Sport Psychology Studies **Volume 9, No 31, 2020, page 191-214**

The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on the Working Memory

A. Shabahang[1], R. Abedanzadeh[2], and H. Ramezanzadeh[3]

1. M.A. at Motor Behavior, Sport Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (Corresponding Author)
2. Assistant Professor at Motor Behavior, Sport Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Assistant Professor at Motor Behavior, Sport Sciences Faculty, Damghan University, Damghan, Iran.

Received: 10 Jan 2019

Accepted: 08 May 2019

Keywords: Dorsolateral Prefrontal Cortex, Working Memory, N-Back Task, Athletes, Nonathletes.

Abstract

Aim of this research was investigating of the effect of transcranial direct current stimulation on the working memory in athletes and nonathletes. To this end, 48 persons (18-30 years) purposefully was selected and was equally assigned into two athletes and nonathletes groups. Then, each group was randomly divided to tow actual and artificial stimulation sub-groups. The actual and sham stimulation presented with 2 mA electric current intensity for 20 minutes within three sessions. N-back computer task was used to measure working memory. The results showed the athlete's group rather than nonathlete and the actual stimulation group compared to the Sham group had better performance. The athlete group progressed in the actual stimulation in the post-test. Direct electrical stimulation of the brain so that anodal stimulation on left dorsolateral prefrontal cortex and catodal stimulation on right dorsolateral prefrontal cortex improve of working memory in athlete.

Extended Abstract

Objective

Memory is a cognitive system that is capable of storing, processing, and manipulating information for transient use. Active memory is a cognitive mechanism that plays an important role in perception, reasoning, planning, and learning (1). This function is also vital to the daily activities of athletes and their athletic performance (2). It can be enhanced by non-invasive, cheap and attractive interventions such as electrical stimulation of the brain with direct flow of cognitive function of individuals, especially athletes (3). Transcranial electrical stimulation is a nerve therapy technique in which a weak electrical current enters specific

brain regions for cortical excitability by changing the membrane potential (4). During the memory assignments, the different areas of the pre-existing stratum are active. Nervous imaging studies that identify memory-processing processes in the brain determine the pre-existing stratum, and in particular the lateral-posteriror prehospital, as an important area involved in memory-processing processes (5). Therefore, this study was conducted to investigate the direct electrical stimulation of cerebral palsy on memory in the left and right posterior posterior facial cortex in athletes and non-athletes.

Instruments and Data Collection

This design of research was a pre-test and post-test with control group and one-sided blind. This means that the participants did not know the type of stimulation (actual stimulation or quasi-stimulation). A sample of athletes including female players of basketball and handball teams of Shadegan city and non-athlete participants, including female students of Payam Noor University of this city in the age of 18-30 years, were selected by available sampling method. The number of athletes and non-athletes in each group was 24, and these groups were randomly divided into two subgroups of 12 participants with real stimulation and sham stimulation (SEM) to determine the effect of overnight stimulation on memory imaging. So that the first person who received the actual stimulus was the second to stimulate you. The criteria for entering the study were: the age range of 18 to 30 years, the right hand (through the Edinburgh handicap questionnaire), the lack of records of mental illness (by the general health questionnaire), no damage to the brain, metal transplantation, epilepsy and seizure (through self-reporting) as well as having a normal view or corrected by the glasses (via the Snellan chart). The actual stimulation and sham intensity with 2 mA electric current was provided for 20 minutes in accordance with the type of group for the participants in three sessions. The participants were evaluated before and after stimulation with the computerized assignment of ANBEK to evaluate the response time variables and the number of incorrect responses that were considered as working memory measurements. To analyze the data, the analysis of variance (athletic) 2 × (excitation type) 2 × (test 2) and post-test 2 × 2 variance tests were used according to the type of stimulation, the type of athlete, as well as the test stage, and Significant results were analyzed by independent and dependent t tests. All analyzes were performed at the significant level of $P \leq 0.05$ by IBM SPSS software version 22.

Results

The results of two Mix-Analysis of Variance 2(athlete/non-athlete) × 2(stimulus type) ×2(test stage) (one for the response time component and other for the component of the number of incorrect responses) showed that the triple interaction in each of two components (response time and the number of false responses) were significant ($P < 0.05$). The post-hoc tests of Analysis of Variance 2(test stage) ×

2(athlete/non-athlete) detected that the athlete group compared to the nonathlete group (regardless of the type of stimulation) and the actual stimulation group compared to the stimulant group (regardless of the athlete or non-athlete) had fewer false responses and less response time and, therefore, improved performance. Also, the results of independent and dependent t-tests revealed that the athletes improved their performance in the post-test in the case of actual stimulation. Also athletes progressed under real and Sham stimulation conditions from pre-test to post-test. However, progress has been greater in real conditions. In the following, the results of follow-up tests of Mix-Analysis of Variance 2(stimulus type) × 2(test stage) showed that the difference between pre-test and post-test in the athlete group in sham stimulation condition, indicating the progression of the athlete group after The test is to be tested. The post-test results for the mean response time component indicated the superiority of the true stimulation group compared to the sham stimulation group at the post-test stage. Combined variance analysis 2(stimulation type) × 2(test stage) in the athlete group showed that in the post-test, the athlete who received the actual stimulation had better performance than the sham group. Also, athlete group had better performance with real and Sham stimulation in post-test than the pre-test. However, with the real stimulation, the athlete's performance improved. Finally, the results of independent and dependent t-tests showed that athletes as well as non-athletes had progressed from pre-test to post-test in mean response time. However, the progression in athletes was more than non-athletes.

Conclusion

The results showed that direct brain electrical stimulation in a way that stimulates the anode on the l right lateral-dorsal prefrontal cortex and cathodic stimulation on the right lateral-dorsal prefrontal cortex, improves both the memory components (mean time answer and the number of incorrect answers) in both athletic and non-athlete groups. The electrical stimulation of the brain modulates the active memory by modulating the activity of the brain. This type of intervention improves irritability in the lateral proximal forebrain. Increasing superficial irritation in the prefrontal cortex increases the release of dopamine and thus improves the working memory performance (6). Athletes need to function at higher levels than non-athletes. Therefore, electrically activated stimulus, which is a non-invasive, inexpensive and safe method, is very important and valuable for improving athletic performance in sports fields along with physical training. It is also an auxiliary and moderator tool for increasing the memory capacity of healthy people.

مطالعات روان‌شناسی ورزشی دوره ۹، شماره ۳۱، بهار ۱۳۹۹. صص ۲۱۴-۱۹۱

مقاله پژوهشی

تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر حافظهٔ‌کاری

آسیه شباهنگ[۱]، رسول عابدان‌زاده[۲]، و حسام رمضان‌زاده[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رفتار حرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (نویسندهٔ مسئول)

۲. استادیار رفتار حرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳. استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران.

تاریخ دریافت:
۱۳۹۷/۰۹/۲۰

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۸/۰۲/۱۸

واژگان کلیدی:
قشر پیش پیشانی جانبی-پشتی، حافظهٔ‌کاری، تکلیف اِنبَک، ورزشکار، غیر ورزشکار.

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر حافظهٔ‌کاری در افراد ورزشکار و غیر ورزشکار انجام شد. بنابراین ۴۸ شرکت-کننده (۳۰-۱۸ سال) به روش هدفمند انتخاب شدند. سپس به طور مساوی به دو گروه ورزشکار و غیر ورزشکار تقسیم شدند. هر گروه به طور تصادفی به دو زیرگروه مساوی تحریک واقعی و ساختگی تقسیم شدند. تحریک واقعی و ساختگی با شدت جریان الکتریکی دو میلی‌آمپری به مدت ۲۰ دقیقه و طی سه جلسه ارائه شد. نرم‌افزار اِن-بَک برای ارزیابی حافظهٔ‌کاری استفاده شد. نتایج نشان داد گروه ورزشکار نسبت به غیر ورزشکار و گروه تحریک واقعی نسبت به گروه تحریک ساختگی دارای عملکرد بهتری بودند. گروه ورزشکار در شرایط تحریک واقعی در مرحله پس‌آزمون پیشرفت کردند. مطابق با یافته‌های حاضر تحریک الکتریکی مستقیم مغز به طوری که تحریک آند و کاتد به ترتیب بر روی قشر پیش‌پیشانی جانبی-پشتی چپ و راست اعمال شود، باعث بهبود عملکرد حافظهٔ‌کاری در افراد ورزشکار می‌شود.

مقدمه

حافظهٔ‌کاری[۱] یک سیستم شناختی است که قادر به ذخیره، پردازش و دستکاری اطلاعات برای استفاده زودگذر است (کاتسولاکی، کاسترینیس و تسکورا[۲]، ۲۰۱۷). در واقع حافظهٔ فعال، گنجایش محدودی دارد و استفاده مناسب از آن نیازمند بهره‌گیری از پیشینه گنجایش موجود و پیشگیری از ورود محرک‌ها و اطلاعات نامرتبط مزاحم است (عبادی و همکاران،

1. Email: ssport751@yahoo.com
2. Email: r.abedanzadeh@scu.ac.ir
3. Email: hesam_ramezanzade@yahoo.com

1. Working Memory

2. Katsoulaki, Kastrinis & Tsekoura

۲۰۱۶). حافظهٔ‌کاری دارای چهار مؤلفهٔ اصلی است که عبارتند از: حلقهٔ واج‌شناختی[1] حافظهٔ‌کاری دیداری-فضایی[2] مجری مرکزی[3] و مخزن رویدادی[4] است.

