Journal of Military Medicine
2024, Volume 25, Issue 6
Pages: 2120-2129
10.30491/JMM.2023.1006539.1089

Effect of a Course of Resistance Training and Neurofeedback on Supraspinal Nerve Function and Shooting Score of Beginner Militaries

Ahmadreza Yousefpour Dehaghani [1], Hamid Rajabi [2*], Lida Moradi [1], Zahra Reza Soltani [3], Dariush Eliaspour [4]

[1] *Department of Physical Education and Sports Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[2] *Department of Sports Physiology, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran*
[3] *Physical Medicine and Rehabilitation Clinical Biomechanics and Ergonomics Research Center, Army Medical Sciences Hospital, Tehran, Iran*
[4] *Physical Medicine and Rehabilitation Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 25 September 2023 **Accepted:** 7 December 2023

Abstract

Background and Aim: The use of new training for improve the learning of beginners in executive skills such as shooting is one of the topics of interest in recent researches. The aim of research was to investigate the effect of a course of resistance training and neurofeedback on improving shooting skills and neural performance of military beginners.

Methods: For this purpose, 25 people (mean age 20 years and weight 73.8 kg) were randomly selected and using the pre-test-post-test plan, shooting score, and supraspinal nerve function. Using TMS, before and after 12 sessions of resistance training with SMR and Alpha, it was studied in five resistance, resistance-neurofeedback, neurofeedback, Sham, and control groups.

Results: Multiple variance analysis in the graphpadprism9 software showed that in intra-group changes, the shooting score in resistance-neurofeedback ($P<0.0001$), resistance ($P = 0.0229$), and neurofeedback ($P = 0.0241$) increased, and the amplitude decreased significantly in the resistance-neurofeedback ($P = 0.0115$), but latency increased only in resistance training ($P>0.05$). The follow-up test between groups in the post showed that the changes in the shooting score and the amplitude in the resistance-neurofeedback were not significantly different compared to other groups.

Conclusion: Considering the importance of muscle strength and brain functions regarding the proper performance of the shooter and according to the results of this research, it can be said that the use of training methods to strengthen muscles and improve the function of brain waves related to shooting skills, probably at the same time Strengthening the supraspinal nerve function improves part of the learning process and skill implementation in this field.

Keywords: Neurofeedback, Resistance Training, Cortical Excitability, Evoked Potential.

*Corresponding author: **Hamid Rajabi,** Email: hrajabi@khu.ac.ir

مجله طب نظامی
دوره ۲۵، شماره ۶، بهمن و اسفند ۱۴۰۲
صفحات: ۲۱۲۹-۲۱۲۰
10.30491/JMM.2023.1006539.1089

تاثیر یک دوره تمرین مقاومتی و نوروفیدبک بر امتیاز تیراندازی و عملکرد عصبی فوق نخاعی افراد مبتدی نظامی

احمدرضا یوسف‌پور دهاقانی[۱]، حمید رجبی[۲*]، لیدا مرادی[۱]، زهرا رضا سلطانی[۳]، داریوش الیاس‌پور[۴]

[۱] گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲] گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
[۳] گروه طب فیزیکی و توانبخشی، بیمارستان علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران
[۴] مرکز تحقیقات طب فیزیکی و توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: به‌کارگیری شیوه‌های نوین تمرینی ضمن توجه به فرآیندهای سازگاری آن به‌منظور ارتقاء یادگیری افراد مبتدی در مهارت‌های اجرایی مانند تیراندازی از موضوعات مورد توجه در پژوهش‌های اخیر است. هدف از پژوهش نیمه تجربی حاضر بررسی تاثیر یک دوره تمرین مقاومتی و نوروفیدبک بر بهبود مهارت تیراندازی و عملکرد عصبی افراد مبتدی نظامی بود.

روش‌ها: برای این منظور ضمن کنترل سلامت بالینی، کیفیت خواب و سلامت عمومی ۲۵ نفر (میانگین سن ۲۰ سال و وزن ۷۳/۸ کیلوگرم) به‌صورت تصادفی انتخاب و با بهره‌گیری از طرح پیش‌آزمون- پس‌آزمون، نمره تیراندازی و عملکرد عصبی فوق‌نخاعی به‌وسیله TMS، قبل و بعد از ۱۲ جلسه تمرین مقاومتی به همراه تقویت موج حسی حرکتی و تقویت موج آلفا، در پنج گروهِ مقاومتی، مقاومتی- نوروفیدبک، نوروفیدبک، نوروفیدبک غیر واقعی و کنترل، مورد مطالعه تحلیل واریانس چندگانه در نرم‌افزار GraphPad Prism قرار گرفت.

