تأثیر روش‌های نوروفیدبک کاهش آلفا و افزایش تتا بر یادگیری تکلیف تعقیبی

محمدرضا قاسمیان مقدم[۱]، حمیدرضا طاهری[۲]، علیرضا صابری کاخکی[۳]، و مجید قشونی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۰

چکیده

پژوهش حاضر با هدف مقایسهٔ تأثیر دو نوع پروتکل نوروفیدبک بر یادگیری مهارت حرکتی تعقیبی انجام شد. بدین‌منظور ۴۲ نفر در قالب سه گروه "کاهش‌آلفا"، "افزایش‌تتا" و کنترل قرار گرفتند. در گروه "کاهش‌آلفا"، هدف کاهش دامنهٔ آلفا در منطقهٔ قشر حرکتی قبل از شروع تمرین مهارت و در گروه " افزایش‌تتا" هدف افزایش دامنهٔ تتا در منطقه آهیانه‌ای بلافاصله بعد از اتمام تمرین مهارت بود. سپس افراد در آزمون‌های یادداری با وقفه‌های ۹۰ دقیقه، ۲۴ ساعت و یک هفته بعد شرکت نمودند. نتایج نشان داد در آزمون یادداری اول گروه "کاهش‌آلفا" عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل داشت. هرچند این برتری در آزمون‌های یادداری دوم و سوم معنادار نبود. یافته‌های حاضر نشان داد با بازداری آلفا و متعاقب آن افزایش تحریک پذیری در منطقهٔ قشر حرکتی می‌توان آثار مفیدی در یادگیری یک مهارت حرکتی ایجاد نمود. هر چند پایداری این اثر در طول زمان نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

کلیدواژه‌ها: نوروفیدبک. یادگیری حرکتی. تثبیت حافظه.

Effects of Alpha Suppression and Theta Enhancement Neurofeedback Protocols on Learning a Pursuit Tracking Task

Mohammadreza Ghasemian, Hammidreza Taheri, Alireza Saberi Kakhki, and Majid Ghoshuni

Abstract

This study aimed to compare the effect of two neurofeedback protocols on learning a pursuit tracking task. Forty-two volunteers placed in three groups of alpha-suppression, theta-enhancement and control. In the alpha-suppression group, alpha amplitude suppressed at C4 before the training, while the participants in the theta-enhancement intended to increase theta amplitude at Pz and immediately after training. After training session, the subjects participated in retention tests within 90 minutes, 24 hours, and one week intervals. The results showed that the alpha-suppression group performed better than control group in the first retention test. Nevertheless, this superiority was not significant in subsequent retention tests, where no difference was observed between the groups. These findings revealed that the inhibition of alpha range in the motor cortex and subsequent higher excitability can likely leave beneficial effects on learning a motor skill, even though the sustainability of this effect over time needs to more studies.

Keywords: Neurofeedback. Motor Learning. Memory consolidation.

۱. دانشجوی دکتری رفتارحرکتی دانشکدهٔ علوم ورزشی دانشگاه فردوسی مشهد.

۲. استاد گروه رفتار حرکتی دانشکدهٔ علوم ورزشی دانشگاه فردوسی مشهد (نویسندهٔ مسئول) Email:hamidtaheri@um.ac.ir

۳. دانشیار گروه رفتار حرکتی دانشکدهٔ علوم ورزشی دانشگاه فردوسی مشهد

۴. استادیار گروه مهندسی پزشکی. دانشکدهٔ فنی مهندسی دانشگاه آزاد واحد مشهد

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

در دههٔ اخیر پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر نوروفیدبک بر ابعاد مختلف رفتار انسان پرداخته‌اند. نوروفیدبک فرآیندی است که بر اساس آن فرد یاد می‌گیرد تا برخی از ویژگی‌های امواج مغزی خود نظیر فرکانس، دامنه و نظیر آن را کنترل نماید. مبنای تغییر در این روش شرطی سازی عامل[1] است که فرد از طریق ایجاد رابطه میان امواج مغزی و بازخوردی که دریافت می‌کند قادر به کنترل امواج مغزی خود می‌گردد (ورنون[2]، ۲۰۰۵). توجیه زیربنایی استفاده از این روش براساس وجود همبستگی میان الگوی فعالیت‌های قشر مغزی و برخی جنبه‌های مختلف رفتاری است. بر این اساس افراد در شرایطی که برخی از الگوهای فعالیت قشری مغز فعال هستند، می‌توانند به کارکردهای مغزی مطلوب و در نتیجه عملکرد بهینه برسند (گروزیلر[3]، ۲۰۱۴). اثربخشی استفاده از نوروفیدبک در طول سال‌های اخیر در حیطه‌های درمانی و غیر درمانی متعددی بررسی گردیده است. از جمله این موارد می‌توان به استفاده از روش‌های نوروفیدبک در بهبود عملکرد حرکتی افراد اشاره نمود که با توجه به گستردگی مهارت‌های حرکتی در حیطه‌هایی مختلفی نظیر ورزش (لندرز[4] و همکاران، ۱۹۹۱)، حرکات نمایشی و توانبخشی مورد استفاده قرار گرفته است (هاموند[5]، ۲۰۰۷ و گروزیلر، ۲۰۱۳).

البته در اکثر این پژوهش‌ها بیشتر عملکرد حرکتی مورد بررسی قرار گرفته و نحوهٔ اکتساب مهارت حرکتی و رابطه آن با تمرینات نوروفیدبک کمتر مورد توجه قرار گرفته است. آن دسته از پژوهش‌ها نیز که با تمرین افراد مبتدی سعی در آموزش این افراد داشته‌اند، با توجه اندک به مکانیسم‌های حافظه‌ای نوروفیدبک، بیشتر از پروتکل‌های رایجی استفاده کرده‌اند که بطور مشخص بر روی مؤلفه‌های شناختی تأثیر می‌گذارند و در بیشتر روش‌های درمانی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند(لندرز[6] و همکاران، ۱۹۹۱).