حلقهٔ واج‌شناختی و حافظهٔ‌کاری دیداری-فضایی مانند دو دستیار عمل کرده و به مجری مرکزی در انجام تکلیف کمک می‌کنند. دروندادهای حافظه حسی وارد حلقهٔ واج‌شناختی می‌گردند که در آن ذخیره و مرور اطلاعات گفتاری انجام می‌شود. حافظهٔ‌کاری دیداری-فضایی محل ذخیرهٔ اطلاعات دیداری و فضایی از جمله تصویرهای ذهنی است. مجری مرکزی نقش مهمی در توجه، برنامه‌ریزی و سازماندهی دارد. این مؤلفه همچون ناظری عمل می‌کند که اطلاعات و مسائل بی‌اهمیت را مشخص می‌کند. همچنین تعیین می‌کند در پردازش اطلاعات و حل مسأله از چه راهبردهایی استفاده شود (بدلی[5] ۲۰۰۰). بدلی مؤلفه چهارمی را در مدل وارد کرد که همان مخزن رویدادی است. این بخش یک سیستم ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت است که در کنترل بخش اجرایی مرکزی قرار دارد و اطلاعات مدار آوایی و صفحهٔ دیداری-فضایی را به هم مرتبط می‌کند تا بتواند واحدهای تلفیقی دیداری-فضایی-کلامی را به ترتیب زمانی تشکیل دهد (بدلی، ۲۰۰۳). کارکردهای اجرایی نظیر حافظهٔ‌کاری در فعالیت‌های روزانه ورزشکاران و ارتقأ عملکرد ورزشی آنان نیز اهمیت حیاتی دارد (محمدزاده، نظری و حیدری، ۲۰۱۴). ورزشکاران نیاز به عملکرد سطوح بالاتری نسبت به افراد غیر ورزشکار دارند. آنها باید تصمیم‌گیری‌ها را در حالتی انجام دهند که اطلاعات متفاوتی از توپ، هم‌بازی‌ها و حریف دریافت می‌کنند و فرایند تصمیم‌گیری تحت فشار حریف که سعی در محدود کردن زمان و فضای در دسترس بازیکن دارد، انجام می‌شود. ورزشکاران باید توجه خود را تنها به مهمترین و مربوط‌ترین منبع اطلاعاتی معطوف دارند تا اجرای موفق و مؤثری داشته باشند (کاسانوا، اولیویرا، ویلیامز و گارگنترا[6] ۲۰۰۹). متخصصان علوم ورزشی پیوسته به دنبال ارتقأ عملکرد بهینهٔ ورزشی ورزشکاران در رشته‌های مختلف هستند. عملکرد بهینه در شرایطی رخ می‌دهد که مغز نیز بهترین کارایی را با بهترین استفاده از منابع خود داشته باشد. ورزشکاران ورزش-های تیمی مانند والیبال و بسکتبال در محیط‌های کاملاً داینامیک تحت محدودیت زمانی قرار می‌گیرند به طوری که در کوتاه‌ترین زمان ممکن باید بهترین عملکرد را در مقابل حریفان خود داشته باشند. این تمرینات مکرر در حیطه‌های ورزشی شاید سبب تغییر در میزان توانایی‌های ادراکی ورزشکاران شود (نوری و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین هرگونه روشی که موجب بهبود عملکرد شناختی افراد به ویژه ورزشکاران گردد از اهمیت و ضرورت ویژه‌ای برخوردار است. می‌توان با مداخلاتی با ویژگی ایمنی بالا، نسبتاً ارزان و قابل دسترس و به ویژه جذاب، عملکرد اجرایی ورزشکاران را بالا برد (ادواردز[7] ۲۰۱۷). یکی از این مداخلات، تحریک الکتریکی مغز با جریان مستقیم[8] است. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد تحریک غیر تهاجمی مغز با روش تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم، یک تکنیک مؤثر برای افزایش عملکرد شناختی است (چنج[9] و همکاران، ۲۰۱۵). در این روش یک جریان الکتریکی ضعیف، معمولاً ۱ تا ۴ میلی آمپر به مناطق خاصی از مغز جهت تحریک‌پذیری قشر، به وسیلهٔ تغییر پتانسیل

1. Phonological Loop
2. Visuospatial Sketchpad
3. Central Executive
4. Episodic Buffer
5. Baddeley

6. Casanova, Oliveira, Williams & Garganta
7. Edwards
8.Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS)
9. Cheng

غشا وارد می‌شود. تحریک آنودال باعث افزایش تحریک‌پذیری قشر در حالی که تحریک کاتودال باعث کاهش آن می‌شود (نجاتی، صالحی‌نژاد، نیسچ، ناجیان و جوادی، ۲۰۱۷). مطالعات تصویربرداری عصبی که فرآیندهای حافظهٔ‌کاری در مغز را شناسایی می‌کنند، قشر پیش‌پیشانی و مخصوصاً قشر پیش‌پیشانی جانبی–پشتی[1]را به عنوان ناحیهٔ مهم درگیر در فرایندها و کمبود حافظهٔ‌کاری پیشنهاد داده‌اند (زائل[2] ۲۰۱۱). بنابراین تکنیک‌هایی همچون تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای مغز که مستقیماً فعالیت قشر پیش‌پیشانی خلفی–پشتی را مورد بررسی و تنظیم قرار می‌دهند، قابلیت خوبی برای بهبود حافظهٔ‌کاری دارند (ارکان و یاریاری، ۲۰۱۴). پارامترهای فیزیکی در تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای شامل شدت جریان، مکان تحریک، اندازه الکترود، مدت زمان تحریک و قطبیت جریان (آند یا کاتد) هستند که هر یک موجب تأثیرات متفاوتی می‌شوند (کلارک، کوفمن، ترامبو و گاسپاروویک[3] ۲۰۱۱). در این راستا پژوهش‌هایی که اثربخشی تحریک الکتریکی مغز را بر روی عملکردهای شناختی بررسی کرده‌اند، نتایج متفاوتی را گزارش کرده‌اند. در مطالعهٔ اولیویرا[4] و همکاران (۲۰۱۳) تحریک مغز از روی جمجمه با استفاده از جریان مستقیم الکتریکی بر حافظهٔ افراد افسرده مؤثر بود. در پژوهش ایشان الکترود آند و کاتد به ترتیب بر قشر پیش‌پیشانی خلفی–پشتی چپ و راست قرار گرفت. شدت جریان ۲ میلی آمپر و مدت زمان تحریک یک جلسهٔ ۲۰ دقیقه‌ای بود. نتایج نشان داد میزان پاسخ و تعداد پاسخ‌های درست گروه تحریک آندی افزایش یافت و این افزایش شدید بود. همچنین باجیو[5] و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند تحریک الکتریکی مغز می‌تواند اثرات مثبتی بر عملکرد حافظهٔ‌کاری بیماران پارکینسونی فراهم کند. نجاتی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی بر روی کودکان بیش‌فعال اجرا کردند و نشان دادند تحریک آندی قشر پیش‌پیشانی جانبی–پشتی سمت چپ به وضوح بر حافظهٔ‌کاری تأثیرگذار است. در تحقیقی دیگر، که بر روی ورزشکاران انجام شده بود، تأثیر مثبت تحریک فراجمجمه‌ای در عملکرد شناختی آنها که شامل بهبودی معناداری در تقسیم توجه و حافظهٔ‌کاری آنان بود، مشاهده شد (بورداچی[6] و همکاران، ۲۰۱۶). شدت جریان بالاتر و مدت زمان بیشتر، می‌تواند بهبودی بیشتری را بر عملکرد حافظهٔ‌کاری داشته باشد (هوی[7]و همکاران، ۲۰۱۳). دستکاری موقعیت الکترودها و قطبیت می‌تواند در مناطق مختلف به اثراتی در نواحی مغز منجرشود (چنج و همکاران، ۲۰۱۵). همان‌طور که بیان شد، اغلب تأثیرات تحریک الکتریکی مغز برای درمان عوارض اختلالات و آسیب‌ها استفاده می‌شود. همچنین با تغییر پارامترهای فیزیکی تحریک انتظار می‌رود نتایج امیدوارکننده‌ای حاصل شود. حافظهٔ‌کاری یکی از فرآیندهای شناختی مغز است و به عنوان یک فضای کاری ذهنی عمل می‌کند که می‌تواند به طور انعطاف‌پذیر برای حمایت از فعالیت‌های شناختی روزانه که نیاز به پردازش و ذخیره‌سازی دارند مورد استفاده قرار گیرد. این حافظه زیربنای تفکر و یادگیری است و نقش حساسی در یادگیری دارد (گادرکول، آلووای، ویلیز و آدامز[8] ۲۰۰۶). نایبرگ[9] و پیرمرادی (۲۰۰۸) حافظهٔ‌کاری را در سه گروه از افراد شامل افراد رقابتی، افراد تمرینی و افرادی که تمرین نمی‌کردند مقایسه

1. Dorsolateral Prefrontal Cortex (DLPFC)
2. Zaehle
3. Clark, Coffman, Trumbo & Gasparovic
4. Oliveira
5. Boggio
6. Borducchi
7. Hoy
8. Gathercole, Alloway, Willis & Adams
9. Nyberg

کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد بین سه گروه، تفاوت معناداری در حافظه کاری وجود نداشت. هیل[1] (۲۰۱۷) نیز تفاوتی را بین افراد ورزشکار و غیر ورزشکار در حافظهٔ فضایی مشاهده نکرد. اگر چه در تحقیقات بسیاری نقش حافظهٔ‌کاری در حفظ توجه بر تکلیف، مسدود کردن عوامل حواس پرتی و حفظ آگاهی و تمرکز بر رویدادهای در حال جریان، بسیار مهم است (وربورف، اسچردر، ون لانگ و اوسترلان،[2] ۲۰۱۴) و نیز نقش اساسی در تصمیم‌گیری دارد؛ اما وربورف و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیق خود نشان دادند بین حافظه کاری بازیکنان فوتبال با استعداد بالا و آماتور، تفاوت معناداری وجود ندارد.

اگر چه تمام تحقیقات فوق‌الذکر نشان داده‌اند که حافظهٔ‌کاری ورزشکاران و غیر ورزشکاران متفاوت نیست، اما روش‌شناسی این پژوهش‌ها تا حد زیادی متفاوت با تحقیق حاضر است. به عنوان مثال وربورف و همکاران (۲۰۱۴) از آزمون حافظهٔ بینایی–فضایی استفاده کرده‌اند. هیل (۲۰۱۷) نیز حافظهٔ فضایی گروه-های آزمایش را بررسی کرده است. در پژوهش حاضر از آزمون ان بک برای بررسی و ارزیابی حافظهٔ‌کاری استفاده شد. البته این احتمال هم وجود دارد که سنجش حافظهٔ‌کاری با ابزارهای آزمایشگاهی را نتوان به محیط واقعی ورزش تعمیم داد به همین دلیل اکثر پژوهش‌ها تفاوت معناداری را بین ورزشکاران و غیر ورزشکاران مشاهده نکرده‌اند. شاید با استفاده از این آزمون بتوان تفاوت‌ها را بهتر توضیح داد. چرا که به طور مثال در مطالعه نایبرگ و پیرمرادی (۲۰۰۸) و همچنین تحقیق هیل (۲۰۱۷) آزمون حافظهٔ‌کاری به صورت شنیداری بود و شرکت‌کنندگان بعد از شنیدن عبارات خواسته شده، آنها را می‌بایست به‌یاد آورند در صورتی‌که آزمون حافظهٔ‌کاری مطالعهٔ حاضر به صورت دیداری و آنی است. بدین صورت که همزمان با دیدن هر محرک جدید باید پاسخ مناسب را برگزینند. این شرایط باعث شد که شیوهٔ سنجش حافظهٔ‌کاری در این مطالعه با مطالعات قبلی متفاوت باشد.