یافته‌ها: در تغییرات درون‌گروهی، امتیاز تیراندازی در گروه ترکیبیِ مقاومتی و نوروفیدبک ($P<۰/۰۰۰۱$)، گروه مقاومتی ($P = ۰/۰۲۲۹$) و گروه نوروفیدبک ($P = ۰/۰۲۴۱$) افزایش و دامنه تحریک‌پذیری عصبی در گروه مقاومتی و نوروفیدبک کاهش معناداری داشته است ($P = ۰/۰۱۱۵$)، اما میزان سرعت هدایت عصبی صرفا در گروه تمرینات مقاومتی افزایش معنادار داشت ($P<۰/۰۵$). آزمون تعقیبی بین‌گروهی در پس‌آزمون نشان داد تغییرات امتیاز تیراندازی و دامنه تحریک‌پذیری در گروه مقاومتی- نوروفیدبک نسبت به سایر گروه‌ها تفاوت معنادار ندارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اهمیت قدرت عضلانی و کارکردهای مغز در خصوص عملکرد مناسب فرد تیرانداز و با توجه به نتایج درون‌گروهی این پژوهش می‌توان گفت به‌کارگیری شیوه‌های تمرینی تقویت عضلات و بهبود عملکرد امواج مغز مرتبط با مهارت تیراندازی، احتمالاً ضمن تقویت عملکرد عصبی فوق نخاعی، بخشی از فرآیند یادگیری و اجرای مهارت در این رشته را بهبود می‌بخشد.

کلیدواژه‌ها: نوروفیدبک، تمرینات مقاومتی، تحریک‌پذیری قشری، پتانسیل برانگیخته.

*نویسنده مسئول: **حمید رجبی.** پست الکترونیک: hrajabi@khu.ac.ir
دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۶

مقدمه

در دهه‌های اخیر به دنبال توسعه روش‌های تمرینی و با توجه به کنترل و تعدیل دستگاه‌های بدن به وسیله سیستم عصبی، استفاده از روش‌های بایوفیدبک، به منظور کنترل عصبی و نهایتاً بهبود عملکرد دستگاه‌های بدن، مورد توجه محققین، مربیان و ورزشکاران قرار گرفته است. در این میان استفاده از تمرینات نوروفیدبک یا همان بایوفیدبک عصبی، در حوزه‌های درمانی، توانبخشی و بهبود عملکرد ورزشی به دنبال ارتقاء عملکرد مغز (آماده‌سازی مغز)، گسترش چشمگیری داشته است. در همین راستا تحقیقات بسیاری (در حوزه علوم اعصاب، روانشناسی و رفتار حرکتی)، تاثیر مثبت این تمرینات بر بهبود عملکردهای یاد شده را گزارش کرده‌اند (۱).

