواج مغزی را شبیه‌سازی می‌کرد و به‌عنوان یک بازی رایانه‌ای یا ویدیو به شرکت‌کنندگان نشان داده می‌شد. پنج بازی پس‌خوراندی از برنامهٔ نرم‌افزاری بیوگراف ساخت کشور کانادا به حالت تصادفی و هریک به مدت شش دقیقه اجرا شدند (بولینگ، ماز پرواز، گوریل، مسابقهٔ قایق بادی و به حرکت درآوردن زنبور عسل) (۳). در هر بازی، هنگامی‌که سطوح امواج مغزی مو کمتر از سطح آستانهٔ پاداش‌دهی قرار داشت، نمادک‌ها متوقف می‌شدند و آنگاه که سطوح امواج مغزی مو بیشتر از سطح آستانهٔ پاداش‌دهی بود، نمادک‌ها حرکت می‌کردند؛ بنابراین افراد باید یاد می‌گرفتند برخی از اعمال مغزی خود را کنترل کنند. در این پروتکل، برای جلوگیری از خستگی و افزایش

1. Flex camp Infinit Encoder
2. AD Converter
3. Bioghraphinfiniti
4. Ag-AgCl Reference Electrode

علاقه‌مندی افراد، از بازی‌های مختلف استفاده شد. به‌منظور توصیف نتایج از آماره‌های میانگین و انحراف معیار استفاده شد. همچنین برای بررسی نرمال‌بودن متغیرها، آزمون شاپیروویلکس بهره گرفته شد. برای بررسی فرضیه‌های پژوهش از روش آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. سه پیش‌فرض این آزمون (نرمال‌بودن توزیع خطاها با استفاده از آزمون شاپیروویلکس و ثابت‌بودن واریانس خطاها با استفاده از آزمون لون و ناخودهمبسته‌بودن مرتبه یک خطاها با استفاده از آزمون رانز) بررسی و تأیید شدند (P>0.05). در مرحلهٔ پیش‌آزمون برای مقایسهٔ اولیهٔ اجرا با نشانگر (ماوس) عادی و معکوس از تحلیل واریانس دوعاملی (۲×۴) با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد و در مرحلهٔ اکتساب از تحلیل واریانس دوعاملی (۹×۲) با اندازه‌گیری مکرر و برای مقایسهٔ میزان یادگیری چهار گروه در جلسات پیش‌آزمون، یادداری ۱۰ دقیقه و ۲۴ ساعت از تحلیل واریانس دوعاملی (۳×۴) با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. سطح معناداری نیز (P<0.05) در نظر گرفته شد و تمام محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس (نسخهٔ ۲۰) انجام گرفت.