از این‌رو، یکی از اهداف تحقیق حاضر مقایسهٔ حافظهٔ‌کاری افراد ورزشکار و غیر ورزشکار بود. از طرفی، از آنجا که افراد ورزشکار به دلیل حضور در محیط‌های پویا و پیچیده ورزشی، مدت زمان بیشتری از حافظهٔ‌کاری خود به منظور عملکرد سطح بالا استفاده می‌کنند، این احتمال وجود دارد که مناطق مرتبط با حافظه کاری در مغز (قشر پیش‌پیشانی جانبی–خلفی) آمادگی بیشتر برای پاسخ به تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای داشته باشد.

بنابراین، محقق درصدد برآمد تا با بررسی دقیق روش‌شناسی مطالعات گذشته، یک روش تقریباً کامل و متفاوت با دیگران (شدت جریان بالاتر، مدت زمان بیشتر و همچنین کاربرد همزمان دو الکترود آند و کاتد) را اتخاذ نماید و پاسخگوی این سؤالات باشد: آیا به-کارگیری مدت و شدت جریان بالاتر، باعث بهبود حافظهٔ‌کاری در ورزشکاران و افراد غیر ورزشکار می‌شود؟ آیا تحریک همزمان آندی در قشر پیش‌پیشانی جانبی–پشتی در سمت چپ و تحریک کاتدی در قشر پیش‌پیشانی جانبی–پشتی در سمت راست باعث بهبودی حافظهٔ‌کاری در افراد ورزشکار و غیر ورزشکار می‌شود؟ با توجه به تأثیر تحریک فراجمجمه ای مغز به نظر می‌رسد که توسط این نوع مداخله بتوان فرصت‌هایی برای بالا بردن عملکردهای شناختی بدون استفاده از داروهای افزایش‌دهندهٔ عملکرد، در اختیار ورزشکاران و مربیان قرار داد.

1. Hill

2. Verburgh, Scherder, Van Lange & Oosterlaan

روش‌شناسی پژوهش

طرح این پژوهش نیمه تجربی از نوع پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل و نیز از نوع یک سو کور بود. بدین معنی که آزمودنی‌ها از نوع تحریک (تحریک واقعی یا شبه تحریک) اطلاعی نداشتند. نمونهٔ آماری این پژوهش شامل ۲۴ ورزشکار رشته‌های هندبال و بسکتبال (عضو تیم‌های منطقه‌ای و شهرستان شادگان) در سطح نیمه‌ماهر و ۲۴ غیر ورزشکار (دانشجویان دانشگاه پیام نور شهرستان شادگان) در سطح مبتدی بود که به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. گروه ورزشکار و گروه غیر ورزشکار هر کدام به طور تصادفی به دو گروه ۱۲ نفری تحریک واقعی و تحریک ساختگی (شم) تقسیم شدند. بدین صورت که نفر اول که تحریک واقعی دریافت می‌کرد به نفر دوم تحریک شم وارد می‌شد. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از: دامنه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال، راست دست بودن (از طریق پرسش‌نامهٔ دست برتری ادینبورگ[1])، نداشتن سوابق بیماری‌های ذهنی (به وسیلهٔ پرسش¬نامه سلامت عمومی)، عدم آسیب مغزی، قطعات پیوند فلزی در بدن، صرع و تشنج (از طریق خودگزارشی) و همچنین داشتن دید طبیعی یا اصلاح شده توسط عینک (از طریق چارت اسنلن). شرکت‌کنندگان رضایت کامل خود را برای حضور در پژوهش حاضر اعلام کردند و اختیار کامل برای عدم ادامه همکاری در هر مرحله از پژوهش را داشتند. کلیهٔ مراحل پژوهش متناسب با استانداردهای اخلاقی دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت.

ابزار اندازه‌گیری

۱- تکلیف کامپیوتری اِن‌بَک: آزمون‌های مختلفی برای ارزیابی حافظهٔ‌کاری وجود دارد. معروف‌ترین این آزمون‌ها، تکلیف ان‌بک[2]است (جائیگی، باسچکوهی، پریگ و میر[3]، ۲۰۱۰). تکلیف ان بک، یک تکلیف شناختی است که برای اولین بار توسط کرچنر[4]در سال ۱۹۵۸به عنوان آزمونی برای ارزیابی حافظه دیداری- فضایی معرفی شد. روند کلی تکلیف بدین قرار است که دنباله‌ای از محرک‌ها (دیداری یا شنیداری) به صورت گام به گام، به آزمودنی ارائه می‌شود و آزمودنی باید بررسی کند که آیا محرک ارائه شده فعلی، با محرک nگام قبل از آن هم‌خوانی دارد یا خیر. انجام این آزمایش با مقادیر مختلف n صورت می‌گیرد و با افزایش میزان n بر دشواری تکلیف افزوده می‌شود. به عنوان مثال ۲-بک، به معنی دو توالی قبل و ۳-بک، به معنی ۳ توالی قبل است. خروجی‌های این آزمون عبارتند از: پاسخ نادرست، بی‌پاسخ، نتیجه، درصد(نتیجه)، میانگین زمان پاسخ و انحراف معیار زمان پاسخ. در این مطالعه متغیرهای پاسخ نادرست و میانگین زمان پاسخ مورد بررسی قرار گرفتند. برای تفهیم تکلیف توسط آزمودنی، اجرای آن در قسمت آزمایشی چندین بار امکان‌پذیر است. در این پژوهش از سطح ۲-بک استفاده شد. زیرا از درجهٔ دشواری متوسطی برخوردار است. بدین شرح که شرکت‌کننده اولین و دومین مربع را که مشاهده کرد مکان آنها را باید بخاطر بسپارد و منتظر ظاهر شدن مربع سوم بشود. پس از ظاهر شدن مربع سوم، در صورتی که مکان مربع با مکان مربع اول یکسان بود، با حداکثر سرعت دکمه ؟ (درست) را فشار دهد و چنانچه دو مکان یکسان نبود، با حداکثر سرعت دکمه Z (نادرست) را فشار دهد. به همین ترتیب، با ظاهر شدن مربع چهارم، توجه کند که آیا با مکان مربع دوم یکسان است یا خیر و به همین ترتیب تا انتهای زمان آزمون (تعداد محرک ۴۰، زمان نمایش محرک ۵۰۰ میلی‌ثانیه و زمان بین محرک‌ها

1. Edinburgh's Handedness Questionnaire
2. N-Back Task
3. Jaeggi, Buschkuehl, Perrig & Meier
4. Kirchner

۱۵۰۰ ملی‌ثانیه) ادامه دهد. آزمون ان‌بک در انواع دیداری، فضایی، شنیداری، واج شناختی و دوگانه وجود دارد که بر اساس نوع مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. روند کلی تکلیف بدین قرار است که دنباله‌ای از محرک‌ها (دیداری یا شنیداری) به صورت گام به گام به آزمودنی‌ها ارائه می‌شود و افراد باید بررسی کنند که آیا محرک ارائه شده فعلی، با محرک گام nاُم قبل از آن هم‌خوانی دارد یا خیر. طراحی این تکلیف به گونه‌ای است که در تمام مراحل، افراد مجبور هستند به همه محرک‌ها پاسخ دهند. بنابراین، این تکلیف نیازمند یک کنترل مداوم و به روز کردن اطلاعات در حافظهٔ‌کاری است. این آزمون از اعتبار قوی برخوردار است و در حال حاضر در مطالعات بالینی و تجربی مورد استفاده گسترده‌ای قرار گرفته است. اعتبار آن با چندین آزمون دیگر که حافظهٔ‌کاری را می‌سنجند نشان داده شده است (کان، کونوای، میرا و کلفرش[1] ۲۰۰۷). در ایران نیز از این آزمون به عنوان یک آزمون معتبر در مطالعات استفاده می‌شود و اعتبار آن نشان داده شده است (نجاتی، ۲۰۱۳). در پژوهش حاضر نیز همسانی درونی آن به روش آلفای کرونباخ ۰/۸۵ محاسبه شد.

۲- دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای: دستگاه مورد استفاده در این تحقیق مدل نورواستیم[2] و محصول شرکت مدینا طب گستر و مؤسسه علوم شناختی سینا بود. این دستگاه از سال ۲۰۱۵ روانهٔ بازار شد و جهت ارائه تحریک فراجمجمه‌ای با جریان الکتریکی طراحی شده است و می‌تواند ۵ نوع تحریک مختلف شامل تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان متناوب[3]، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان پالس[4]، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم- نوسانی[5]و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی[6] را ارائه دهد. دستگاه دارای دو کانال کاملاً مجزا است و هر کانال به طور مستقل از دیگری قابل تنظیم و اعمال انواع تحریک است. پارامترهای مختلف تحریک از قبیل شدت جریان، زمان و فرکانس قابل تنظیم است. شدت جریان خروجی این دستگاه از ۰/۱ تا ۲ میلی‌آمپر و مدت زمان ارائه تحریک تا ۴۵ دقیقه و فرکانس موج خروجی تا ۲۰۰ هرتز قابل تنظیم است. از دیگر خصوصیات این دستگاه قابلیت نمایش مداوم مقاومت الکترودها برای پیشگیری از سوزش پوست ناشی از افزایش مقاومت است. دستگاه مورد نظر قابلیت اعمال تحریک ساختگی را دارد. همچنین مجهز به هشداردهندهٔ صوتی است که در مواقع جدا شدن الکترودها از سر، افزایش مقاومت الکترودها، کاهش شارژ باتری و اتمام جلسهٔ تحریک به صدا در می‌آید. این دستگاه مجهز به باتری قابل شارژ است. اندازه الکترودها در این پژوهش ۵ در ۷ سانتی‌متر مربع بود که درون اسفنج آغشته به کلرید سدیم ۹ درصد قرار گرفت تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی از افزایش حرارت پیشگیری شود.