علاوه بر این در بیشتر مطالعات، تمرینات مهارتی و نوروفیدبک در قالب دو طرح مجزا دنبال می‌شود و تأثیرات متقابل آنها بر هم و مسئله زمان‌بندی بین جلسات تمرینی و جلسات نوروفیدبک مد نظر قرار نگرفته است. این در حالی است که نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که غالب بودن یک باند فرکانسی خاص قبل یا بعد از جلسات تمرینی ممکن است با میزان فراگیری یک مهارت در ارتباط باشد. به عنوان مثال نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد با کاهش توان موج آلفا در ناحیهٔ قشر حرکتی بلافاصله قبل از شروع تمرین میزان اکتساب مهارت حرکتی افزایش می‌یابد (رز، مانکخ، پارکینسون و گروزیلر[7]، ۲۰۱۴). توجیه زیربنایی این افزایش در قابلیت اکتساب، مربوط به میزان تحریک پذیری قشر حرکتی است زیرا نتایج پژوهش‌ها نشان داده است بین یادگیری حرکتی و میزان تحریک پذیری قشر حرکتی رابطه وجود دارد. نیتچ[8] و همکاران (۲۰۰۳) اولین بار به مطالعهٔ تأثیر افزایش تحریک پذیری قشر حرکتی از طریق تحریک مستقیم همزمان[9] بر زمان واکنش سریالی پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش تحریک پذیری عملکرد افراد در تکلیف زمان واکنش سریالی بهبود یافت (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۳). علاوه بر این بوید[10] و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند با افزایش تحریک پذیری قشر پیش حرکتی، تثبیت حافظهٔ تکلیف

1. Operation conditioning
2. Vernon
3. Gruzelier
4. Landers
5. Hammond

6. Landers
7. Ros, Munneke, Parkinson, & Gruzelier
8. Nitsche
9. direct current stimulation
10. Boyd

Archive of SID

www.SID.ir

پیگردی در مرحلهٔ یادداری افزایش پیدا می‌کند (بوید و لینسدل، ۲۰۰۹). در ادامه رُز[1] و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی به بررسی رابطهٔ بین تغییر امواج مغزی و تغییر در تحریک پذیری قشری پرداختند. در این پژوهش افراد در دو گروه به تغییر امواج مغزی از طریق تمرین تک جلسه‌ای نوروفیدبک با دو پروتکل بازداری آلفا و افزایش بتای پایین در مناطق حرکتی پرداختند که نتایج نشان داد کاهش توان آلفا باعث افزایش قابل توجهی در تحریک پذیری قشر حرکتی می‌شود (رُز، مونکه راگ، گروزیلر و روثول[2]، ۲۰۱۰). با توجه به وجود رابطهٔ بین تغییر امواج مغزی و تحریک پذیری قشری و با در نظر گرفتن رابطه بین تحریک پذیری قشری و یادگیری حرکتی، رُز و همکاران (۲۰۱۴) اثر کاهش توان آلفا بر اجرای تکلیف زمان واکنش سریالی را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش شرکت کنندگان می‌بایست به بازداری توان آلفا در ناحیه قشر حرکتی از طریق نوروفیدبک و بلافاصله پیش از تمرین مهارت حرکتی می‌پرداختند. نتایج نشان داد در شرایط تمرین بازداری باند فرکانسی آلفا، اگرچه تفاوت معناداری در میزان خطا و سرعت عکس العمل در مجموع کوشش‌ها مشاهده نشد، اما میزان کاهش خطا و زمان عکس العمل(روند تغییرات) در طول کوشش‌های اکتساب بیشتر بود. نتایج این پژوهش از استفاده نوروفیدبک بلافاصله قبل از جلسه اکتساب مهارت حرکتی به منظور تغییر در میزان اکتساب مهارت حمایت نمود (رُز و همکاران، ۲۰۱۴). البته شایان ذکر است که در این مطالعه، پژوهشگران تنها از یک گروه استفاده کردند و بیشتر بر عملکرد تاکید داشتند. از این‌رو داده‌ها فقط در طول جلسهٔ اکتساب مورد بررسی قرار گرفت و از آزمون یادداری استفاده نشد. یکی از موارد قابل ملاحظه در این پژوهش استفاده از تکلیف زمان واکنش سریالی به عنوان مقیاس عملکرد حرکتی بود که بنظر می‌رسد این تکلیف تنها دربرگیرندهٔ سرعت عکس العمل و ویژگی‌های تصمیم‌گیری است و مؤلفه‌های اصلی کنترل حرکات نظیر سرعت حرکت و دقت در جابجایی و شتاب در آن مدنظر قرار نمی‌گیرد. رابطهٔ بین الگوی امواج مغزی و یادگیری یک مهارت جدید تنها به زمان قبل از تمرین و آموزش باز نمی‌گردد، بلکه از سوی دیگر برخی یافته‌ها حاکی از وجود رابطه بین الگوی امواج مغزی بعد از اتمام جلسات تمرینی و در واقع بعد از آموزش یک مهارت و میزان تثبیت حافظهٔ جدید است (رینر، رزنگارت و بارنیا[3]، ۲۰۱۴). بر این اساس هنگامی‌که مهارتی آموخته شده و تمرین می‌شود بعد از مراحل کدگذاری اولیه که در طول مرحلهٔ اکتساب رخ می‌دهد، فرآیند شکل گیری و تثبیت حافظه به مدت طولانی ادامه دارد که به این مرحله بدون تمرین و بصورت آف‌لاین رخ می‌دهد، مرحلهٔ تثبیت حافظه[4] گفته می‌شود (آلبوی[5] و همکاران، ۲۰۱۳). در این راستا ریتم تتا[6] یکی از رایج‌ترین این فعالیت‌ها در زمان پس از آموزش است. برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که موج تتا نقش مهمی در شکل‌گیری حافظه بازی می‌کند. بنظر می‌رسد موج تتا از فعالیت‌های معمول هیپوکامپ ناشی می‌شود که شامل رمز گردانی اطلاعات، حمایت از تثبیت حافظه است و از این‌رو نقش مهمی در پلاستیسیتی بلند مدت همراه با تثبیت حافظه بازی می‌کند (چایوت[7]، ۲۰۱۳ و کورپاتف[8]، ۲۰۱۰). بر این اساس این پیش فرض‌ها رینر[9] و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر افزایش این ریتم بر یادگیری تکلیف ضربه زدن با انگشتان و مقایسهٔ این

1. Ros
2. Ros, Munneke, Ruge, Gruzelier, & Rothwell

3. Reiner, Rozengurt, & Barnea
4. Memory Consolidation
5. Albouy
6. Theta
7. Chauvette
8. Kropotov
9. Reiner

Archive of SID

www.SID.ir

روش با پروتکل‌های افزایش بتا و شرایط کنترل در زمان پس از آموزش پرداختند. هدف از اجرای این تکلیف این بود تا سرعت حرکات دست به مرور زمان بهبود یافته و تعداد ضربه‌ها در مدت یکسان افزایش یابد. نتایج نشان داد که با تغییر در توان تتا بلافاصله بعد از جلسهٔ تمرین حرکتی، میزان عملکرد افراد در آزمون یادداری بهبود پیدا کرد (رینر، رزنگارت و بارنیا[1]، ۲۰۱۴). اگرچه در این پژوهش از طرح یادداری به منظور بررسی تثبیت حافظه و میزان یادگیری حرکتی استفاده گردید اما مهارت حرکتی مورد استفاده بصورت خودآهنگ[2] بود. این امر در حالی است که پژوهش‌ها نشان می‌دهد تتا زمانی بیشتر ایجاد می‌شود که در حرکت نیاز به استفاده همزمان از اطلاعات حسی وجود داشته باشد (کورپاتف، ۲۰۱۰).