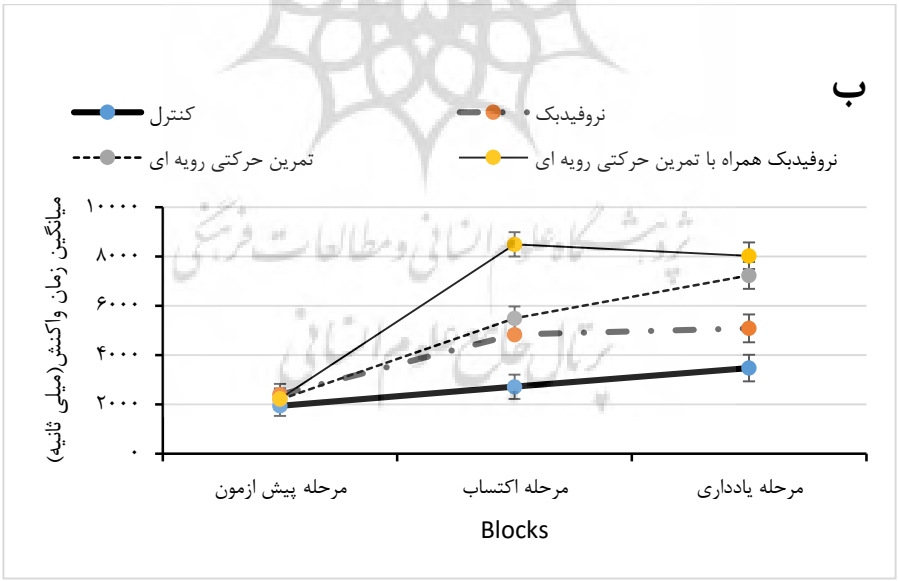
نتایج

با استفاده از آزمون شاپیروویلکس توزیع نمرات متغیر وابسته در گروه‌ها نرمال بود (P>0.05) و بررسی اولیهٔ همسانی گروهی و تفاوت در کنترل نشانگر (ماوس) به شکل عادی و معکوس‌شده بین بلوک‌های یک و دو در جلسهٔ پیش‌آزمون با آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر دوعاملی (بلوک×گروه) در متغیر زمان باقی‌ماندن بر هدف نشان داد که تفاوت معناداری بین بلوک‌ها وجود دارد (Wilk,s ^=0.046; F(1,43)=89.24;p<0.001, ^{2}=0.95) که نشان‌دهندهٔ ناتوانی شرکت‌کنندگان در کنترل و اجرای حرکت معکوس‌شدهٔ نشانگر به‌عنوان یک تکلیف جدید است. همچنین بین عامل گروهی تفاوت معناداری وجود نداشت و اثر تعاملی نیز معنادار نبود (P>0.05) که نشان‌دهندهٔ همسانی اولیهٔ گروهی (مطابق با شکل شمارهٔ یک) است. الگو و شکل کلی تغییر در یادگیری رویه‌ای گروهی از طریق تغییرات در زمان باقی‌ماندن بر هدف در بین سه بلوک ۱۰ و ۹، ۲ در نظر گرفته شد. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر با سه بلوک به‌عنوان عامل درون‌گروهی و چهار گروه به‌عنوان عامل بین گروهی به‌صورت تحلیل واریانس دوعاملی (۳×۴)، اثر معناداری بر عامل گروهی (F(3,43)=12.99; p<0.001; ^{2} =0.47) و اثر معناداری بر عامل بلوک (F(2,86)=167.46; p<0.001; ^{2}=0.79) که نشان‌دهندهٔ تغییرات اجرا و عملکرد بین بلوک‌هاست و اثر تعاملی معناداری (F(6,86)=17.44; p<0.001; ^{2}=0.54) که نشان‌دهندهٔ تغییرات عملکرد بین بلوک‌هاست و در بین گروه‌ها متفاوت و پویاست. همچنان‌که در شکل شمارهٔ دو دیده می‌شود، هیچ‌یک از گروه‌ها در بلوک دو (پیش‌آزمون) تفاوت معناداری با گروه‌های دیگر نداشتند و پس از دریافت شرایط تجربی (بلوک

نه، در مرحلهٔ اکتساب)، گروه ترکیبی نوروفیدبک همراه تمرین یادگیری رویه‌ای، بیشترین زمان باقی‌ماندن بر هدف را داشت (۴۱۱/۹±۶۲۵۳/۵)؛ گروه تمرین یادگیری حرکتی رویه‌ای از حیث زمان باقی ماندن بر هدف در جایگاه دوم قرار داشت (۴۱۱/۹±۴۹۷۱/۰۹)، بعد گروه نوروفیدبک (۴۳۰/۲±۴۱۰۸/۶) و درنهایت گروه کنترل قرار داشت (۴۱۱/۹±۲۷۱۵/۲). با استفاده از آزمون تعقیبی و اکتشافی ال‌اس‌دیِ فیشر (حداقل تفاوت معناداری) برای اثر اصلی تفاوت بین گروه‌ها مشخص شد که تفاوت معناداری بین گروه ترکیبی (نوروفیدبک همراه تمرین یادگیری رویه‌ای) با دیگر گروه‌ها وجود داشت ($P<0.05$) و تفاوت معناداری بین گروه‌های تمرین یادگیری رویه‌ای و گروه نوروفیدبک وجود نداشت ($P>0.05$) و تفاوت معناداری بین گروه کنترل و بقیهٔ گروه‌ها مشاهده نشد. تحلیل اکتشافی برای عامل اصلی دوم (بلوک) با استفاده از ال اس‌دیِ فیشر نشان داد که ادامهٔ تمرین موجب بهبود دقت و اجرا از بلوک دو (۲۰۷/۶±۲۱۹۷/۷) به بلوک نُه (۲۴۷/۵±۵۳۸۱/۸) و بلوک ۱۰ (۲۷۳/۳±۵۹۵۶/۴) شده است. مقایسهٔ دوبه‌دو بین بلوک‌های دو، نُه و ده در بین گروه‌ها نشان داد تفاوت معناداری بین هر سه بلوک وجود دارد ($P<0.001$). نمودار عملکرد گروهی بین سه بلوک، همچنان‌که در شکل شمارهٔ دو دیده می‌شود، اثر تعاملی به علت کاهش عملکرد گروه تجربی اول و ادامهٔ افزایش عملکرد گروه تجربی دوم پس از ۲۴ ساعت استراحت است. تحلیل واریانس یک‌راهه بین گروه‌ها برای اثر تعاملی (گروه × بلوک) نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه کنترل و دیگر گروه‌ها در بلوک‌های نُه و ده (اکتساب و یادداری) وجود دارد و تفاوت معناداری بین گروه‌های نوروفیدبک و تمرین یادگیری رویه‌ای در بلوک نُه وجود ندارد (اکتساب $P>0.05$)؛ ولی تفاوت معناداری در بلوک ۱۰ (یادداری $P<0.05$) دارند و همچنین تفاوت معناداری بین گروه‌های تمرین رویه‌ای و تمرین رویه‌ای همراه با نوروفیدبک در بلوک نُه ($P<0.05$) وجود دارد و در بلوک ۱۰ تفاوت معناداری وجود ندارد ($P>0.05$). عملکرد گروهی بین بلوک‌ها در جدول شمارهٔ یک خلاصه شده است.

پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۱. الف: نمودار عملکرد گروهی در زمان باقی‌ماندن بر هدف در حالت حرکت نمایشگر (ماوس) عادی و معکوس، در بین دو بلوک اول

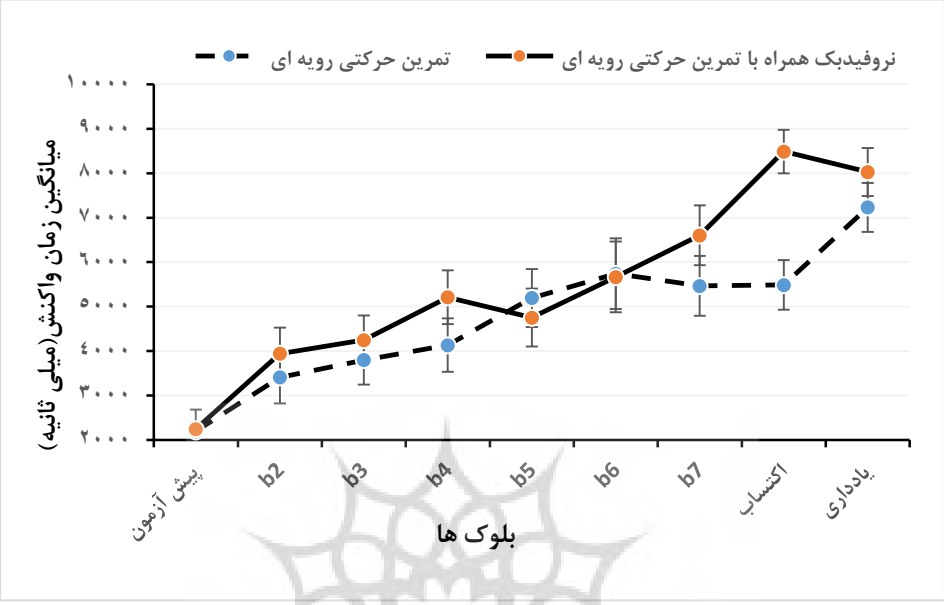


شکل ۱. ب: زمان باقی‌ماندن بر هدف بین گروه‌ها در بین کوشش‌های سه بلوک پیش‌آزمون، اکتساب و یادداری. نوار خطا نشان‌دهندهٔ یک انحراف خطای استاندارد میانگین است.

جدول۱- خلاصه‌ای از نتایج زمان باقی‌ماندن بر هدف گروه‌ها بین بلوک‌های تمرینی

گروه / بلوک	نوروفیدبک همراه با تمرین حرکتی رویه‌ای	تمرین حرکتی رویه‌ای	نوروفیدبک	کنترل
بلوک ۱	۹۷۸۳/۸±۱۹۹۱/۴	۹۵۰۰/۳±۲۵۰۰/۴	۹۸۴۳/۱±۶۴۷/۵	۹۵۷۵/۷±۶۱۹/۹
بلوک ۲	۲۲۴۲/۷±۱۳۱۲/۱	۲۱۹۴/۹±۱۷۱۹/۰	۲۴۵/۱±۴۲۸/۸	۱۹۴۸/۰۸±۴۱۰/۵
بلوک ۳	۳۹۳۹/۲±۲۲۰۲/۳	۳۴۰۸/۳±۱۸۶۴/۸	—	—
بلوک ۴	۴۲۶۴/۲±۱۶۸۳/۶	۳۷۹۵/۲±۲۱۱۴/۷	—	—
بلوک ۵	۵۲۱۰±۱۹۳۱/۰۷	۴۱۳۱/۶±۲۲۳۰/۶	—	—
بلوک ۶	۴۷۵۱/۵±۱۶۶۵/۹	۵۱۹۳/۴±۲۷۲۶/۹	—	—
بلوک ۷	۵۶۶۵/۲±۱۹۳۳/۵	۵۷۳۹/۱±۳۳۸۹/۱	—	—
بلوک ۸	۶۶۰۲/۴±۲۲۱۲/۲	۵۴۶۳/۱±۲۴۴۹/۹	—	—
بلوک ۹	۸۴۸۸/۴±۱۲۳۸/۷	۵۴۸۷/۲±۲۴۳۳/۹	۴۸۳۳/۹±۱۶۵۰/۴	۲۷۱۷/۸±۱۱۴۵/۰۶
بلوک ۱۰	۸۰۲۶/۵۵±۱۸۵۰/۱۶	۷۲۳۱/۱±۱۸۷۷/۲	۵۰۸۶/۶±۲۰۸۱/۱	۳۴۷۹/۸±۱۵۶۲/۷