۳- پرسش‌نامه دست برتری ادینبورگ: این پرسش‌نامه در سال ۱۹۷۱ توسط اولدفیلد[7]در دانشگاه ادینبور اسکاتلند تهیه گردیده است. این پرسش‌نامه شامل ده سؤال است که به منظور تعیین دست برتری به کار برده می‌شود. در این پرسش‌نامه فعالیت‌های

1. Kane, Conway, Miura & Colflesh
2. Neuristim
3. Transcranial Alternating Current Stimulation
4. Transcranial Pulsed Current Stimulation
5. Oscillatory Transcranial Direct Stimulation
6. Transcranial Random Noise Stimulation
7. Oldfield

معمول روزانه مانند نوشتن، نقاشی کردن، پرتاب توپ، قیچی کردن، مسواک زدن، بریدن با چاقو، غذاخوردن، روشن کردن کبریت، جارو زدن و باز کردن درب جعبه مطرح شده است. از افراد خواسته می‌شود تا ارجحیت دست‌ها را برای انجام هر یک از این اعمال را با گذاشتن علامت ضربدر مشخص کنند. انتخاب دست چپ یا راست بیشتر از ۶ گزینه در فعالیت‌های فوق، نشانهٔ اهمیت و برتری این دست در فرد است. روایی و اعتبار این پرسش‌نامه در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و در پژوهش علی‌پور و آگاه‌هریس (۱۹۹۷) آلفای کرونباخ آزمون مذکور ۰/۹۷ به دست آمده است. همچنین همبستگی دو نیمه آزمون ۰/۹۴ گزارش شده است.

۴-پرسش‌نامه سلامت عمومی[1]: برای هدف تمایز قائل شدن بین افراد سالم و افراد بیمار از این ابزار استفاده شد. این پرسش‌نامه تاکنون به طور وسیع در موقعیت‌های مختلف و در کشورهای متفاوت به کار برده شده است. بر اساس تحقیقات انجام شده، روایی و پایایی این آزمون در انگلستان و سایر کشورها بسیار مناسب گزارش شده است. گلدبرگ[2] (۱۹۹۷) نتیجه بیش از ۷۰ تحقیق را در این خصوص ارائه داده و بر این اساس اعتبار متوسط ۰/۸۳ و پایایی متوسط ۰/۸۷ را گزارش کرده‌اند.

۵- چارت اسنلن[3]: برای بررسی میزان بینایی افراد در مقایسه با دید طبیعی از چارت اسنلن استفاده شد. محل استاندارد قرار دادن چارت در فاصله ۶ متری از شرکت‌کنندگان بود.

شیوهٔ اجرا

پس از بررسی شرایط ورود به طرح، ابتدا عملکرد دستگاه تحریک فراجمجمه‌ای برای شرکت‌کنندگان توضیح داده شد و برگهٔ رضایت‌نامه با ذکر تأثیرات جانبی آزمون به امضأ آزمودنی‌ها رسید. سپس توضیحاتی درباره روند آزمون به افراد داده شد. روش اجرای پژوهش به این گونه بود که در جلسهٔ اول شرکت‌کنندگان با نحوهٔ اجرای آزمون آشنا شده و از آنها پیش‌آزمون حافظهٔ‌کاری توسط تکلیف ان‌بک به عمل آمد. سپس طی سه جلسه، در هر جلسه به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی به شدت ۲ میلی‌آمپری دریافت کردند. پد اسفنجی که در واقع پوشش الکترودها محسوب می‌شود به کلرید سدیم ۹ درصد آغشته شد. الکترود آند بر روی قشر پیش پیشانی جانبی-پشتی سمت چپ که معادل نقطه F3 و الکترود کاتد بر روی قشر پیش پیشانی جانبی-پشتی سمت راست که معادل نقطه F4 در سیستم ۲۰-۱۰ الکتروانسفالوگرافی[3] است، به وسیلهٔ نوار کشی بر روی سر محکم قرار گرفتند. بعد از اتمام مدت تحریک، صفحهٔ نمایش لپ‌تاپ مقابل شرکت‌کنندگان و با فاصله‌ای تنظیم شده که به راحتی بتوانند به آزمون‌ها پاسخ دهند قرار داده و تکلیف ان‌بک انجام شد. برای به حداقل رسانیدن انتقال تأثیرات مراحل آزمون، حداقل ۲۴ ساعت فاصله بین جلسات در نظر گرفته شد. بعد از پایان جلسات تحریک، پس‌آزمون ان‌بک، جهت مقایسه با پیش‌آزمون، با شرایطی دقیقاً مشابه با پیش‌آزمون، از شرکت‌کنندگان گرفته شد. تحریک ساختگی (شم) در گروه کنترل، به این صورت بود که مکان الکترودها همانند الکترودهای تحریک واقعی است، با این تفاوت که برای احساس خارش اولیه، جریان فقط در ۳۰ ثانیه اول وارد و سپس در طول آزمایش قطع شد. در هر موقعیت تحریک واقعی و تحریک ساختگی شرایط آزمایش و ترتیب اجرای آزمون‌ها یکسان بود.

1. General Health Questionnaire (G.H.Q)

2. Goldberg
3. Snelen

روش تجزیه و تحلیل آماری

برای توصیف ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها و متغیرهای تحقیق از شاخص‌های آمار توصیفی میانگین و انحراف استاندارد، برای تعیین طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرویک-ویلک و برای تعیین برابری واریانس‌های داده‌ها از آزمون لون استفاده شد. برای تعیین تفاوت تأثیر تحریک الکتریکی مغز بر گروه ورزشکار و غیر ورزشکار و همچنین گروه تحریک واقعی و شم از آزمون تحلیل واریانس مرکب (ورزشکاری)۲ × (نوع تحریک)۲ × (مرحله آزمون)۲ استفاده شد. آزمون‌های تعقیبی تحلیل واریانس ۲×۲ و همچنین تی مستقل و وابسته با تعدیل ضریب آلفا به روش بونفرونی برای تعامل‌های معنادار اجرا شدند. تمامی تجزیه و تحلیل‌ها در سطح معناداری $P\leq0.05$ و با استفاده از نرم‌افزار "اس.پی.اس.اس[۳]" نسخهٔ ۲۲ انجام شد.

یافته‌ها

میانگین و انحراف استاندارد سن شرکت‌کنندگان در گروه‌های ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای، ورزشکار-تحریک شم، غیر ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای و غیر ورزشکار-تحریک شم به ترتیب ۳/۹ ± ۲۲/۷۵، ۴/۲ ± ۲۳/۵۸، ۵/۲۵ ± ۲۲/۸۳ و ۴/۸۵ ± ۲۵/۴۱ بود. میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای اندازه‌گیری شده در چهار گروه پژوهش و در دو مرحله آزمون، در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای وابسته در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

مرحلهٔ آزمون	متغیرها	گروه‌ها	میانگین	انحراف استاندارد
پیش‌آزمون	تعداد پاسخ‌های نادرست	ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای	۹	۳/۲۱
		ورزشکار-تحریک شم	۱۲/۳۳	۳/۷۲
		غیر ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای	۱۱	۶/۵۰
		غیر ورزشکار-تحریک شم	۱۰/۹۱	۴/۲۳
	میانگین زمان پاسخ	ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای	۷۴۰/۶۶	۱۷/۳۶
		ورزشکار-تحریک شم	۶۲۹/۷۵	۲۱۴/۳۹
		غیر ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای	۶۴۵/۲۵	۱۶۳/۷۶
		غیر ورزشکار-تحریک شم	۶۵۴/۲۵	۱۷۲/۵۲

ادامهٔ جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای وابسته در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

مرحلهٔ آزمون	متغیرها	گروه‌ها	میانگین	انحراف استاندارد
پس‌آزمون	تعداد پاسخ‌های نادرست	ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای	۳/۴۱	۲/۶۴
		ورزشکار-تحریک شم	۹/۴۱	۳/۱۷
		غیر ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای	۶/۴۱	۳/۹۶
		غیر ورزشکار-تحریک شم	۱۲/۶۶	۳/۹۱
	میانگین زمان پاسخ	ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای	۳۷۶	۱۲۹/۴۱
		ورزشکار-تحریک شم	۶۰۴/۸۳	۲۵۳/۰۴
		غیر ورزشکار-تحریک فراجمجمه‌ای	۴۹۹/۱۶	۱۵۷/۲۶
		غیر ورزشکار-تحریک شم	۶۳۷/۲۵	۱۶۴/۷

برای بررسی تأثیر تحریک فراجمجمه‌ای بر حافظهٔ‌کاری (تعداد پاسخ‌های نادرست) ورزشکاران و غیر ورزشکارن در دو مرحله آزمون از آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲×۲ استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. قبل از اجرای این آزمون پیش‌فرض‌های آن بررسی شدند. توزیع طبیعی از طریق آزمون شاپیرو-ویلک مورد تأیید واقع شد (P>۰/۰۵).

نتایج آزمون لون نشان‌دهندهٔ برابری واریانس‌های متغیر وابسته در دو گروه در دو مرحله آزمون بود (P>۰/۰۵). همچنین فرضیه کرویت پذیرفته شد. لازم به ذکر است که منظور از گروه۱ در جداول ذیل، ورزشکار و غیر ورزشکار و گروه۲، تحریک واقعی و شم است.