با توجه به برخی شواهد مبنی بر وجود الگوهای امواج مغزی متفاوت قبل و بعد از جلسات تمرینی و رابطهٔ آن با میزان عملکرد و یادگیری حرکتی و وجود برخی ملاحظات روش شناختی در پژوهش‌های قبلی، ادامهٔ این سیر پژوهشی جهت بررسی تأثیر پروتکل‌های نوروفیدبک قبل و بعد از تمرین بر میزان یادگیری حرکتی افراد و مقایسه اثربخشی این روش‌ها در تکلیف یکسان ضروری بنظر می‌رسد، از این‌رو در پژوهش حاضر با ایجاد طرحی واحد، از هر دو الگوی تغییر امواج مغزی قبل و بعد از تمرین استفاده شد. از سوی دیگر با توجه به مطالب ذکر شده در مورد تکالیف مورد استفاده در پژوهش‌های گذشته، در این پژوهش از تکلیف پیگردی، یکی از رایج‌ترین تکالیف در زمینه یادگیری حرکتی، استفاده شد تا علاوه بر بکارگیری اطلاعات حسی در حین اجرای تکلیف، ویژگی‌هایی از حرکت نظیر دقت، کنترل سرعت، شتاب و در نتیجه نیرو توسط افراد اعمال شود و در نهایت از طرح یادداری در بازه‌های زمانی مختلف استفاده شد تا پایداری تغییرات عملکرد در طول زمان بررسی گردد. با توجه به مطالب ذکر شده پژوهش حاضر به دنبال مقایسهٔ روش‌های نوروفیدبک کاهش آلفا قبل از تمرین و افزایش تتا بعد از تمرین بصورت مستقیم و در یک طرح یادگیری یکسان می‌باشد.

1. Reiner, Rozengurt, & Barnea
2. Self-Paced

روش شناسی پژوهش

شرکت‌کنندگان

تعداد ۴۲ نفر از داوطلبان بین سن ۱۸ تا ۲۲ سال، راست دست بدون سابقهٔ بیماری خاص و مصرف دارو و با حداقل شش ساعت خواب در طول روزهای آزمایش توسط پرسش‌نامهٔ خودگزارش دهی غربال و سپس بطور تصادفی در قالب سه گروه تغییر امواج مغزی "کاهش آلفا"، "افزایش تتا" و گروه کنترل قرار گرفتند.

ابزار

در جلسات نوروفیدبک از دستگاه پروکامپ اینفینیتی[3] و نرم افزار بیوگراف[4] ساخت شرکت تات تکنولوژی[5] کانادا استفاده شد. تکلیف مورد استفاده در این پژوهش حالت تغییر یافته‌ای از تکلیف پیگردی تعقیبی[6] بود که قبلاً توسط ولف و اشمیت[7] (۱۹۷۵) و هیل و راب[8] (۲۰۰۵) استفاده شده بود. افراد در پشت مانیتور ۱۹ اینچ می‌نشستند که دایرهٔ قرمز به قطر ۱۰ پیکسل در یک مسیر از قبل تعیین شده حرکت می‌کرد و افراد می‌بایست با یک نشانگر سفید که دایره‌ای با همان اندازه بود، این محرک در حال

3. Procomp Infiniti
4. biograph
5. Thought Technology
6. Pursuit Tracking Task
7. Wulf and Schmidt
8. Hill and Raab

Archive of SID

www.SID.ir

حرکت را دنبال می‌کرند. نشانگر سفید توسط افراد و از طریق موس کامپیوتر و با دست غیر برتر یعنی دست چپ کنترل می‌شد. علت انتخاب دست چپ به دلیل تجربهٔ کمتر افراد در استفاده از این دست و نتایج برخی پژوهش‌هایی بود که نشان می‌داد میزان پیشرفت در نیمکرهٔ دست غیربرتر در نتیجه تحریک قشری بیشتر است (بوگیو[1] و همکاران، ۲۰۰۶). مسیر حرکت محرک به وسیله یک سری حرکت‌های سینوسی کنترل می‌شد که برگرفته شده از فرمول زیر بود که این فرمول توسط وولف و اشمیت (۱۹۹۷) استفاده گردیده بود (هیل[2]، ۲۰۱۴).

$$f(x) = b_0 + a_1 \sin(x) + b_1 \cos(x) + a_2 \sin(2x) + b_2 \cos(2x) + \ldots + a_5 \sin(5x) + b_5 \cos(5x).$$

دراین فرمول مقادیر (a_1 تا a_5 و b_0 تا b_5) بطور تصادفی و در دامنهٔ بین ۵ تا ۵- بود. کلیه برنامه‌های ارائه محرک و محاسبه نتایج از طریق نرم افزار متلب برنامه ریزی شد و سپس در قالب یک برنامهٔ اجرایی در محیط سی شارپ با یک پایگاه داده مستقل قرار گرفت.

شکل ۱.مسیر حرکت در تکلیف پیگردی (هیل[1] ۲۰۱٤)