برای بررسی روند پیشرفت و تغییرات گروهی در یادگیری رویه‌ای بین جلسه‌های تمرین، به‌طور مجزا تفاوت عملکرد و یادگیری بین بلوک‌های دو تا نه دو گروه (تمرین رویه‌ای و تمرین رویه‌ای همراه با استفاده از برنامهٔ نوروفیدبک) در تکلیف پیگردی چرخان، تحلیل شد. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (گروه × بلوک؛ ۲×۹) تفاوت معناداری برای اثر اصلی بلوک‌ها نشان داد ($F(8,15)=60.22$; $P<0.001$; $\eta^2=0.97$) که نشان‌دهنده تغییرات عملکرد بین بلوک‌های تمرینی و معنادارنبودن تفاوت در اثر اصلی گروهی ($F(1,22)=0.89$; $P=0.33$; $\eta^2=0.043$) بود. همچنان‌که در شکل شمارهٔ دو قابل‌مشاهده است، هر دو گروه پیشرفت مشابهی در عملکرد زمان باقی‌ماندن بر هدف بین بلوک‌های تمرینی داشتند، ولی اثر تعاملی برنامهٔ نوروفیدبک و تمرین یادگیری رویه‌ای حرکتی در میزان پیشرفت بین بلوک‌های تمرینی متفاوت بود ($F(8,15)=6.55$; $p=0.001$, $\eta^2=0.77$). با معنادار شدن اثر تعاملی، مقایسهٔ دوبه‌دو گروه‌ها در طول بلوک‌ها نشان داد که تفاوت معناداری بین هیچ‌یک از بلوک‌ها وجود ندارد ($P>0.05$)؛ به‌جز بلوک هشت، جلسهٔ یادداری ۱۰ دقیقه ($P=0.001$).



شکل ۲- روند پیشرفت و تغییرات یادگیری حرکتی رویه‌ای گروهی بین بلوک‌های تمرین در دو گروه تمرین رویه‌ای و ترکیبی (تمرین عادی همراه با نوروفیدبک)

*نوار خطا نشان‌دهندهٔ یک انحراف خطای استاندارد میانگین است.

نمودارهای عملکرد گروهی بین بلوک‌های تمرینی همچنان‌که در شکل شمارهٔ دو دیده می‌شود، حاکی از این است که اثر تعاملی به دلیل اثر تمرین نوروفیدبک بر اجرا بوده است و به نظر می‌رسد با ایجاد فاصله و تأخیر بین کوشش‌های مداخله‌ای، کاهش می‌یابد؛ همچنین به نظر می‌رسد برنامهٔ تمرینی نوروفیدبک تنها یک متغیر اجرایی است و ممکن است با فاصله‌گرفتن از جلسهٔ مداخله‌ای نوروفیدبک قبل از کوشش‌های اصلی حذف شود یا کاهش یابد. درواقع گروه چهار (نوروفیدبک همراه با تمرین رویه‌ای) یک کاهش اثر تحکیم و یادداری را نشان داد. به این معنی که اثر مداخلهٔ نوروفیدبک کاهش یافته بود ولی گروه سوم (تمرین رویه‌ای) پس از ۲۴ ساعت استراحت و فاصلهٔ تأخیری، در مقایسه با بلوک نُه (مرحلهٔ اکتساب) در یادگیری و تحکیم پیشرفت معناداری داشت اما بین دو گروه پس از ۲۴ ساعت تفاوت معناداری وجود نداشت. پس گروه چهار در زمان باقی‌ماندن بر هدف در بین بلوک‌های نُه و ده کاهش داشته ولی گروه سه در بین بلوک‌های نُه و ده از حیث زمان باقی‌ماندن بر هدف افزایش داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که پیش‌ازاین گفته شد، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تسهیلی نوروفیدبک بر عملکرد و یادگیری حرکتی رویه‌ای یک تکلیف جدید انجام گرفت. نتایج نشان داد که در جلسهٔ پیش‌آزمون در متغیر زمان باقی‌ماندن بر هدف، تفاوت معناداری بین چهار گروه وجود نداشت و تفاوت معناداری در گروه کنترل بین بلوک‌های تمرینی مشاهده نشد؛ بنابراین، هرگونه افزایش عملکرد را می‌توان ناشی از برنامهٔ نوروفیدبک و یا کوشش‌های تمرین یادگیری حرکتی رویه‌ای نسبت داد. نتایج همچنین نشان داد گروهی که از تمرین ترکیبی (برنامهٔ نوروفیدبک همراه با تمرین رویه‌ای) استفاده کرده بودند، نسبت به دیگر گروه‌های تمرینی در مرحلهٔ اکتساب بهتر بودند و تفاوت معناداری داشتند ولی در مرحلهٔ یادداری، اثر تسهیلی و کمکی برنامهٔ نوروفیدبک تضعیف شد و بین گروه تمرین ترکیبی با گروه تمرین رویه‌ای مجرد تفاوت معناداری وجود نداشت. این نتایج با یافته‌های رز و همکاران (۲۰۱۳ و ۲۰۱۰) و صالحی (۱۳۹۴) و اسکندرنژاد (۱۳۸۹) همسو است. همچنین بین دو گروه تمرین مجرد رویه‌ای و نوروفیدبک در مرحلهٔ اکتساب تفاوت معناداری وجود نداشت ولی کاهش اثر تحکیمی در گروه نوروفیدبک و ادامهٔ بهبود اثر تحکیمی گروه تمرین رویه‌ای، موجب تفاوت معنادار این دو گروه در مرحلهٔ یادداری شد که نتیجهٔ حاصل با یافته‌های رز و همکاران (۲۰۱۳ و ۲۰۱۰) همخوان است. این نتایج نشان می‌دهند که می‌توان از برنامهٔ نوروفیدبک بلافاصله قبل از اجرای هر گونه از رویه‌های رفتاری استفاده کرد و مؤید اصل قانون توانی تمرین است که در ابتدای تمرین پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای در عملکرد افراد نوآموز مشاهده می‌شود. نتایج حاصل بر اساس توضیح شناختی در مورد نوروفیدبک و اثرات تمرین، مورد تأیید است. توضیح شناختی بیان می‌کند که در مرحلهٔ اول یادگیری (کلامی ـ شناختیِ) یک مهارت حرکتی، فعالیت شناختی زیاد است و نوروفیدبک به‌راحتی می‌تواند پاسخ‌گوی نیازهای اجراکننده باشد. همچنین، هر دو گروه تمرین نوروفیدبک و تمرین تکلیف اصلی به یک نسبت پیشرفت اجرا داشتند؛ ولی گروه تمرین ترکیبی از اثر مضاعف ترکیب دو تمرین بهره گرفته و عملکرد بهتری از دو گروه تمرین مجرد داشته است. در مقایسه با تمرین مجرد یادگیری رویه‌ای، اثر مداخلهٔ نوروفیدبک قبل از تکلیف پیگردی چرخان منجر به افزایش معناداری در میزان عملکرد می‌شود. همچنین هم‌راستا با یافته‌های نیتچه و همکاران (۲۰۰۳) که اشاره به تحریک قشر حرکتی سمت مخالف بدن با جریان تحریکی مستقیم (tDcs) داشتند و بهبود عملکرد زمان واکنش زنجیره‌ای دست یافتند، تحریک قشر حرکتی اولیه با ناهم‌زمان‌سازی موج مو به‌وسیلهٔ برنامهٔ نوروفیدبک، موجب تحریک‌پذیری قشری ـ نخاعی و رفع بازداری داخل قشری، حداقل به مدت ۲۰ دقیقه می‌شود (۳،۲). که ممکن است منجر به یادگیری کارآمدتری بشود. همچنین نتایج حاصل دربارهٔ اثرات تحکیم، همسان با نتایج حو و بیشپ (۲۰۱۴) بود که اشاره به بهبود اثرات یادگیری در تکلیف پیگردی چرخان