جدول۲- نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب (پس‌آزمون-پیش‌آزمون)۲× (تحریک واقعی-تحریک شم)۲× (ورزشکار-غیر ورزشکار)۲ برای متغیر تعداد پاسخ‌های نادرست

شاخص‌های آماری منبع تغییرات	مجموع مجذورات	مجذور میانگین	درجهٔ آزادی	ارزش اف	معناداری	مجذور اتا سهمی
آزمون	۱۹۲/۶۶	۱۹/۶	۱	۶۰/۷۶	۰/۰۰۰۱	۰/۵۸
آزمون×گروه۱	۴۸/۱۶	۴۸/۱۶	۱	۱۵/۱۹	۰/۰۰۰۱	۰/۲۵
آزمون×گروه۲	۱۲۱/۵	۱۲۱/۵	۱	۳۸/۳۲	۰/۰۰۰۱	۰/۴۶
آزمون×گروه۱×گروه۲	۲۰/۱۶	۲۰/۱۶	۱	۶/۳۶	۰/۰۱۵	۰/۱۲
گروه۱	۷۰/۰۴	۷۰/۰۴	۱	۲/۳۳	۰/۱۳	۰/۰۵
گروه۲	۳۶۰/۳۷	۳۶۰/۳۷	۱	۱۲/۰۱	۰/۰۱	۰/۲۱
گروه۱×گروه۲	۱۵/۰۴	۱۵/۰۴	۱	۰/۵	۰/۴۸	۰/۰۱

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود تعامل آزمون×گروه۱×گروه۲ معنادار (P=۰/۰۱۵) بود. برای بررسی بیشتر، آزمون‌های تعقیبی با تعدیل ضریب آلفا به روش بونفرونی مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور، دو آزمون تحلیل واریانس دوراهه ۲×۲ برای بررسی تعامل بین ورزشکار-غیر ورزشکار × تحریک واقعی-تحریک شم یک‌بار در پیش‌آزمون و بار دیگر در پس‌آزمون استفاده شد. همچنین دو آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲، یک‌بار برای بررسی تفاوت بین ورزشکار و غیر ورزشکار با توجه به تحریک واقعی و بار دیگر با توجه به تحریک شم، از پیش‌آزمون تا پس-آزمون مورد استفاده قرار گرفت. مجدداً برای بررسی تفاوت بین نوع تحریک در گروه ورزشکار و گروه غیر ورزشکار از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون، دو آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲ دیگر اجرا شد. جدول ۳ نشان-دهندهٔ نتایج آزمون تحلیل واریانس ۲×۲ برای بررسی تعامل گروه۱×گروه۲ در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون است.

جدول۳- نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب (تحریک واقعی-تحریک شم)۲× (ورزشکار-غیر ورزشکار)۲ در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

مرحلهٔ آزمون	شاخص‌های آماری منبع تغییرات	مجموع مجذورات	مجذور میانگین	درجهٔ آزادی	ارزش اف	معناداری	مجذور اتا سهمی
پیش‌آزمون	گروه۱	۱/۰۲	۱/۰۲	۱	۰/۰۴	۰/۸۲	۰/۰۰۱
	گروه۲	۳۱/۶۸	۳۱/۶۸	۱	۱/۵	۰/۲۲	۰/۰۳
	گروه۱×گروه۲	۳۵/۰۲	۳۵/۰۲	۱	۱/۶۵	۰/۲۰	۰/۰۳
پس‌آزمون	گروه۱	۱۱۷/۱۸	۱۱۷/۱۸	۱	۹/۷۳	۰/۰۰۳	۰/۱۸
	گروه۲	۴۵۰/۱۸	۴۵۰/۱۸	۱	۳۷/۴۱	۰/۰۰۰۱	۰/۴۶
	گروه۱×گروه۲	۰/۱۸	۰/۱۸	۱	۰/۰۱	۰/۹۰	۰/۰۰

چنانچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود اثرات اصلی و تعاملی دو گروه در مرحلهٔ پیش‌آزمون معنادار نبودند (P>۰/۰۵). لیکن اثر اصلی گروه۱ (P=۰/۰۰۳) و گروه۲ (P=۰/۰۰۰۱) در مرحله پس‌آزمون معنادار بود. با توجه به جدول شمارهٔ۱ مشخص شد گروه ورزشکار نسبت به غیر ورزشکار (بدون در نظر گرفتن نوع تحریک) و گروه تحریک واقعی نسبت به گروه تحریک شم (بدون در نظر گرفتن ورزشکار یا غیر ورزشکار بودن) دارای تعداد پاسخ‌های نادرست کمتری بودند و در نتیجه عملکرد بهتری داشتند. نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس دوراهه ۲×۲ برای بررسی تفاوت بین دو نوع تحریک یک‌بار در گروه ورزشکار و بار دیگر در گروه غیر ورزشکار در جدول۴ گزارش شده است.

جدول۴- نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس دوراهه (تحریک واقعی-تحریک شم)۲× (ورزشکار-غیر ورزشکار)۲

گروه	شاخص‌های آماری منبع تغییرات	مجموع مجذورات	مجذور میانگین	درجهٔ آزادی	ارزش اف	معناداری	مجذور اتا سهمی
ورزشکار	آزمون	۲۱۶/۷۵	۲۱۶/۷۵	۱	۷۷/۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۷۷
	گروه۲	۲۶۱/۳۳	۲۶۱/۳۳	۱	۱۴/۶۴	۰/۰۰۱	۰/۴۰
	آزمون × گروه۲	۲۱/۳۳	۲۱/۳۳	۱	۷/۵۸	۰/۰۱۲	۰/۲۵
غیر ورزشکار	آزمون	۲۴/۰۸	۲۴/۰۸	۱	۶/۸۲	۰/۰۱۶	۰/۲۳
	گروه۲	۱۲۰/۳۳	۱۲۰/۳۳	۱	۳۴/۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۶۰
	آزمون × گروه۲	۱۱۴/۰۸	۱۱۴/۰۸	۱	۲/۷۰	۰/۱۱	۰/۱۱

با توجه به معناداری اثر تعاملی آزمون ×گروه۲ در گروه ورزشکار، بررسی‌های بیشتر توسط آزمون‌های دو آزمون تی مستقل برای بررسی تفاوت بین دو گروه تحریک واقعی و تحریک شم در پیش‌آزمون (t=-۲/۳۳، P=۰/۰۲۸) و پس‌آزمون (P=۰/۰۰۰۱ ، t=-۵/۰۳) و همچنین دو آزمون تی وابسته برای بررسی تفاوت بین دو مرحله آزمون در گروه تحریک واقعی (t=۸/۳۵، P=۰/۰۰۰۱) و تحریک شم (t=۴/۱۵، P=۰/۰۰۲) انجام شد. با توجه به جدول۱ مشخص می‌شود افراد ورزشکار در مرحله پس‌آزمون در شرایط تحریک واقعی نسبت به تحریک شم، پیشرفت داشته‌اند. همچنین افراد ورزشکار در شرایط تحریک واقعی و نیز شرایط تحریک شم از پیش‌آزمون تا پس-آزمون پیشرفت کردند. لیکن پیشرفت در شرایط تحریک واقعی بیشتر بوده است. در ادامه نتایج آزمون-های تحلیل واریانس دو راهه ۲×۲ برای بررسی تفاوت بین دو گروه ورزشکار و غیر ورزشکار با توجه به نوع تحریک انجام گرفته در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول۵- نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس دوراهه (مرحله آزمون)۲× (نوع تحریک)۲

گروه	شاخص‌های آماری منبع تغییرات	مجموع مجذورات	مجذور میانگین	درجهٔ آزادی	ارزش اف	معناداری	مجذور اتا سهمی
تحریک واقعی	آزمون	۳۱۰/۰۸	۳۱۰/۰۸	۱	۹۶/۱۹	۰/۰۰۰۱	۰/۸۱
	گروه۱	۷۵	۷۵	۱	۲/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۹
	آزمون × گروه۱	۳	۳	۱	۰/۹۳	۰/۳۴	۰/۰۴
تحریک شم	آزمون	۴/۰۸	۴/۰۸	۱	۱/۳۱	۰/۲۶	۰/۰۵
	گروه۱	۱۰/۰۸	۱۰/۰۸	۱	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۰۱
	آزمون × گروه۱	۶۵/۳۳	۶۵/۳۳	۱	۲۰/۹۵	۰/۰۰۰۱	۰/۴۸

همان‌طور که از جدول۵ مشخص است، اثر اصلی آزمون در وضعیت تحریک واقعی معنادار (P=۰/۰۰۰۱) گزارش شد. این موضوع نشان‌دهندهٔ تفاوت بین میانگین نمرات از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون، بدون در

نظر گرفتن عامل ورزشکارو غیر ورزشکار بودن است. با توجه به معناداری اثر تعاملی آزمون× گروه۱ (P=۰/۰۰۰۱) در وضعیت تحریک شم، از دو آزمون تی مستقل برای بررسی تفاوت بین دو گروه ورزشکار و غیروزشکار، یک‌بار در پیش‌آزمون (۰/۳۹ =P،t=-۰/۸۷) و بار دیگر در پس‌آزمون (۰/۰۳۶ =P،t=-۲/۲۲) و همچنین از دو آزمون تی وابسته برای بررسی تفاوت بین دو مرحله آزمون، یک‌بار در گروه ورزشکار (t=-۴/۱۵، P=۰/۰۰۲) و بار دیگر در گروه غیر ورزشکار (t=-۲/۳۶، P=۰/۰۳۷) استفاده شد. با توجه به تعدل ضریب آلفا، تنها اثر معنادار، تفاوت بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه ورزشکار در شرایط تحریک شم بود که نشان‌دهندۀ پشرفت گروه ورزشکار در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون است.

در ادامه، نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲×۲ برای بررسی تأثیر تحریک فراجمجمه‌ای بر حافظه کاری (مغیر میانگین زمان پاسخ) ورزشکاران و غیر ورزشکارن در دو مرحله آزمون در جدول۶ نشان داده شده است. قبل از اجرای این آزمون پیش‌فرض‌های آن بررسی شدند. توزیع طبیعی از طریق آزمون شاپیرو-ویلک مورد تأیید واقع شد (P>۰/۰۵). نتایج آزمون لون نشان‌دهندۀ برابری واریانس‌های متغیر وابسته در دو گروه در دو مرحله آزمون بود (P>۰/۰۵). همچنین فرضیه کرویت پذیرفته شد. لازم به ذکر است که منظور از گروه۱ ورزشکار و غیر ورزشکار و منظور از گروه۲ تحریک واقعی و شم است.