1. Boggio
2. Hill

www.SID.ir

روش گردآوری داده‌ها

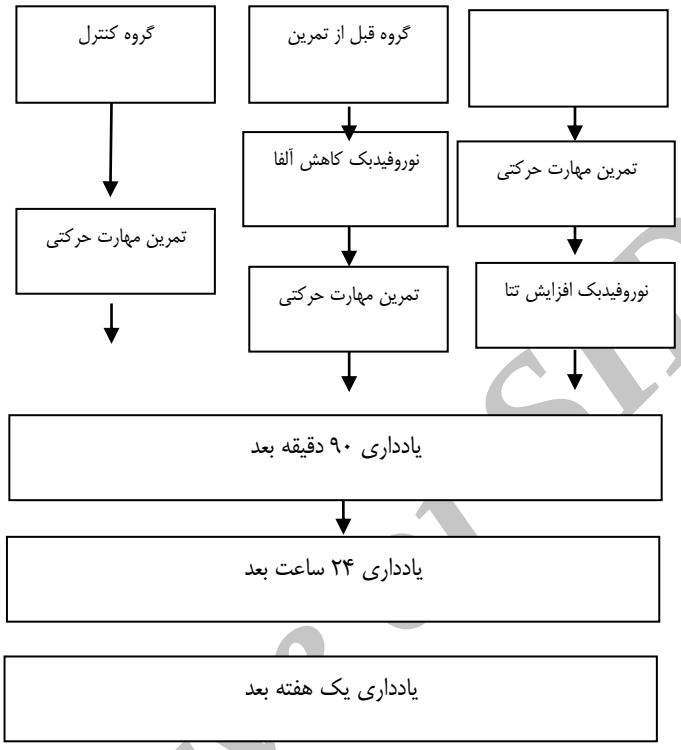
آزمودنی‌ها جهت شرکت در مراحل مختلف پژوهش در سه روز متفاوت به آزمایشگاه مراجعه می‌کردند. در روز نخست جلسات نوروفیدبک، تمرین مهارت حرکتی و آزمون یادداری اول انجام می‌شد، سپس آزمون‌های یادداری دوم و سوم در ۲۴ ساعت و یک هفته اجرا می‌گردید. در ابتدا اطلاعات فردی و سوابق سلامت افراد توسط پرسش‌نامه‌های خود گزارش‌دهی جمع آوری گردید. سپس افراد بطور تصادفی به سه گروه کنترل، نوروفیدبک "کاهش آلفا" و نوروفیدبک "افزایش تتا" تقسیم‌بندی شدند. در گروه "کاهش آلفا" هدف تغییر امواج مغزی از طریق نوروفیدبک در زمان قبل از جلسهٔ اکتساب بود. در این گروه ریتم مغزی آلفا (۸ تا ۱۲) هرتز در نقطهٔ C4 به مدت ۳۰ دقیقه سرکوب و سپس بلافاصله افراد به تمرین تکلیف حرکتی پرداختند. علت انتخاب ریتم آلفا به دلیل رابطهٔ بین آلفا و تحریک پذیری قشری بود و علت انتخاب نقطهٔ C4 نیز استفاده افراد از دست غیر برتر یا دست چپ در هنگام تکلیف و کنترل حرکات دست چپ از طریق قشر حرکتی در نیمکره راست بود (رُز، و همکاران ۲۰۱۰). در دورهٔ اکتساب افراد در قالب ۵ بلوک ۳ کوششی به تمرین مهارت تعقیبی می پرداختند. زمان هر کوشش تمرینی یک دقیقه طول می کشید و افراد بعد از هر بلوک تمرینی حدود یک دقیقه استراحت می کردند. زمان تمرین تکلیف حرکتی در تمامی گروهها حدود ۲۰ دقیقه طراحی شد، زیرا پژوهش‌های قبلی نشان داده بودند که تغییرات در سطح تحریک پذیری قشر حرکتی در نتیجه تمرین نوروفیدبک در حدود چنین زمان مشابه ای حفظ می‌شود (رز و همکاران ۲۰۱۰).

در گروه "افزایش تتا"، بلافاصله بعد از تمرین تکلیف حرکتی و به مدت ۳۰ دقیقه باند فرکانسی تتا (۴ تا ۸) هرتز در نقطهٔ Pz تقویت می‌شد. علت انتخاب ریتم تتا وجود شواهدی مبنی بر رابطه بین تتا و تثبیت حافظه در زمان بعد از تمرین و علت انتخاب نقطه Pz بر این اساس بود که بین فعالیت تتا در این نقطه و میزان فعالیت هیپوکامپ رابطه وجود دارد و در واقع بسیاری از پژوهشگران منشأ تولید تتا در این ناحیه را در نتیجه فعالیت هیپوکامپ می‌دانند (رینر و همکاران ۲۰۱۴). در گروه کنترل زمان حضور در آزمایشگاه و تمرین تکلیف حرکتی مانند دو گروه دیگر بود اما آنها در جلسات نوروفیدبک شرکت نمی‌کرند. در این پژوهش بر خلاف طرح رایج در زمینه نوروفیدبک از گروه ساختگی[1] استفاده نگردید. زیرا برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند استفاده از این روش باعث ایجاد حالتی شبیه درماندگی و ناامیدی[2] می‌شود که افراد در این موقعیت هیچ احساس موفقیت و یادگیری را تجربه نمی‌کنند و نمی‌توانند میان بازخورد و وضعیت خود رابطه‌ای برقرار کنند، از اینرو ممکن است باعث افت انگیزه و تخریب عملکرد بصورت مصنوعی گردد (رینر و همکاران، ۲۰۱۴).

1. Sham
2. Helplessness

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. روند اجرای پروتکل پژوهش

پس از اجرای مرحله اول، افراد در آزمون‌های یادداری، این تکلیف در قالب یک بلوک ۳ کوششی و در فواصل ۹۰ دقیقه، ۲۴ ساعت و یک هفته بعد از اتمام کوشش‌های تمرینی تکلیف شرکت نمودند. میانگین عملکرد افراد در سه کوشش به عنوان عملکرد افراد در آزمون‌های یادداری در نظر گرفته شد.

روش های پردازش داده ها

تغییرات باند فرکانسی مورد نظر در زمان‌های قبل و بعد از جلسهٔ نوروفیدبک از طریق آزمون تی وابسته بررسی گردید. علاوه بر این به منظور بررسی روند تغییرات عملکرد در طول مرحله اکتساب از آزمون تحلیل واریانس درون گروهی (۵*۳) با اندازه‌های تکراری در عامل آخر (گروه در بلوک‌های تمرینی) و جهت مقایسه عملکرد حرکتی بین گروهها در آزمون یادداری نیز از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه برای هر آزمون استفاده گردید.

یافته‌ها

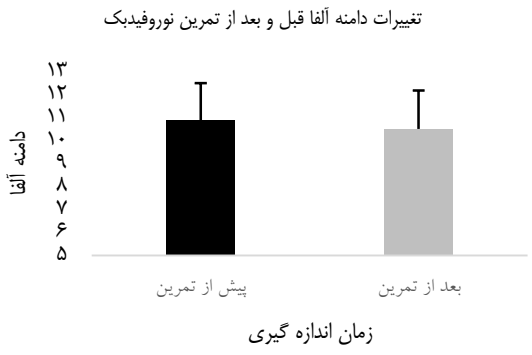
بررسی تغییر امواج مغزی

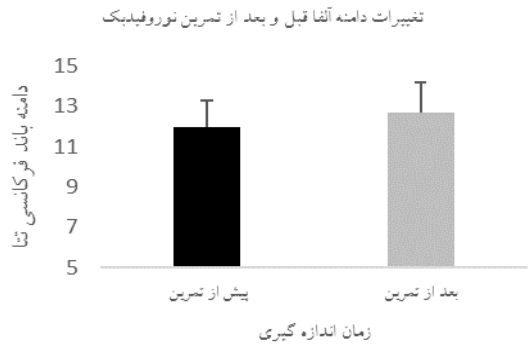
گروه "کاهش آلفا": در این گروه هدف کاهش دامنهٔ آلفا بود. شکل ۳ تغییرات دامنهٔ آلفا قبل و بعد از جلسه تمرینی نوروفیدبک را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد دامنهٔ آلفا در انتهای جلسه نوروفیدبک کاهش پیدا کرده است. آزمون تی وابسته

Archive of SID

www.SID.ir

نشان داد که دامنهٔ باند فرکانسی آلفا بعد از تمرینات نوروفیدبک بطور معناداری کاهش پیدا کرده است (t=۲/۵۳ ،P<۰/۰۵).