تمرین نورو فیدبک به افراد، اطلاعات واقعی در مورد میزان فعالیت قشر مغزی را از طریق صداها یا نمایشگرهای بصری ارائه می‌دهد. در این تمرینات، امواج مغزی با استفاده از الکترودهایی ضبط می‌شوند که به احتمال زیاد سیگنال‌هایی را از مناطق مرتبط با مغز جمع می‌کنند (۲). تجزیه و تحلیل سیگنال‌های مغزی به شرکت‌کنندگان پاداش می‌دهد تا آن‌ها را به افزایش یا کاهش قدرت در باند فرکانس هدف هدایت کند. با این کار، افراد قادر به تغییر و تقویت (یا کاهش) قدرت باندهای فرکانس خاص در سیگنال الکتروانسفالوگرافی خود هستند. امواج ثبت شده توسط دستگاه الکتروانسفالوگرافی بر اساس دامنه و طول موج انواع مختلف با ویژگی‌های منحصر به فرد تقسیم‌بندی می‌شود. این امواج شامل موج دلتا، موج تتا، موج آلفا، موج حسی حرکتی (SMR)، موج بتا، موج بتای بالا و موج گاما می‌باشند که هرکدام دارای ویژگی‌ها و مسئول عملکردهای مختلف در سطوح مغز می‌باشند. همه بخش‌های مختلف مغز همه فرکانس‌های مذکور را نشان می‌دهد و نکته حائز اهمیت این است که عملکرد هرکدام از امواج مغزی وابسته به محلی هستند که در مغز متمرکز شده و موجب عملکرد مناسب بالاخص عملکردهای ورزشی می‌شوند (۳). در تایید این موضوع، اثرات مفیدی از آموزش نوروفیدبک در عملکرد اهداف پرتابی مانند پرتاب دارت (۴)، پرتاب تیر به وسیله کمان (۵) و تیراندازی با تفنگ نیز گزارش شده است (۶). این محققان ضمن توجه به اهداف تمرین با انتخاب ناحیه صحیح مغز، پروتکل تمرین، مدت زمان مداخله و تعداد جلسات تمرین، به بررسی تاثیر این تمرینات بر عملکرد تیراندازی پرداخته اند. Liu و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تمرینات نوروفیدبک مبتنی بر افزایش نسبت بتا/ تتا در عملکرد ۶ تیرانداز نخبه، افزایش امتیاز تیراندازی ایشان را پس از شش جلسه ۳۰ دقیقه‌ای تمرینات نوروفیدبک گزارش کردند (۶). در مطالعه Fronso و همکاران (۲۰۱۶)، میزان باند آلفای پایین (۸–۱۰ هرتز)، آلفای بالاتر (۱۲–۱۰ هرتز)، بتا (۲۴–۱۶ هرتز) و تتا (۸–۴ هرتز)، برای شناسایی مارکرهای عصبی مرتبط با عملکرد مطلوب و غیر مطلوب در تیراندازان تپانچه بادی تجزیه و تحلیل شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که عملکرد ایده‌آل تیراندازان، با افزایش باند آلفای پایین (که با حالت‌های آرامش همراه بود)، رخ داده است (۷). حاتمی و همکاران نیز از پروتکل کاهش تتا در نقاط F۴ و FZ و افزایش آلفای پایین و بالا در نقاط P۳ و P۷ استفاده کردند و نشان دادند که پس از تمرینات نوروفیدبک نمره شلیک بهبود یافته است (۸). همچنین در مطالعات دیگر نشان داده شده است که ضمن مهار تتا، با افزایش بتا–۱ و دامنه موج حسی حرکتی در تیراندازان تپانچه، فعالیت‌های عضلات نامرتبط به هنگام شلیک کاهش یافته و در نتیجه ضمن بهبود عملکرد روان–حرکتی (psychomotor)، تیراندازان عملکرد بهتری داشته‌اند (۹،۱۰). در همین راستا، محمدی و همکاران تاثیر ۲۰ جلسه ۳۰ دقیقه‌ای تمرینات نوروفیدبک، با استفاده از پروتکل‌های تقویت موج آلفا در ناحیه T3 و تقویت آلفا و سرکوب تتا در ناحیه پس سری میانی (Pz) را بر عملکرد ۸ نفر تیرانداز بررسی و گزارش کردند که تمرینات نوروفیدبک با تثبیت فعالیت مغزی کم‌فرکانس می‌تواند برای بهبود عملکرد تیراندازی با اسلحه مفید باشد (۱۱). رستمی و همکاران نیز اثر این تمرینات نورو را بر روی تیراندازان نخبه تفنگ بررسی کردند. آن‌ها از دو پروتکل افزایش ریتم حسی–حرکتی همزمان با مهار بتا بالا (۳۰–۲۰ هرتز) و دیگری شامل تمرین متقاطع نسبت آلفا (۱۲–۸ هرتز) و تتا (۸–۴ هرتز) با سرکوب بتا بالا استفاده و نشان دادند که تیراندازانی که تحت تمرینات نوروفیدبک قرار گرفتند پس از پانزده جلسه تمرین در مقایسه با گروه کنترل بهبود قابل توجهی در عملکرد داشته‌اند (۱۲). با این حال این مطالعات غالباً به بررسی افزایش عملکرد بر اساس تغییر در شاخص‌های رفتاری و نهایتا تغییر در فعالیت امواج الکتروانسفالوگرافی به دنبال مداخلات نوروفیدبک متمرکز بوده‌اند تا سازگاری‌ها و ویژگی‌های فیزیولوژیکی دستگاه عصبی (۱۳).

به دنبال توسعه تکنیک‌های آزمایشگاهی جدید و غیر تهاجمی نظیر تحریک مغناطیسی جمجمه‌ای (transcranial magneticstimulation)، جنبه‌های کمتر شناخته شده دستگاه عصبی در پاسخ به انواع مختلف پروتکل‌های تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفتند. نتایج پژوهش‌های متعدد این حوزه نشان داده است که تحریک‌پذیری سلول‌های عصبیِ مسیر قشری– نخاعی و همچنین تحریک‌پذیری موتونورون‌های نخاعی، نقش مهمی در کیفیت (مهاری یا تحریکی) برونداد سیستم عصبی به عضلات هدف دارند (۱۴)، تحریک‌پذیری سلول‌های قشری نخاعی از شاخص‌های کیفی برآورد عملکرد دستگاه عصبی مرکزی در انواع مختلف فعالیت بدنی هستند که برای اندازه‌گیری آن از پتانسیل برانگیختهٔ حرکتی (potential motor evoked) به روش تحریک مغناطیسی جمجمه‌ای استفاده می‌شود. پتانسیل برانگیختهٔ حرکتی یک پتانسیل الکتریکی است که به دنبال تحریک مغناطیسی قشر حرکتی مخ، در نقطه مقصد (نخاع/عضله) ایجاد شده و قابل ثبت است. از ویژگی‌های پتانسیل برانگیختهٔ حرکتی،