جدول۶- نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲×۲ برای متغیر میانگین زمان پاسخ

شاخص‌های آماری منبع تغییرات	مجموع مجذورات	مجذور میانگین	درجۀ آزادی	ارزش اف	معناداری	مجذور اتا سهمی
آزمون	۴۵۸۱۶۰/۶۶	۴۵۸۱۶۰/۶۶	۱	۷۴/۲۳	۰/۰۰۰۱	۰/۶۲
آزمون×گروه۱	۷۶۹۵۳/۳۷	۷۶۹۵۳/۳۷	۱	۱۲/۴۶	۰/۰۰۱	۰/۲۲
آزمون×گروه۲	۳۲۹۷۰۷/۰۴	۳۲۹۷۰۷/۰۴	۱	۵۳/۴۲	۰/۰۰۰۱	۰/۵۴
آزمون×گروه۱×گروه۲	۶۶۵۷۰/۶۶	۶۶۵۷۰/۶۶	۱	۱۰/۷۸	۰/۰۰۲	۰/۱۹
گروه۱	۱۰۷۵۲/۶۶	۱۰۷۵۲/۶۶	۱	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۰۰۴
گروه۲	۱۰۵۳۳۷/۵	۱۰۵۳۳۷/۵	۱	۱/۷۵	۰/۱۹	۰/۰۳
گروه۱×گروه۲	۱۲۷۶/۰۴	۱۲۷۶/۰۴	۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۰۰۰

همان‌طور که در جدول۶ مشاهده می‌شود تعامل آزمون×گروه۱×گروه۲ معنادار (P=۰/۰۰۲) بود. برای بررسی بیشتر از آزمون‌های تعقیبی با تعدل ضریب آلفا به روش بونفرونی استفاده شد. برای این منظور، دو آزمون تحلیل واریانس دوراهه ۲×۲ برای بررسی تعامل بین ورزشکار-غیر ورزشکار × تحریک واقعی-تحریک شم یک‌بار در پیش‌آزمون و بار دیگر در پس‌آزمون استفاده شد. همچنین دو آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲، یک‌بار برای بررسی تفاوت بین ورزشکار و غیر ورزشکار با توجه به تحریک واقعی و بار دیگر برای تحریک شم از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون مورد استفاده قرار گرفت. مجدداً برای بررسی تفاوت بین نوع تحریک در ورزشکار و غیر ورزشکار از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون، دو آزمون تحلیل واریانس مرکب ۲×۲ دیگر اجرا شد.

جدول ۳ نشان‌دهندۀ نتایج آزمون تحلیل واریانس ۲×۲ برای بررسی تعامل گروه۱×گروه۲ در مرحله پیش آزمون و پس‌آزمون است.

جدول۷- نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب (تحریک واقعی-تحریک شم)۲× (ورزشکار-غیر ورزشکار)۲ در پیش‌آزمون و پس‌آزمون (متغیر: میانگین زمان پاسخ)

مرحله آزمون	شاخص‌های آماری منبع تغییرات	مجموع مجذورات	مجذور میانگین	درجۀ آزادی	ارزش اف	معناداری	مجذور اتا سهمی
پیش‌آزمون	گروه۱	۱۵۰۸۷/۵۲	۱۵۰۸۷/۵۲	۱	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۰۱
	گروه۲	۳۱۱۶۱/۰۲	۳۱۱۶۱/۰۲	۱	۰/۹۴	۰/۳۳	۰/۰۲
	گروه۱×گروه۲	۴۳۱۴۰/۰۲	۴۳۱۴۰/۰۲	۱	۱/۳	۰/۲۶	۰/۰۲
پس‌آزمون	گروه۱	۷۲۶۱۸/۵۲	۷۲۶۱۸/۵۲	۱	۲/۱۹	۰/۱۴	۰/۰۴
	گروه۲	۴۰۳۸۸۳/۵۲	۴۰۳۸۸۳/۵۲	۱	۱۲/۱۷	۰/۰۰۱	۰/۲۱
	گروه۱×گروه۲	۲۴۷۰۶/۶۸	۲۴۷۰۶/۶۸	۱	۰/۷۴	۰/۳۹	۰/۰۱

چنانچه در جدول۷ مشاهده می‌شود اثرات اصلی و تعاملی دو گروه در مرحله پیش‌آزمون معنادار نبودند (P>۰/۰۵). تنها اثر اصلی معنادار مربوط به تفاوت بین دو نوع تحریک در مرحله پس‌آزمون بدون در نظر گرفتن ورزشکار یا غیر ورزشکار بودن است (P=۰/۰۰۱). با توجه به جدول۱ مشخص شد که گروه تحریک واقعی دارای عملکرد بهتری نسبت به گروه تحریک شم در مرحله پس‌آزمون بودند. نتایج آزمون-های تحلیل واریانس دوراهه ۲×۲ برای بررسی تفاوت بین دو نوع تحریک یک‌بار در گروه ورزشکار و بار دیگر در گروه غیر ورزشکار در جدول۸ گزارش شده است.

جدول۸- نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس دوراهه (مرحله آزمون)۲× (نوع تحریک)۲ (متغیر: میانگین زمان پاسخ)

نوع گروه	شاخص‌های آماری منبع تغییرات	مجموع مجذورات	مجذور میانگین	درجۀ آزادی	ارزش اف	معناداری	مجذور اتا سهمی
ورزشکار	آزمون	۴۵۵۳۲۵/۵۲	۴۵۵۳۲۵/۵۲	۱	۴۳/۷۳	۰/۰۰۰۱	۰/۶۶
	گروه۲	۴۱۷۱۳/۰۲	۴۱۷۱۳/۰۲	۱	۰/۶۱	۰/۴۴	۰/۰۲
	آزمون × گروه۲	۳۴۶۲۹۰/۱۸	۳۴۶۲۹۰/۱۸	۱	۳۳/۲۶	۰/۰۰۰۱	۰/۶۰
غیر ورزشکار	آزمون	۷۹۷۸۸/۵۲	۷۹۷۸۸/۵۲	۱	۴۱/۲۶	۰/۰۰۰۱	۰/۶۵
	گروه۲	۶۴۹۰۰/۵۲	۶۴۹۰۰/۵۲	۱	۱/۲۴	۰/۲۷	۰/۰۵
	آزمون × گروه۲	۴۹۹۸۷/۵۲	۴۹۹۸۷/۵۲	۱	۲۵/۸۵	۰/۰۰۰۱	۰/۵۴

با توجه به معناداری اثر تعاملی آزمون با گروه۲ در گروه ورزشکار، بررسی‌های بیشتر توسط آزمون‌های دو آزمون تی مستقل برای بررسی تفاوت بین دو گروه تحریک واقعی و تحریک شم در پیش‌آزمون (t=-۲/۳۳، P=۰/۰۲۸) و پس‌آزمون (P=۰/۰۰۰۱ ،t=-۵/۰۳) و همچنین دو آزمون تی وابسته برای بررسی تفاوت بین دو مرحله آزمون در گروه تحریک واقعی (P=۰/۰۰۰۱، t=۸/۳۵) و تحریک شم (t=۴/۱۵، P=۰/۰۰۲) انجام شد. با توجه به مقادیر میانگین در جدول۱ متوجه می‌شویم که در پس‌آزمون افراد ورزشکار که تحریک واقعی دریافت کردند، عملکرد بهتری نسبت به گروه شم داشته‌اند. همچنین افراد ورزشکار با تحریک واقعی و نیز با تحریک شم در پس‌آزمون عملکرد بهتری نسبت به پیش‌آزمون داشتند. لیکن با تحریک واقعی نسبت به تحریک شم، عملکرد افراد ورزشکار بهبود بیشتری یافته است. نتایج آزمون-های تحلیل واریانس دو راهه ۲×۲ برای بررسی تفاوت بین دو گروه ورزشکار و غیر ورزشکار با توجه به نوع تحریک انجام گرفته در جدول۹ نشان داده شده است.

جدول۹- نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس دو راهه (مرحلهٔ آزمون)۲× (نوع تحریک)۲

نوع گروه	شاخص‌های آماری منبع تغییرات	مجموع مجذورات	مجذور میانگین	درجهٔ آزادی	ارزش اف	معناداری	مجذور اتا سهمی
تحریک واقعی	آزمون	۷۸۲۵۹۶/۶۸	۷۸۲۵۹۶/۶۸	۱	۲۳۱/۸۹	۰/۰۰۰۱	۰/۹۱
	گروه۱	۲۳۱۰/۱۸	۲۳۱۰/۱۸	۱	۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۰۰۲
	آزمون × گروه۱	۱۴۳۳۳۶/۰۲	۱۴۳۳۳۶/۰۲	۱	۴۲//۴۷	۰/۰۰۰۱	۰/۶۵
تحریک شم	آزمون	۵۲۷۱/۰۲	۵۲۷۱/۰۲	۱	۰/۵۸	۰/۴۵	۰/۰۲
	گروه۱	۹۷۱۸/۵۲	۹۷۱۸/۵۲	۱	۰/۱۳	۰/۷۲	۰/۰۰۶
	آزمون × گروه۱	۱۸۸/۰۲	۱۸۸/۰۲	۱	۰/۰۲	۰/۸۸	۰/۰۰۱

با توجه به معناداری اثر تعاملی آزمون× گروه۱ (P=۰/۰۰۰۱) در وضعیت تحریک واقعی، از دو آزمون تی مستقل برای بررسی تفاوت بین دو گروه ورزشکار و غیروزشکار، یک‌بار در پیش‌آزمون (P=۰/۱۸ ،t=۱/۳۸) و بار دیگر در پس‌آزمون (P=۰/۰۴۸ ،t=- ۲/۰۰۹) و همچنین از دو آزمون تی وابسته برای بررسی تفاوت بین دو مرحله آزمون، یک‌بار در گروه ورزشکار (t=۱۳/۱۹، P=۰/۰۰۰۱) و بار دیگر در گروه غیر ورزشکار (t=۷/۶۹، P=۰/۰۰۰۱) استفاده شد. با مراجعه به جدول۱ به این نکته پی می‌بریم که افراد ورزشکار و همچنین افراد غیر ورزشکار از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در میانگین زمان پاسخ پیشرفت داشته‌اند. لیکن پیشرفت در افراد ورزشکار به مراتب بیشتر از افراد غیر ورزشکار بود.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی تأثیر تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر حافظهٔ‌کاری در افراد ورزشکار و غیر ورزشکار انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد بین گروه تحریک واقعی و گروه تحریک ساختگی (شم) هم در گروه ورزشکار و هم در گروه غیر ورزشکار تفاوت معناداری وجود دارد. بدین معنی که در هر دو گروه ورزشکار و غیر ورزشکار، گروه تحریک واقعی به طور معناداری عملکرد بهتری نسبت به گروه تحریک