پس از پنج تا هفت روز فاصله و تأخیر در کودکان هفت تا یازده‌ساله داشتند و با نتایج اسپارسی و فورمیکا و همکاران (۲۰۱۵) که به عملکرد تکلیف پیگردی چرخان بهتر کودکان پس از ۲۴ ساعت استراحت اشاره داشتند، همسان است.

نتایج نشان داد برنامهٔ نوروفیدبک منجر به بهبود تصمیم‌گیری و کاهش خطا و یادگیری سریع و افزایش انعطاف‌پذیری عصبی مربوط به تمرین شد که در موقعیت‌های عملی نیز قابل‌استفاده و کاربردی است. امواج مغزی مو با دامنهٔ هشت تا سیزده هرتز در حالت استراحت و بازداری عمل حرکتی، دارای هم‌زمانی و اوج فعالیت است و جریان خون نواحی گیجگاهی خلفی، پیس‌سری و آهیانه‌ای و شکنج کمربندی کاهش می‌یابد؛ ولی در هنگام اجرای عمل حرکتی یا مشاهده و تقلید یک حرکت، دچار ناهم‌زمانی و کاهش فعالیت می‌شود و ناهم‌زمان‌سازی موج مو به میزان ۱۰ هرتز با فعال‌شدن شبکهٔ قشری برای پردازش اطلاعات، توجه انتخابی و آمادگی حرکتی مرتبط است (۱۸). هنگام اجرای یک حرکت با سمت چپ بدن (همانند شرایط پژوهش حاضر)، فعالیت موج مو در منطقهٔ حسی ـ حرکتی نیمکرهٔ راست سرکوب و دچار ناهم‌زمانی می‌شود (۱۹) و در برخی موقعیت‌های آموزشی یا افرادِ با نیازهای خاص یا برای افزایش عملکرد بهینه، با استفاده از تکنیک نوروفیدبک می‌توان با سرکوب موج مو و ناهم‌زمان‌سازی آن (کاهش هم‌زمانی) به بازداری‌زدایی عمل حرکتی و اجرا و یادگیری کمک کرد. حتی پیندا و سیلور[1] (۲۰۰۳) نشان داده‌اند که افراد سرکوب موج مو را بهتر از تقویت آن یاد می‌گیرند و با نگه‌داشتن موج مو در یک سطح مشخص (سرکوب با کمک برنامهٔ نوروفیدبک)، حرکت نمادک‌ها در بازی‌های برنامه بیشتر می‌شود (۲۰،۲۱). ولی نباید فراموش شود که عوامل روان‌شناختی و ذهنی بر فعالیت موج مو بسیار اثرگذارند و فرد را در کنترل آن به دشواری می‌اندازند (۲۲). همچنین پیچیدگی تکلیف به افزایش ناهم‌زمانی موج مو منجر می‌شود که در شرایط تکلیف پیگردی چرخان با دست غیربرتر و به‌صورت حرکت نشانکر (ماوس) معکوس، این ناهم‌زمانی بیشتر می‌شود و در کنار نقش کمکی برنامهٔ نوروفیدبک، به یادگیری کمک می‌کند. ناهم‌زمانی موج مو با سرکوب آن، به بازداری‌زدایی و فعال‌سازی شبکهٔ عصبی و پردازش حسی ـ حرکتی در ناحیهٔ آهیانه‌ای قدامی مربوط به این بحث است (۱۸).