شکل ٤. مقایسهٔ دامنهٔ تتا در گروه "افزایش تتا" قبل و بعد از جلسهٔ نوروفیدبک

جدول۱. میانگین و انحراف استاندارد دامنه آلفا و تتا قبل و بعد از نوروفیدبک

گروه / زمان		قبل از نوروفیدبک	بعد از نوروفیدبک
دامنه آلفا در گروه کاهش آلفا	میانگین	۱۰/۸۶	۱۰/۴۸
	انحراف استاندارد	۱/۶۱	۱/۶۶
دامنه تتا در گروه افزایش تتا	میانگین	۱۱/۹۷	۱۲/۶۸
	انحراف استاندارد	۱/۳۴	۱/۵۲

www.SID.ir

گروه "افزایش تتا": در این گروه هدف افزایش باند فرکانسی تتا بود. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد دامنهٔ تتا در انتهای جلسه تمرینی کاهش پیدا کرده است. نتایج آزمون تی وابسته بیانگر افزایش معنادار در دامنهٔ تتا بعد از جلسهٔ تمرینی نوروفیدبک می‌باشد (t=-۳/۲۶ ،P<۰/۰۱).

عملکرد حرکتی

به منظور اطمینان از نرمال بودن داده از آزمون شاپیرویلک در تمامی متغیرها و تمامی‌گروهها استفاده گردید که مجموعه نتایج حاکی از عدم معناداری این آزمون در تمامی متغیرها بود (P>۰/۰۵) که بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها نرمال است و می‌توان از آزمون‌های پارامتریک استفاده نمود.

جدول۲. میانگین و انحراف استاندارد میزان خطای عملکرد افراد در بلوک‌های اکتساب

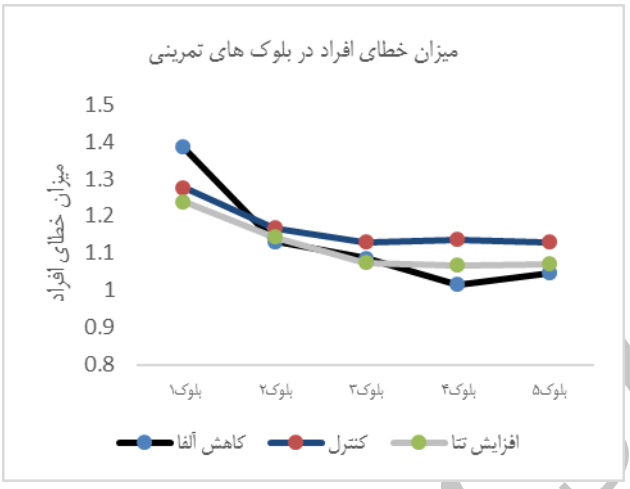
گروه / مرحله تمرینی		بلوک۱	بلوک۲	بلوک۳	بلوک٤	بلوک٥
کاهش آلفا	میانگین	۱/۳۸	۱/۳۱	۱/۰۸	۱/۰۱	۱/۰۴
	انحراف استاندارد	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۸
افزایش تتا	میانگین	۱/۲۳	۱/۱۴	۱/۰۷	۱/۰۶	۱/۰۷
	انحراف استاندارد	۰/۱	۰/۲	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۹
کنترل	میانگین	۱/۲۷	۱/۱۶	۱/۱۲	۱/۱۴	۱/۱۳
	انحراف استاندارد	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۱

سپس به منظور بررسی میزان پیشرفت افراد را در تمامی بلوک‌های تمرینی از آزمون تحلیل واریانس بین-درون گروهی (۵*۳) استفاده گردید که نتایج نشان داد اثر اصلی مراحل تمرین معنادار است (Eta^2=۰/۳۴۹، P=۰/۰۰۰۱، $F_{۲/۴۵و۹۵/۵}$=۲۰/۹) و نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که خطای عملکرد بطور معناداری کاهش پیدا نموده و تفاوت معناداری بین بلوک اول و تمام بلوک‌های تمرینی وجود دارد (P>۰/۰۵).

البته اثر اصلی گروه معنادار نبود (Eta^2=۰/۰۲۵، P=۰/۶، $F_{۲و۳۹}$ =۰/۵) و تعامل معناداری نیز بین گروه و مراحل تست نیز وجود نداشت (Eta^2=۰/۰۸۷، P=۰/۱ ، $F_{۴/۸۹و۹۵/۵}$=۱/۸۶).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. میزان خطای افراد در بلوک های تمرینی

به منظور مقایسهٔ عملکرد گروه‌ها در آزمون‌های یادداری از تحلیل واریانس یک طرفه استفاده گردید که تنها تفاوت معنادار مشاهده شده تفاوت بین گروهها در آزمون یادداری نخست در روز اول بود (Eta^2=۰/۲۸، P=۰/۰۰۲، $F_{۲و۳۹}$ =۷/۵۸). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی حاکی از وجود تفاوت بین گروههای "کاهش آلفا" و کنترل داشت (P=۰/۰۰۱). در آزمون‌های ۲۴ ساعت بعد (Eta^2=۰/۰۵، P=۰/۳۷، $F_{۲و۳۹}$ =۱) و یک هفته بعد (Eta^2=۰/۰۹۱، P=۰/۱۵۵، $F_{۲و۳۹}$ =۱/۹۵) نیز اگرچه گروه "کاهش آلفا" مانند آزمون یادداری نخست همچنان عملکرد بهتری را نسبت به سایر گروهها داشت اما این برتری مانند آزمون یادداری در روز اول معنادار نبود.

شکل ٦. میزان خطای عملکرد گروه‌ها در آزمون یادداری اول

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳. میانگین و انحراف استاندارد میزان خطای عملکرد افراد در آزمون‌های یادداری

گروه	مرحلهٔ تمرینی	یادداری۱	یادداری۲	یادداری۳
کاهش آلفا	میانگین	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۹
	انحراف استاندارد	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۵
افزایش تتا	میانگین	۱	۰/۹۵	۰/۹۱
	انحراف استاندارد	۰/۰۷۸	۰/۱	۰/۰۴
کنترل	میانگین	۱/۱۳	۱/۰۲	۰/۹۹
	انحراف استاندارد	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۷

بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف مقایسه تأثیر دو نوع پروتکل نوروفیدبک با دو مکانیسم تأثیر متفاوت بر یادگیری تکلیف حرکتی پیگردی انجام گردید. در گروه نوروفیدبک "کاهش آلفا"، افراد بلافاصله قبل از شروع تمرین مهارت حرکتی سعی در کاهش ریتم مغزی آلفا در منطقه قشر حرکتی را داشتند در حالیکه در گروه "افزایش تتا" افزایش دامنهٔ تتا در منطقه آهیانه ای و بعد از اتمام تمرین مهارت حرکتی مد نظر بود. زیربنای استفاده از این دو پروتکل مختلف بر اساس نتایج پژوهش‌های قبلی بود که بر اساس آن بین این دو ریتم مغزی در بازه‌های زمانی ذکر شده و میزان حافظه حرکتی رابطه وجود داشت (رینر وهمکاران، ۲۰۱۴ و رز و همکاران، ۲۰۱۴).