شم در تعداد پاسخ‌های نادرست داشتند. به عبارت دیگر تحریک ۲ میلی‌آمپری به مدت ۲۰ دقیقه موجب کاهش تعداد پاسخ‌های نادرست شد. این یافته هماهنگ با یافته هارتلی، سیمن و مکوستیکس[1](۲۰۱۵) است که به این نتیجه دست یافتند که تحریک الکتریکی مغز موجب بهبود شناسایی خطا در انجام تکلیف شناختی می‌شود. همچنین هم‌راستا با تحقیق اندروز، هوی، انتیکوت، داسکالاکیس و فیتزگرالد[2] (۲۰۱۱) است که مدت تحریک در آن ۱۰ دقیقه بود و تکلیف آن یک عدد به سمت جلو و یک عدد به سمت عقب بود. همچنین یافته حاضر هماهنگ با یافته بورداچی و همکاران (۲۰۱۶) است چنانچه در پژوهش ایشان، مدت زمان تحریک الکتریکی ۲۰ دقیقه و شدت جریان ۲ میلی‌آمپر بوده و طی ده جلسه متوالی بر روی قشر پیش‌پیشانی جانبی–پشتی چپ ۱۰ ورزشکار رشته انفرادی (جودو، شنا و ژیمناستیک موزون) انجام شد. تحریک الکتریکی مغز از طریق تحریک‌پذیری قشر می‌تواند به‌طور معناداری دقت حافظهٔ‌کاری را افزایش دهد (کاتسولاکی و همکاران، ۲۰۱۷). ممکن است افزایش دقت (کاهش تعداد پاسخ‌های نادرست) ناشی از مکانیسم تقویت طولانی‌مدت[3] باشد. این مکانسیم عامل اصلی در حافظه و یادگیری است و به افزایش طولانی‌مدت انتقال‌دهنده‌های عصبی اشاره دارد که می‌تواند ساعت‌ها تا ماه‌ها ادامه پیدا کند که ناشی از فعالیت همزمان سلول‌های پیش‌سیناپسی و پس‌سیناپسی است (کوک و بلیس[4]، ۲۰۰۶). تقویت بلندمدت، یک افزایش در انتقال پیام دو نورون است که در اثر تحریک همزمان آنها ایجاد می‌شود. این مکانیسم، یکی از مهمترین پدیده‌های شکل‌پذیری سیناپسی است و بنابراین در تغییر توان سیناپس‌های شیمیایی نقش دارد. بر عکس، تضعیف طولانی‌مدت[5] یک کاهش وابسته به فعالیت در کارایی سیناپس‌های عصبی است که متعاقب یک تحریک بلندمدت اتفاق می‌افتد. چون فرایند یادگیری و حافظه ارتباط مستقیم با اصلاحات توان سیناپسی دارد، به نظر می‌رسد تقویت و تضعیف طولانی‌مدت از مکانیسم‌های اصلی سلولی دخیل در روند حافظه و یادگیری باشند (براور[6] و همکاران، ۱۹۹۷). بنابراین تحریک فراجمجمه‌ای با افزایش فعالیت پیش‌سیناپسی و همراه با دپولاریزه کردن پس‌سیناپسی موجب ایجاد و تعدیل مکانیسم طولانی‌مدت می‌شود (رانیری[7] و همکاران، ۲۰۱۲).

وجود تفاوت معنادار بین نوع تحریک در متغیر تعداد پاسخ نادرست، مغایر با یافته تئو، هوی، داسکالاکیس و فیتزگرالد[8](۲۰۱۱) بود. ایشان در مطالعهٔ خود به این نتیجه دست یافتند که ۲۰ دقیقه تحریک آندی با شدت جریان ۱ میلی‌آمپری و ۲ میلی‌آمپری در انجام همزمان تکلیف ۳–بک و تکلیف استرنبرگ، در هیچ کدام از شدت جریان‌ها، در دقت اجرای تکلیف تغییری ایجاد نکرد. این موضوع می‌تواند ناشی از مناطق مورد تحریک و احتمالاً ناشی از این باشد که در آن از دو تکلیف استرنبرگ و ان‌بک به طور همزمان استفاده شده است. چنج و همکاران (۲۰۱۵)، بیان کردند دستکاری موقعیت الکترودها و قطبیت می‌تواند در مناطق مختلف به اثراتی در نواحی مغز منجر شود. تحریک الکتریکی مغز می‌تواند اثرات مثبتی بر حافظهٔ‌کاری در افراد داشته باشد ولی به شدت و موقعیت تحریک وابسته است (باجیو و همکاران، ۲۰۰۶). در نتیجه، تحریک آندی تحقیق تئو و همکاران (۲۰۱۱) در مقایسه با تحریک

1. Hartley, Seaman & Maquestiaux
2. Andrews, Hoy, Enticott, Daskalakis & Fitzgerald
3. Long-term Potentiation
4. Cooke & Bliss
5. Long-term Depression
6. Braver
7. Ranieri
8. Teo, Hoy, Daskalakis & Fitzgerald

همزمان آندی و کاتدی این تحقیق، منجر به نتایج متفاوتی شده است. همچنین، حجم زیادی از مطالعات کاهش کارایی تکالیف در حالت دوگانه نسبت به حالت منفرد را گزارش کرده‌اند (منکوندیا، پفیتزنمری، آدیس، دابوست و موری[1] ۲۰۰۶). بنابراین کاهش عملکرد شرکت‌کنندگان مطالعهٔ تئو و همکاران می‌تواند به علت استفادهٔ همزمان دو تکلیف شناختی باشد. یافتهٔ دیگر این پژوهش افزایش سرعت (کاهش مدت زمان پاسخ) است که این یافته هم‌راستا با یافته مالکوئینی، هوی، داسکالاکیس و فیتزگرالد[2](۲۰۱۱) است. با وجود این‌که در مطالعهٔ آنان از شدت جریان ۱ میلی‌آمپر استفاده شده بود، نشان داده شد که ۲۰ دقیقه تحریک آندی قشر پیش‌پیشانی جانبی–پشتی، سرعت انجام تکلیف ۲–بک را افزایش می‌دهد. همچنین یافته اخیر تحقیق حاضر، هماهنگ با تحقیق هوی و همکاران (۲۰۱۳) است با این تفاوت که در آن تحقیق از تکلیف استرنبرگ و فواصل یک هفته‌ای بین جلسات استفاده شده بود. مطالعات اخیر نشان می‌دهد در طول تکلیف مرتبط با حافظهٔ‌کاری، دوپامین در نواحی پیش‌پیشانی افزایش می‌یابد (باجیو و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش تحریک‌پذیری سطحی در قشر پیش‌پیشانی موجب افزایش رهاسازی دوپامین و در نتیجه باعث ارتقاً عملکرد حافظهٔ‌کاری می‌شود (اولیویرا و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی وجود تفاوت معنادار بین نوع تحریک در متغیر زمان پاسخ، با یافته‌های باجیو و همکاران (۲۰۰۶) که در تحقیق خود بدین نتیجه رسیدند تحریک مستقیم مغز بر روی سرعت و زمان واکنش شرکت‌کنندگان تأثیری نداشت ناهمخوان است. شاید از دلایل ناهمخوانی یافتهٔ تحقیق حاضر با تحقیق ذکر شده، نوع شرکت‌کنندگان و تکلیف نسبتاً دشوار مورد استفاده باشد. بدین صورت است که در تحقیق باجیو و همکاران (۲۰۰۶) از بیماران پارکینسونی و تکلیف سخت و دشواری همچون تکلیف ۳–بک استفاده شده بود. بیماری پارکینسون یک بیماری مزمن و پیش‌روندهٔ عصبی است که بر اثر اختلال یکی از ناقل‌های عصبی به نام دوپامین در عقده‌های قاعده‌ای مغز ایجاد می‌شود (گلب، اولیور، گیلمن[3] ۱۹۹۹). پیک عصبی دوپامین نقش واسطه‌ای در کارکردهای شناختی مرتبط با فعالیت قشر پیش‌پیشانی ایفاً می‌کند (چیو و براور[4] ۲۰۱۴). در نتیجه، این اختلال را می‌توان به عنوان عامل محدودکننده در عملکرد آزمودنی‌های باجیو و همکاران نسبت به شرکت‌کنندگان این مطالعه که افراد سالمی بودند دانست. علاوه بر این، در تکلیف ان‌بک، دشواری تکلیف با بالا بردن میزان آن، بیشتر می‌شود و سرعت عمل و دقت آزمودنی با سختی روبرو می‌شود. بنابراین می‌توان یکی از دلایل احتمالی تناقض بین یافته‌های حاضر و تحقیق باجیو و همکاران را دشوار بودن تکلیف (۳–بک) نسبت به تکلیف نسبتاً ساده‌تر (۲–بک) قلمداد کرد.

یافتهٔ دیگری که از مطالعه حاضر به دست آمد نشان‌دهندهٔ عملکرد بهتر ورزشکاران نسبت به افراد غیر ورزشکار در اثر تحریک فراجمجمه‌ای بود. علت این امر می‌تواند ارتباط بین کارکردهای شناختی و ورزش باشد. ورزش می‌تواند بر جنبه‌های مختلف عملکردهای ادراکی و شناختی اثرگذار باشد. سودمندی ورزش برای عملکردهای کنترل اجرایی مانند حافظهٔ‌کاری نشان داده شده است (اتنیر[5] ۲۰۰۶). هم‌چنین کرامر[6] و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند کسانی که شش ماه در برنامهٔ ورزشی هوازی شرکت کرده بودند، در عملکردهای شناختی اجرایی نسبت به گروه کنترل

1. Manckoundia, Pfitzenmeyer, Athis, Dubost & Mourey
2. Mulquiney, Hoy, Daskalakis & Fitzgerald
3. Gelb, Oliver & Gilman
4. Chiew & Braver
5. Etnier
6. Kramer