همچنین پیندا و سیلور (۲۰۰۳) اشاره کردند که کاهش دامنهٔ فعالیت موج مو، با افزایش فعالیت نورون‌های حرکتی اعصاب آینه‌ای قشر پیش‌حرکتی هم‌زمان و مرتبط است و بالعکس با اجرای عمل حرکتی یا مشاهدهٔ آن و افزایش فعالیت اعصاب آینه‌ای، در ناحیهٔ موردنظر فعالیت موج مو سرکوب و کم می‌شود؛ اما در زمینهٔ کاهش اثر برنامهٔ نوروفیدبک می‌توان گفت تحکیم یادگیری رویه‌ای در دو بخش (حفظ یادگیری از بازداری پس‌گستر) و افزایش عملکرد (بهبود اجرا بدون تمرین) انجام می‌شود؛

1. Pineda & Silverman

همچنین مؤثرترین عامل بر یادگیری حرکتی رویه‌ای را فرایند خواب دانسته‌اند. مطابق با نتایج برخی مطالعات، خواب شبانه موجب تحکیم و تثبیت حافظه‌ای می‌شود و محرومیت از خواب بر آن اثر تضعیف‌کننده دارد. در مرحلهٔ دوم خواب (رم) مکانیسم‌های انتقال اطلاعات از هیپوکامپوس به قشر حرکتی برای تحکیم حافظه فعال می‌شوند، فعالیت مغز افزایش می‌یابد و تمام کارهای روز قبل را در حافظه فایل‌بندی و تثبیت می‌کند و الگوی مسیرهای عصبی فعال‌شده در طول تمرین دوباره فعال می‌گردند. با توجه به اینکه جامعهٔ آماری مطالعهٔ حاضر از بین دانشجویان انتخاب شده بود و بر میزان خواب و استراحت آنها در دورهٔ تحکیم هیچ‌گونه کنترلی وجود نداشت و این قشر معمولاً زمان زیادی از شب را به بیداری می‌گذرانند، ممکن است استراحت کافی نداشتن بر کاهش تحکیم، به‌ویژه در زمینهٔ برنامهٔ نوروفیدبک بیشتر اثر گذاشته باشد. همچنین موج تتا توانایی شکل‌دهی فرایندهای عصبی با پیشگیری از بازداری پس‌گستر را دارد و نیز مطالعه‌ای که از پروتکل سی‌دقیقه‌ای نوروفیدبک تتا/بتا در نقطهٔ پی‌زد (Pz) برای تحکیم حافظهٔ رویه‌ای استفاده کرده‌اند، آن را پس از ۲۴ ساعت و هفت روز نیز مؤثر دانستند و اشاره کردند که اثر برنامهٔ نوروفیدبک بر یادگیری رویه‌ای پس از ایجاد حافظهٔ جدید، از طریق تثبیت حافظه‌ای، بلافاصله پس از تمرین هست (۶). همچنین به نظر می‌رسد مطابق با نتایج رزنگورت و همکاران (۲۰۱۶) و رینر و همکاران (۲۰۱۴) که پس از تمرین اصلی به‌منظور تثبیت حافظه‌ای از تقویت موج تتا استفاده کردند، برای تحکیم حافظه نیاز به هم‌زمانی موج تتا باشد و برای افزایش عملکرد در مرحلهٔ اکتساب طبق نتایج رز و همکاران (۲۰۱۴) و پژوهش حاضر سرکوب موج مو قبل از اجرای اصلی برای بهبود عملکرد مناسب باشد.