تغییر امواج مغزی

بطور کلی نتایج بررسی باندهای فرکانسی تتا و آلفا در زمان‌های بعد و قبل از تمرین حاکی از اثر بخشی این پروتکل‌های تمرینی در افزایش تتا و کاهش آلفا بود و بر این اساس اثرات متعاقب و مورد انتظار این تغییرات در عملکرد حرکتی افراد مورد بررسی قرار گرفت. شایان ذکر است که توانایی افراد در کاهش میزان آلفا و توانایی افراد در افزایش دامنهٔ تتا بعد از جلسه تمرینی ۳۰ دقیقه‌ای در پژوهش‌های قبل نیز مورد تأیید قرار گفته بود (رینر و همکاران، ۲۰۱۴ و رز و همکاران، ۲۰۱۴).

تغییرات عملکرد افراد در طول اکتساب

بر اساس نتایج ذکر شده عملکرد افراد در تمامی‌گروهها در طول دوره اکتساب بهبود یافت و خطاهای عملکرد در تمامی‌گروهها کاهش پیدا کرد. بر این اساس می‌توان گفت که تمرین مهارت حرکتی در تمامی افراد باعث پیشرفت عملکرد شده بود. از سوی دیگر اگرچه در تمامی‌گروهها پیشرفت معناداری در کاهش خطا مشاهده شد و با وجود برتری ظاهری گروه "کاهش آلفا" نسبت به دو گروه دیگر در طول تمرین اما هیچ تفاوت معناداری در بین گروهها در طول مرحله اکتساب مشاهده نشد. این در حالی است که بنظر می‌رسید به دلیل انجام مداخله نوروفیدبک در گروه "کاهش آلفا"، بتوان عملکرد بهتری را در این گروه مشاهده نمود. نتایج پژوهش‌های متعددی نشان می‌دهد که با افزایش سطح تحریک پذیری قشر حرکتی می‌توان سطح عملکرد حرکتی افراد را بهبود داد (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۳). اگرچه در بیشتر این پژوهش‌ها سطح تحریک پذیری از طریق تحریک

Archive of SID

www.SID.ir

الکتریکی مستقیم (تی.دی.سی.اس)[1] استفاده گردیده بود و تنها در پژوهش رز و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۴) از تغییر امواج مغزی استفاده شده بود (رُز و همکاران، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴). علاوه بر این نکته دیگری که می‌توان در نظر گرفت، توجه به میزان تحریک پذیری بهینه جهت بهبود عملکرد حرکتی است. عدم مشاهده تفاوت بین گروهها در مرحله اکتساب و عدم برتری معنادار گروه پیش تمرین نسبت به سایر گروها شاید مشابه با ادبیات پژوهشی در زمینه رابطه بین عملکرد حرکتی و انگیختگی، و به دلیل وجود حد بهینه‌ای از تحریک پذیری مؤثر بر عملکرد باشد. بر اساس شواهد موجود، سطح انگیختگی کمتر یا بیشتر از حد باعث افت عملکرد می گردد (آرنت و لندرز، ۲۰۰۳)، از اینرو بنظر می‌رسد جهت بهبود عملکرد در نتیجه افزایش تحریک پذیری قشر حرکتی نیز سطح بهینه‌ای وجود داشته باشد که می‌تواند در پژوهش‌های آتی مورد بررسی قرار گیرد.

عملکرد افراد در آزمون‌های یادداری

همانطور که در نتایج ذکر شد، گروه "کاهش آلفا" در آزمون یادداری اول عملکرد بهتری داشت. اگرچه بنظر می‌رسید بعد از اتمام جلسه نوروفیدبک گروه "افزایش تتا"، عملکردی بهتری در این گروه مشاهده شود، اما پس از اجرای استراحت و از بین رفتن اثرات تمرینی و نورفیدبک و برگزاری آزمون یادداری اول، عملکرد گروه "کاهش آلفا" نسبت به گروه کنترل برتری داشت. البته این برتری در آزمون‌های یادداری بعدی حفظ نشد و بین عملکرد گروه‌ها در روز و هفته بعد تفاوتی مشاهده نشد.

این نتایج با یافته‌های رینر و همکاران (۲۰۱۴) که در آن گروه تمرین افزایش تتا در تمام مراحل آزمون‌های یادداری عملکرد بهتری نسبت به سایر گروهها داشت، همراستا نیست. علت برتری گروه افزایش تتا را در آزمون‌های یادداری در پژوهش مذکور به دلیل نقش ریتم تتا در تثبیت حافظه مستقل از هیپوکامپ تفسیر شده بود (رینر و همکاران، ۲۰۱۴). این برداشت بر اساس یک دیدگاه نظری در زمینه شکل گیری حافظه به نام دیدگاه سطح–سیستم[2] می‌باشد. از دیدگاه سطح_سیستم در شکل گیری حافظه دو مرحله اصلی وجود دارد که در مرحله اول بازنمایی اولیه در مناطق نئوکرتکس وابسته به فعالیت هیپوکامپ است، اما به مرر زمان ارتباطات بین قسمت‌های مختلف نئوکرتکس تقویت شده و باعث بازنمایی مستقل از فعالیت هیپوکامپ می‌گردد (نایونهویس و تاکاشیما[3]، ۲۰۱۱). شایان ذکر است که هر دو فرایند بازنمایی اولیه و تثبیت متعاقب آن وابسته به باند فرکانسی تتا است (چایوت[4]، ۲۰۱۳). بر این اساس مرحله دوم خواب (یا خواب آرام) که در آن فعالیت باند فرکانسی تتا غالب است با شکل گیری حافظه در ارتباط است (رایچز، دزگرانگز، فورت و استیک[5]، ۲۰۰۵). بر اساس نتایج رینر و همکاران (۲۰۱۴) شرایط تثبیت حافظه بر اساس تئوری سطح–سیستم در ساعات بیداری از طریق پروتکل نوروفیدبک افزایش تتا قابل شبیه سازی است. در حالیکه در نتایج حاضر، شبیه سازی این شرایط در ساعت بیداری مشاهده نشد و افزایش میزان تتا بلافاصله بعد از تمرین، باعث برتری افراد نسبت به سایر گروهها در آزمون‌های یادداری نشد. علاوه براین اثر تثبیت حافظه‌ای در نتیجه خواب شبانه در روزهای بعد نیز در تمامی گروه‌ها یکسان بود. ذکر این نکته ضروری بنظر می‌رسد که از نتایج رینر و همکاران (۲۰۱۴) این نکته را نمی‌توان تفسیر کرد که فرآیند شکل گیری حافظه از حالت وابسته به

1. Transcranial Direct-Current Stimulation

2. System-Level Theory
3. Nieuwenhuis & Takashima
4. Chauvette
5. Rauchs, Desgranges, Foret, & Eustache

Archive of SID
www.SID.ir

هیپوکامپ به حالت غیر وابسته به هیپوکامپ تبدیل شده است، زیرا این فرایند بطور مستقیم مورد آزمایش قرار نگرفت و صرفاً داده‌های رفتاری گزارش شد. از اینرو در پژوهش‌های آتی این مسئله می‌تواند دنبال گردد. استفاده از تکلیف دشوارتر و طرح پژوهشی و گروههای متفاوت می‌تواند از دیگر دلایل عدم تکرار این نتایج باشد.