برتری داشتند. مطالعات مختلفی تأثیر تمرین‌های ورزشی را بر تصمیم‌گیری ورزشکاران در بازی‌های تیمی بررسی کردند و دریافتند که قرار گرفتن در تمرین‌ها و رقابت‌های ورزشی تیمی باعث بهتر شدن مهارت پیش‌بینی و تصمیم‌گیری ورزشکاران می‌شود. این نتایج تصدیق می‌کنند که ورزشکاران در طی تمرینات ورزشی دانش گسترده‌ای را در زمینهٔ الگوهای مخصوص عصبی–شناختی همان ورزش به دست می-آورند و در شرایط مشابه ورزشی (مانند آزمون‌های عصبی–شناختی–کامپیوتری) به خاطر استخراج کارآمد این دانش، توانایی‌های ادراکی بالاتری در مقایسه با افراد غیر ورزشکار دارند (باکر، کات و آبرندی[1] ۲۰۰۳). با توجه به نتایج این مطالعات عملکرد بهتر ورزشکاران نسبت به افراد غیر ورزشکار قابل توجیه است. بنابراین عملکرد بهینهٔ ورزشکاران نسبت به غیر ورزشکاران در اثر تحریک فراجمجمه‌ای، می‌تواند به علت بهره‌مندی آنان از مزایای عامل کلیدی و تأثیرگذار ورزش بوده باشد.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که در این مطالعه اثربخشی تحریک فراجمجمه‌ای بر حافظهٔ‌کاری در افراد ورزشکار و غیر ورزشکار مورد تأیید قرار گرفت، لذا با در نظر گرفتن جوانب احتیاط، می‌توان به ورزشکاران، مربیان و دست اندرکاران ورزشی توصیه کرد برای بهبود عملکرد ورزشی ورزشکاران در میادین ورزشی در کنار تمرینات جسمانی از تحریک فراجمجمه ای که روشی غیرتهاجمی، ارزان و ایمن است، استفاده کنند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی علاوه بر گروه آزمایش (دریافت تحریک همزمان آندی و کاتدی) و گروه کنترل، گروه سومی هم که تنها تحریک آندی را دریافت کنند در نظر گرفته و عملکرد سه گروه مقایسه شوند. با توجه به این‌که نشان داده شده است که حافظهٔ‌کاری متغیری است که وابسته به مهارت و تمرین ورزشی است، پیشنهاد می‌شود که در پژوهشگران آتی اثر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای را در سه گروه ورزشکاران مبتدی، ماهر و حرفه‌ای مورد سنجش و مقایسه قرار دهند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه ورزشکارن و دانشجویان شرکت-کننده و همچنین مسئولین کانون شهید رجایی شهرستان شادگان که با همکاری خود امکان اجرا و انجام پژوهش حاضر را فراهم نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Alipour, A., and Aghahehris, M. (1997). Reliability and Validity of the Edinburgh Handbook in Iran. *Journal of Psychological Sciences*, 22, 133-117. In Persian.
2. Andrews, S. C., Hoy, K. E., Enticott, P. G., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2011). Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*, 4(2), 84–89.
3. Arkan, A., & Yaryari, F. (2014). Effect of transcranial direct current stimulation (TDCS) on working memory in healthy people. Quarterly *Journal of Cognitive Psychology*, 2(2), 17-10. In Persian.

1. Baker, Cote & Abernethy

4. Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417–423.
5. Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829.
6. Baker, J., Cote, J., & Abernethy, B. (2003). Sport-specific practice and the development of expert decision-making in team ball sports. *Journal of Applied Sport Psychology*, 15(1), 12–25.
7. Boggio, P. S., Ferrucci, R., Rigonatti, S. P., Covre, P., Nitsche, M., Pascual-Leone, A., & Fregni, F. (2006). Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 249(1), 31–38.
8. Borducchi, D. M. M., Gomes, J. S., Akiba, H., Cordeiro, Q., Borducchi, J. H. M., Valentin, L. S. S., Borducchi, G. M., & Dias, A. M. (2016). Transcranial Direct Current Stimulation Effects on Athletes' Cognitive Performance: An Exploratory Proof of Concept Trial. *Frontiers in* Psychiatry, 7:183.
9. Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage*, 5(1), 49–62.
10. Casanova, F., Oliveira, J., Williams, M., & Garganta, J. (2009). Expertise and perceptual-cognitive performance in soccer: a review. *Revista Portuguesa de Ciências Do Desporto*, 9(1), 115–122.
11. Cheng, C. P. W., Chan, S. S. M., Mak, A. D. P., Chan, W. C., Cheng, S. T., Shi, L., Lam, L. C. (2015). Would transcranial direct current stimulation (tDCS) enhance the effects of working memory training in older adults with mild neurocognitive disorder due to Alzheimer' s disease: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 16, 479.
12. Chiew, K. S., & Braver, T. S. (2014). Dissociable influences of reward motivation and positive emotion on cognitive control. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14(2), 509–529.
13. Clark, V. P., Coffman, B. A., Trumbo, M. C., & Gasparovic, C. (2011). Transcranial direct current stimulation (tDCS) produces localized and specific alterations in neurochemistry: a 1H magnetic resonance spectroscopy study. *Neuroscience Letters*, 500(1), 67–71.
14. Cooke, S. F., & Bliss, T. V. P. (2006). Plasticity in the human central nervous system. *Brain*, 129(7), 1659–1673.
15. Ebadi, M., Hoseini, F., Pahlevan, F., Esmaeilzadeh akhondi,M., Farhadi, V., Asghari, R. (2016). The Effect of Extracurricular Stimulation on the Active Memory of People with Major Depression. *Journal of Arak University of Medical Sciences*, 5, 38-47. In Persian.
16. Edwards, D. J., Cortes, M., Wortman-jutt, S., & Putrino, D. (2017). Transcranial Direct Current Stimulation and Sports Performance, *Frontiers in Human Neuroscience,* 11, 243.
17. Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, 52(1), 119–130.
18. Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., & Adams, A.-M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(3), 265–281.
19. Gelb, D. J., Oliver, E., & Gilman, S. (1999). Diagnostic criteria for Parkinson disease. *Archives of Neurology*, 56(1), 33–39.

20. Goldberg D. P, Gater R, Sartorius N, Ustun T. B, Piccinelli M, Gureje O, & Rutter C. (1997). The validity of two versions of the GHQ in the WHO study of mental illness in general health care. *Psychological Medicine*. 27(1), 191–197.
21. Hill, K. J. (2017). No difference between athlete and nonathlete performance on a spatial memory test. Master of Science Thesis. University of Central Missouri.
22. Hartley, A. A., Seaman, B., & Maquestiaux, F. (2015). Ideomotor-compatible tasks partially escape dual-task interference in both young and elderly adults. *Psychology and Aging*, 30(1), 36.
23. Hoy, K. E., Emonson, M. R. L., Arnold, S. L., Thomson, R. H., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2013). Testing the limits: investigating the effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls. *Neuropsychologia*, 51(9), 1777–1784.
24. Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394–412.
25. Kane, M. J., Conway, A. R. A., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. H. (2007). Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 615.
26. Katsoulaki, M., Kastrinis, A., Tsekoura M. (2017) The Effects of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory. In: Vlamos, P. (eds) GeNeDis 2016. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol 987. Springer, Cham.
27. Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R.… Boileau, R. A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400(6743), 418.
28. Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology, 55*(4), 352–358.
29. Manckoundia, P., Pfitzenmeyer, P., d'Athis, P., Dubost, V., & Mourey, F. (2006). Impact of cognitive task on the posture of elderly subjects with Alzheimer's disease compared to healthy elderly subjects. *Movement Disorders*, 21(2), 236–241.
30. Mohammadzadeh, H., Nazari, M., and Heidari M. (2014). The effect of neurofeedback exercises on the dynamic balance of young men, *Journal of Development and Motor Learning*. 6(4), 453-462. In Persian.
31. Mulquiney, P. G., Hoy, K. E., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2011). Improving working memory: exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex. *Clinical Neurophysiology*, 122(12), 2384–2389.
32. Nejati, V. (2013). Correlation of risky decision making with executive function of brain in adolescences. *Journal of Research in Behavioral Sciences*, 11(4), 270–278.
33. Nejati, V., Salehinejad, M. A., Nitsche, M. A., Najian, A., & Javadi, A.-H. (2017). Transcranial direct current stimulation improves executive dysfunctions in ADHD: implications for inhibitory control, interference control, working memory, and cognitive flexibility. *Journal of Attention Disorders*, 1087054717730611.
34. Nouri, Layla, Shadmehr, Azadeh, Atarabashi, Behroz and Ghotbi, Nastaran (2012). Comparison of reaction time and predictive skills in athletic and non-athlete women. *Journal of Rehabilitation, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences*, 6(3).

35. Nyberg, S., and Pirmoradi, A. (2008). A study of verbal and action memory among athletes and nonathletes. *Örebro University*. 2-19.
36. Oliveira, J. F., Zanão, T. A., Valiengo, L., Lotufo, P. A., Benseñor, I. M., Fregni, F., & Brunoni, A. R. (2013). Acute working memory improvement after tDCS in antidepressant-free patients with major depressive disorder. *Neuroscience Letters*, 537, 60–64.
37. Ranieri, F., Podda, M. V., Riccardi, E., Frisullo, G., Dileone, M., Profice, P. & Grassi, C. (2012). Modulation of LTP at rat hippocampal CA3-CA1 synapses by direct current stimulation. *Journal of Neurophysiology*, 107(7), 1868–1880.
38. Teo, F., Hoy, K. E., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2011). Investigating the role of current strength in tDCS modulation of working memory performance in healthy controls. *Frontiers in Psychiatry*, 2, 45.
39. Verburgh, L., and Scherder, E. J. A., van Lange, P. A., and Oosterlaan, J. (2014). Executive functioning in highly talented soccer players. *PLoS ONE*, 9(3), e91254.
40. Zaehle, T., Sandmann, P., Thorne, J. D., Jäncke, L., & Herrmann, C. S. (2011). Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. *BMC Neuroscience*, 12(1), 2.

ارجاع‌دهی

شباهنگ، آسیه؛ عابدان‌زاده، رسول؛ و رمضان‌زاده، حسام. (۱۳۹۹). تأثیر تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای مغز بر حافظه‌کاری. *مطالعات روان‌شناسی ورزشی*، ۹(۳۱)، ص. ۲۱۴-۱۸۹. شناسهٔ دیجیتال: 10.22089/spsyj.2019.6806.1733

Shabahang; A, Abedanzadeh; R, & Ramezanzadeh, H. (2020). The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on the Working Memory. *Sport Psychology Studies*, 9(31); Pp: 189-214. In Persian. DOI: 10.22089/spsyj.2019.6806.1733

پرتال جامع علوم انسانی