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد مداخلهٔ یک‌جلسه‌ای نوروفیدبک مطابق پژوهش حاضر، اثر اجرایی و کوتاه‌مدت بر یادگیری حرکتی رویه‌ای دارد و اهمیت تمرین یک جلسه نوروفیدبک و اثر اجرایی آن حدود ۲۰ دقیقه بعد از مداخله برای سرکوب موج مو را ثابت می‌کند؛ بنابراین می‌توان از این شیوه بلافاصله قبل از اجرای ورزشی برای بهبود اجرا کمک گرفت. همچنین نتایج نشان دادند که تکلیف پیگردی چرخان دارای کارایی برای ارزیابی یادگیری حرکتی رویه‌ای است. با توجه به یافته‌های این پژوهش و مطالعات قبلی می‌توان گفت که آموزش نوروفیدبک برای افزایش عملکرد مؤثر است و نتایج حاصل، کاربردهای آموزشی، بالینی و تمرینی دارند؛ ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود به مربیان و متصدیان آموزشی، از آموزش نوروفیدبک برای تسهیل یادگیری استفاده کنند و در برخی افراد آسیب‌دیده که امکان تمرین عملی وجود ندارد، از تمرین نوروفیدبک کمک بگیرند. همچنین ممکن است با تعداد جلسات بیشتر، نتایج بهتری کسب شود. در این پژوهش محقق بر میزان خواب شبانه پس از تمرین کنترل نداشت؛ درحالی‌که اثر خواب شبانه بر بخش حفظ اثرات تحکیمی بیش از بخش افزایش عملکرد است. پس ممکن است کمبود خواب موجب افت اجرا در مرحلهٔ یادداری شده باشد؛

ازاین‌رو به پژوهشگران نیز مطالعهٔ مقایسه‌ای این پروتکل با پروتکل‌های دیگر و یا در تعداد جلسات بیشتر، اثر آن بر مهارت‌های ورزشی، کنترل میزان خواب افراد، در نظر گرفتن تفاوت‌های فردی و محیطی و تکلیفی و اثر خستگی و عوامل عاطفی مثل استرس و مطالعهٔ اثر استفاده از دو پروتکل سرکوب مو قبل از تمرین و تقویت تتا پس از تمرین پیشنهاد می‌شود. به ورزشکاران همچنین توسعه می‌شود قبل از اجرای وزرشی و مسابقهٔ خود از اثر مضاعف برنامهٔ نوروفیدبک استفاده کنند. همچنین با استفاده از نتایج مطالعهٔ حاضر پیشنهاد می‌شود در افراد با نقص در یادگیری رویه‌ای، مثل کودکان اوتیسم و کودکان با اختلال هماهنگی رشدی و بیماری پارکینسون و افراد ناشنوا و دیگران، یادگیری حرکتی رویه‌ای و اجرای آنها با استفاده از آموزش نوروفیدبک بررسی شود.

پیام مقاله: یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از شیوه‌های جدید برای افزایش عملکرد، مثل برنامه‌های نوروفیدبک در کنار برنامهٔ تمرینی که امروزه رو به گسترش هستند، حتی به‌صورت تک‌جلسه‌ای می‌تواند در تسریع و بهینه‌سازی عملکرد، نقش مؤثر و فزاینده داشته باشد و اضافه‌کردن تمرین تکلیف اصلی در کنار آن موجب نمایان‌تر شدن اثرات نوروفیدبک می‌شود؛ ولی در زمینهٔ یادگیری یک مهارت، تمرین‌های مربوط به خود مهارت مؤثرترین عامل هستند.

منابع

1. Moucha R, Kilgard MP. Cortical plasticity, and rehabilitation. Progress in brain research. 2006;157:111-389.
2. Ros T, Munneke MA, Ruge D, Gruzelier JH, Rothwell JC. Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. EuropeanJournal of Neuroscience. 2010;31(4):770-8.
3. Ros T, Munneke M, Parkinson L, Gruzelier J. Neurofeedback facilitation of implicit motor learning. Biological psychology. 2014;95:54-8.
4. Lejeune C, Wansard M, Geurten M, Meulemans T. Procedural learning, consolidation, and transfer of a new skill in Developmental Coordination Disorder. Child Neuropsychology. 2014(ahead-of-print): 1-12.
5. Doyon J, Penhune V, Ungerleider LG. Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. Neuropsychologia. 2003; 41(3): 252-62.
6. Rozengurt R, Barnea A, Uchida S, Levy DA. Theta EEG neurofeedback benefits early consolidation of motor sequence learning. Psychophysiology. 2016.
7. McManis DL. Pursuit-rotor performance of normal and retarded children in four verbal-incentive conditions. Child development. 1965: 667-83.
8. Ahonen B, Dunham C, Getty E, Kosmowski K. The effects of time of day and practice on cognitive abilities: the PEBL pursuit rotor, compensatory tracking, match-to-sample, and TOAV tasks. PEBL Techn Rep Ser. 2012; 2.