از سوی دیگر نتایج پژوهش حاضر حاکی از برتری گروه "کاهش آلفا" نسبت به گروه کنترل در آزمون یادداری اول در همان روز بود. همانطور که ذکر گردید در این گروه افراد قبل از شروع به تمرین مهارت حرکتی، باند فرکانسی آلفا را در منطقهٔ قشر حرکتی بازداری می‌کردند. رز و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهش خود نشان دادند که با کاهش ریتم آلفا در منطقهٔ قشر حرکتی می‌توان میزان تحریک پذیری قشری را در این منطقه افزایش داد (رز و همکاران، ۲۰۱۰). بهبود یادگیری افراد در نتیجه کاهش آلفا همسو با نتایج پژوهش‌هایی است که نتایج آنها نشان می‌دهد که با افزایش تحریک پذیری قشر حرکتی می‌توان یادگیری حرکتی را بهبود داد. بر اساس این پژوهش‌ها افزایش تحریک‌پذیری از دو طریق می‌تواند باعث بهبود یادگیری شود. نخست از طریق اثر آنلاین یا همزمان که در طول جلسه تمرین رخ می‌دهد و سپس از طریق تغییراتی که پس از تمرین و دربین جلسات تمرین رُخ می‌دهد (رابرتسون، پاسکال–لئون . میال[1]، ۲۰۰۴). بر این اساس افزایش تحریک پذیری در قشر حرکتی باعث بهبود یادگیری آف‌لاین می‌گردد. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد با افزایش سطح تحریک‌پذیری، ارتباطات سیناپسی تقویت می‌شود (آنتال و همکاران، ۲۰۰۴). برخی از متون اشاره به این نکته دارند که افزایش عملکرد در نتیجه افزایش تحریک پذیری از طریق مکانیسم‌هایی شبیه "تقویت بلندمدت"[2] می‌باشد (روزنکرانز، کاکار و روثول[3]، ۲۰۰۷). علاوه بر این برخی از پژوهش‌های حیوانی نیز نشان می‌دهند که با افزایش تحریک پذیری قشری در جلسه یادگیری، در سنتز پروتئین‌هایی که به صورت مستقیم در یادگیری مؤثر هستند تغییراتی ایجاد می‌شود (لوفت، بیتراگو، دیچگانز و اشیولز[4]، ۲۰۰۴). از دیدگاه فارمولوژیک[5] نیز پژوهش‌ها نشان می‌دهند که از طریق داروهایی که سطح تحریک پذیری را افزایش می‌دهد، می‌توان سطح یادگیری را بهبود داد (رُز و همکاران، ۲۰۱۰). برتری گروه "کاهش آلفا" نسبت به گروه کنترل در آزمون یادداری ممکن است به دلیل آثار مثبت تحریک پذیری بر میزان یادگیری آف‌لاین باشد. در این راستا رُز و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان دادند اگرچه عملکرد افراد در طول اکتساب مهارت حرکتی در شرایطی که سطح آلفا را کاهش می‌دادند تغییر معناداری نداشت، اما در این شرایط افراد سرعت فراگیری بیشتری در طول بلوک‌های اکتساب داشتند (رز و همکاران، ۲۰۱۴). البته همانطور که ذکر گردید در این پژوهش صرفاً داده‌های دورهٔ اکتساب مورد بررسی قرار گرفت و از آزمون یادداری استفاده نشد. هر چند در پژوهش حاضر نشان داده شد که برتری افراد پس از این پروتکل می‌تواند در زمان یادداری کوتاه مدت در همان روز نیز مؤثر باشد. البته همانطور که ذکر شد این برتری در روزهای آتی حفظ نشد. نتیجه مشابه ای در پژوهش ریس و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده شد که بر اساس آن با استفاده از افزایش تحریک پذیری قشر حرکتی، اگرچه سطح یادگیری حرکتی افراد در جلسات تمرینی افزایش پیدا کرده بود، اما بر اساس میزان فراموشی افراد در شرایط

1. Robertson, Pascual-Leone, & Miall

2. Long-Term Potentiation
3. Rosenkranz, Kacar, & Rothwell
4. Luft, Buitrago, Ringer, Dichgans, & Schulz
5. Pharmalogic

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش تحریک پذیری و شرایط کنترل در یادداری بلند مدت تفاوت معناداری نداشتند (ریس و همکاران، ۲۰۰۹). از جمله عوامل عدم حفظ نتایج درطول زمان می‌توان به نوع تکلیف و تعداد جلسات تمرینی اشاره نمود. از آنجاییکه تکلیف بکار برده شده از نوع تکالیف مداوم است بنظر می‌رسد که تکالیف مجرد و مداوم در مفهومی به عنوان افت گرم کردن با یکدیگر متفاوت باشند. بر این اساس در تکالیف مداوم زمان اجرا بیشتر است و ممکن است افت عملکرد قسمت‌های ابتدایی با عملکرد بهتر در بازه‌های زمانی انتهایی و میانی جبران گردد. از اینرو تفاوت‌های حافظه‌ای موجود در میان گروه‌ها ممکن است از این طریق خنثی گردد (کاتالانو[1]، ۱۹۷۸). استفاده از تمرین تک جلسه‌ای نیز می‌تواند از دیگر دلایل عدم پایداری نتایج باشد که بنظر می‌رسد برای مشاهده آثار بلندمدت این روش تمرینی بهتر است در پژوهش‌های آتی تعداد جلسات تمرینی افزایش پیدا کند. همانطور که پیش‌تر ذکر گردید بر طبق پژوهش‌های انجام شده قبلی غالب بودن یک الگوی امواج مغزی قبل یا بعد از جلسه تمرین مهارت حرکتی می‌تواند بر یادگیری و اکتساب یک مهارت حرکتی تأثیر داشته باشد. بر این اساس و با توجه به شواهد موجود بنظر می‌رسید که هر دوی کاهش آلفا در ناحیه قشر حرکتی قبل از تمرین و افزایش تتا در ناحیه آهیانه‌ای بعد از تمرین بتوانند باعث بهبود یادگیری یک مهارت حرکتی جدید شوند. اما بر طبق یافته‌های پژوهش حاضر بنظر می‌رسد که کاهش آلفا قبل از تمرین آثار مفیدتری بر میزان یادگیری افراد در یک تکلیف حرکتی جدید دارد. هر چند پایداری این اثر در طول زمان نیازمند مطالعات بیشتری است.

به هر حال بنظر می‌رسد با کاهش و بازداری دامنهٔ آلفا و متعاقب آن افزایش تحریک پذیری قشر حرکتی محتمل در منطقه قشر حرکتی می‌توان آثار مفیدی در یادگیری یک مهارت حرکتی جدید در طول تمرین آن مهارت ایجاد نمود. بر این اساس می‌توان از روش نوروفیدبک کاهش آلفا به عنوان مکمل تمرین مهارت حرکتی و یک روش غیر تهاجمی و نسبتاً در دسترس و آسان جهت تغییر تحریک پذیری قشر حرکتی و متعاقب آن افزایش یادگیری مهارت‌های حرکتی استفاده نمود. از سوی دیگر از آنجایی‌که در بیشتر پژوهش‌های انجام شده از یادگیری یک مهارت حرکتی جدید استفاده گردیده است در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود تأثیر این پروتکل‌های تمرینی در بازآموزی یک مهارت قبلی و در زمینه توانبخشی مورد استفاده قرار گیرد و این تمرینات به صورت بلند مدت و با افزایش تعداد جلسات تمرینی دنبال گردد.

1. Catalano

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1. Albouy, G., Sterpenich, V., Vandewalle, G., Darsaud, A., Gais, S., Rauchs, G., Balteau, E. (2013). Interaction between hippocampal and striatal systems predicts subsequent consolidation of motor sequence memory. *PLoS One*, *8*(3), e59490 .

2. Antal, A., Nitsche, M. A., Kincses, T. Z., Kruse, W., Hoffmann, K. P., & Paulus, W. (2004). Facilitation of visuo-motor learning by transcranial direct current stimulation of the motor and extrastriate visual areas in humans. *European Journal of Neuroscience*, *19*.2888-2892,(10) .

3. Arent, S. M., & Landers, D. M. (2003). Arousal, anxiety, and performance: A reexamination of the inverted-U hypothesis. Research quarterly for exercise and sport, 74(4), 436-444.

4. Boggio, P. S., Castro, L. O., Savagim, E. A., Braite, R., Cruz, V. C., Rocha, R. R., . . . Fregni, F. (2006). Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. *Neuroscience letters*, *404*(1), 232-236.

5. Boyd, L. A., & Linsdell, M. A. (2009). Excitatory repetitive transcranial magnetic stimulation to left dorsal premotor cortex enhances motor consolidation of new skills. *BMC neuroscience*, *10*(1), 72 .

6. Catalano, J. F. (1978). The effect of rest following massed practice of continuous and discrete motor tasks. *Journal of motor behavior*, *10*(1), 63-67 .

7. Chauvette, S. (2013). *Slow-wave sleep: Generation and propagation of slow waves, role in long-term plasticity and gating.* Université Laval .

8. Gruzelier, J. H. (2013). EEG-neurofeedback for optimising performance. I: A review of cognitive and affective outcome in healthy participants. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews .44, 124-141.*

9. Gruzelier, J. H. (2014). EEG-neurofeedback for optimising performance. I: A review of cognitive and affective outcome in healthy participants. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *44*, 124-141.

10.Hammond, D. C. (2007). Neurofeedback for the enhancement of athletic performance and physical balance. *The Journal of the American Board of Sport Psychology*, *1*(1), 1-9 .

11. Hill, H. (2014). Modulation of frontal and parietal neuronal activity by visuomotor learning. An ERP analysis of implicit and explicit pursuit tracking tasks. *International Journal of Psychophysiology*, *91*(3), 212-224 .

12. Kropotov, J. (2010). *Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy*: Academic Press.

13. Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Salazar, W., Crews, D. J., Kubitz, K. A., Gannon, T. L., & Han, M. (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *23* (1).

14. Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Salazar, W., Crews, D. J., Kubitz, K. A., Gannon, T. L., & Han, M. (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* .

15. Luft, A. R., Buitrago, M. M., Ringer, T., Dichgans, J., & Schulz, J. B. (2004). Motor skill learning depends on protein synthesis in motor cortex after training. *The Journal of Neuroscience*, *24*. (29) ,6515-6520 .

16. Nieuwenhuis, I. L., & Takashima, A. (2011). The role of the ventromedial prefrontal cortex in memory consolidation. *Behavioural brain research*, *218*(2), 325-334 .

Archive of SID

www.SID.ir

17. Nitsche, M. A., Schauenburg, A., Lang, N., Liebetanz, D., Exner, C., Paulus ,W., & Tergau, F. (2003). Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. *Journal of cognitive neuroscience, 15*(4), 619-626 .
18. Rauchs, G., Desgranges, B., Foret, J., & Eustache, F. (2005). The relationships between memory systems and sleep stages. *Journal of sleep research, 14*(2), 123-140 .
19. Reiner, M., Rozengurt, R., & Barnea, A. (2014). Better than sleep: Theta neurofeedback training accelerates memory consolidation. *Biological psychology, 95*, 45-53 .
20. Reis, J., Schambra, H. M., Cohen, L. G., Buch, E. R., Fritsch, B., Zarahn, E., Krakauer, J. W. (2009). Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(5), 1590-1595 .
21. Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Miall, R. C. (2004). Current concepts in procedural consolidation. *Nature Reviews Neuroscience, 5*(7), 576-582 .
22. Ros, T., Munneke, M., Parkinson , L., & Gruzelier, J. (2014). Neurofeedback facilitation of implicit motor learning. *Biological psychology, 95*, 54-58 .
23. Ros, T., Munneke, M. A., Ruge, D., Gruzelier, J. H., & Rothwell, J. C. (2010). Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. *European Journal of Neuroscience, 31*(4), 770-778 .
24. Rosenkranz, K., Kacar, A., & Rothwell, J. C. (2007). Differential modulation of motor cortical plasticity and excitability in early and late phases of human motor learning. *The Journal of Neuroscience, 27*(44), 12058-12066 .
25. Vernon, D. (2005). Can Neurofeedback Training Enhance Performance?An Evaluation of the Evidence with Implications for Future Research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback, 30*(4), 347-364 .

استناد به مقاله

قاسمیان‌مقدم، م. طاهری، ح. صابری‌کاخکی، ع. و قشونی، م. (۱۳۹۶). تأثیر روش‌های نوروفیدبک کاهش آلفا و افزایش تتا بر یادگیری تکلیف تعقیبی. مجلهٔ مطالعات روان‌شناسی ورزشی، شمارهٔ ۱۹، ص. ۸۴-۶۹.
شناسه دیجیتال: 10.22089/spsyj.2017.2808.1292

Ghasemian, M.R., Taheri, H.R., Saberi Kakhki, A.R., and Ghoshuni, M. (2017). Effects of Alpha Suppression and Theta Enhancement Neurofeedback Protocols on Learning a Pursuit Tracking Task. *Journal of Sport Psychology Studies*, 19; Pp: 69-84. In Persian. Doi: 10.22089/spsyj.2017.2808.1292

Archive of SID

www.SID.ir