9. Pasgreta K, Feit J, Nowińska E, Walecki P, Gorzelańczyk EJ. 1867 – Motor procedural learning in individuals with mild and moderate alzheimer's disease compared to healthy subjects. European Psychiatry. 2013; 28, Supplement 1:1
10. Sparaci L, Formica D, Lasorsa FR, Mazzone L, Valeri G, Vicari S. Untrivial Pursuit: Measuring Motor Procedures Learning in Children with Autism. Autism Research. 2015.
11. Catale C, Geurten M, Lejeune C, Meulemans T. TheConners Parent Rating Scale: Psychometric properties in typically developing 4-to 12-year-old Belgian French-speaking children. Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology. 2014; 64(5): 221-7.
12. Brosseau J, Potvin M-J,,Rouleau I. Aging affects motor skill learning when the task requires inhibitory control. Developmental neuropsychology. 2007; 32(1): 597-613.
13. Lejeune C, Catale C, Schmitz X, Quertemont E, Meulemans T. Age-related differences in perceptuomotor procedural learning in children. Journal of experimental child psychology. 2013; 116(2): 157-68.
14. Salehi M, Amini H, Mohammad Zadeh h. Comparison of the Effects of Neurofeedback and Mental Imagery Practice on the Performance and Learning of Darts Skill Neuropsychology. 2015; 1(1): 86-103. (In Persian)
15. Pop-Jordanova N, Demerdzieva A. Biofeedback Training for Peak Performance in Sports Case Study. Macedonian journal of medical sciences. 2010; 3(2): 113-8.
16. Piper BJ. Age, handedness, and sex contribute to fine motor behavior in children. Journal of neuroscience methods. 2011; 195(1): 88-91.
17. Noguchi T, Demura S, Nagasawa Y, Uchiyama M. Influence of measurement order by dominant and nondominant hands on performance of a pursuit-rotor task. Perceptual and motor skills. 2009; 108(3): 905-14.
18. Pineda JA. The functional significance of mu rhythms: translating “seeing” and “hearing” into “doing”. Brain Research Reviews. 2005; 50(1): 57-68.
19. Derambure P, Defebvre L, Bourriez J, Cassim F, Guieu J. [Event-related desynchronization and synchronization. Reactivity of electrocortical rhythms in relation to the planning and execution of voluntary movement]. Neurophysiologie clinique =Clinical neurophysiology. 1999;29(1):53-70.
20. Pineda JA, Silverman DS, Vankov A, HestenesJ. Learning to control brain rhythms: making a brain-computer interface possible. IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering. 2003; 11(2): 181-4.
21. Kuhlman WN. EEG feedback training: enhancement of somatosensory cortical activity..Electroencephalography and clinical neurophysiology. 1978; 45(2): 290-4.
22. Rusalova M, Kostyunina M. Spectral correlation studies of emotional states in humans. Neuroscience and behavioral physiology. 2004; 34(8): 803-8.

استناد به مقاله

سپهری‌بناب حسن، محمدزاده حسن، ابراهیمی‌ثانی صغری. تسهیل و تحکیم یادگیری حرکتی رویه‌ای با استفاده از نوروفیدبک. رفتار حرکتی. بهار ۱۳۹۷؛ ۱۰(۳۱): ۴۶-۱۲۹. شناسه دیجیتال: 10.22089/MBJ.2018.1188

Sepehri Bonab. H, Mohammadzade. H, Ebrahimi sani. S. Procedural Motor Learning Facilitation and Consolida-tion by Neurofeedback. Motor Behavior. Spring 2018; 10 (31): 129-46. (In Persian). Doi: 10.22089/MBJ.2018.1188

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Procedural Motor Learning Facilitation and Consolidation by Neurofeedback

H. Sepehri Bonab[1], H. Mohammadzade[2], S. Ebrahimi Sani[3]

1. Assistant Professor of Motor Behavior, Payame Noor Universtiy, Iran[*1]
2. Professor of Motor Behavior, University of Urmia
3. Ph. D. Student of Motor Development, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 2016/07/25 **Accepted: 2016/12/24**

Abstract

The aim of present study was to investigate the effect of neurofeedback training to facilitate the acquisition and procedural motor learning of a new task. The population of this research was all male students in Urmia University (2014-2015) from which 47 (mean age; 23.20±1.96) were selected as available sample and were randomized into four groups; (NFB + MPL, N=12), (NFB, N=11), (MPL, N=12), (control, N=12). Subjects were right-hand dominant and performed the pursuit rotor task in an inverted mode with their non-dominant (left) hand. Motor procedural learning was measured as performance increment on pursuit rotor task across trail blocks on the same day and consolidation was evaluated following a 24-hour rest. The neurofeedback protocol includes activating of the right primary motor cortex and suppression of Mu rhythm (8–12 Hz) c_4 in a single session for 30 minutes. The analysis of variance with repeated measures showed that compared with other groups, neurofeedback training of (NFB + MPL) group had significantly more effects on motor procedural learning, but no significant durable effect on learning. Generally, the results showed that a single session of NFB immediately after individual training sessions caused facilitation of performance and learning and acceleration of the early acquisition of a motor procedural task.

Keywords: Motor Procedural Learning; EEG-Neurofeedback Training; Pursuit Rotor

* Corresponding Author Email: hsepehrbonab@yahoo.com