مشاهده و بررسی تغییرات ایجاد شده در تحریک‌پذیری قشری–نخاعی، از جمله دامنه (amplitude) تحریک‌پذیری و سرعت هدایت عصبی (latency) است (۱۵). سرعت هدایت عصبی مدت زمانی که در آن سیگنال‌های عصبی از قشر حرکتی به نخاع و عضله منتشر می‌شوند و دامنه تحریک‌پذیری، میزان تحریک‌پذیری قشر یا تعداد نرون‌هایی که به تحریک عصبی پاسخ مناسب داده‌اند را نمایش می‌دهند (۱۶). با توجه به تمرین‌پذیری سطوح قشر حرکتی مغز به‌وسیله تمرینات نوروفیدبک و اشتراک قشر مغز در تاثیرپذیری از تمرینات مقاومتی و نوروفیدبک، سعی شد تا در این پژوهش ضمن بررسی عوامل فیزیولوژیک عصبی فوق‌نخاعیِ موثر در یادگیری و بهبود اجرای مهارت، عملکرد این عوامل و نیز امتیاز تیراندازی به دنبال تمرینات مقاومتی و نوروفیدبک در افراد مبتدی نظامی بررسی شود.

روش‌ها

جامعه آماری پژوهش حاضر شامل افراد یک مرکز آموزشی نظامی در شهر تهران بودند، که در شرایطی تقریبا یکسان (از نظر میزان فعالیت جسمانی، میزان خواب و تغذیه) با میانگین سن ۲۰ (±۲) سال و میانگین قد ۱۸۲ (±۵) سانتی‌متر و میانگین وزن ۷۳/۸ (±۵) کیلوگرم، ضمن عدم سابقه مصرف دارو و یا ابتلا به بیماری‌های عصبی و روانی در سال تحصیلی ۱۴۰۰–۱۳۹۹ در گرایش‌های مختلف در حال گذراندن دوره آموزش نظامی بودند. از میان گروهان‌های این مرکز آموزشی یک گروهان به روش خوشه‌ای تصادفی انتخاب و از میان آن‌ها ۲۵ نفر ضمن بررسی شرایط ورود به‌وسیله پرسشنامه‌های سابقه پزشکی ورزشی، کیفیت خواب پتزبورگ (pittsburgh sleep quality index) و پرسشنامه سطح سلامت عمومی (general health questionnaire)، با میانگین امتیاز سطح سلامت عمومی ۱۲ (±۳) و امتیاز کیفیت خواب ۳ (±۲)، به روش تصادفی به عنوان آزمودنی انتخاب شدند. پس از کسب رضایت‌نامه و توضیح اهداف و پروتکل اجرای پژوهش و اعلام محرمانه ماندن مشخصات، آزمودنی‌ها به صورت تصادفی و مساوی در گروه‌های تمرین مقاومتی، تمرین مقاومتی و نوروفیدبک، تمرین نوروفیدبک، تمرین نوروفیدبک غیرواقعی (sham) و کنترل تقسیم‌بندی شدند.

برای اندازه‌گیری نمره تیراندازی در وضعیت نشسته با اسلحه تفنگ از آزمون محقق ساخته ۱۰ تیر (در فاصله ۱۰ متری)، که میزان روایی آن در مقایسه با آزمون استاندارد ۶۰ تیر محاسبه گردید (r = ۰/۹۴) استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان پارامترهای مرتبط با MEP عضلات دوسر بازویی، از دستگاه محرک مغناطیسی مگ‌استیم (magstim) و سیم‌پیچ دایره‌ای با قطر ۸ سانتی‌متر، در آزمایشگاه و مرکز توان‌بخشی اعصاب و روان بیمارستان شهدای تجریش در تهران استفاده شد. برای ثبت پاسخ کورتیکال، سیم‌پیچ به صورت مماس و ۷ سانتی‌متر خارج از نقطه مرکزی (CZ) نیمکره راست سر قرار گرفت و ۵–۶ تحریک داده شد تا کوتاه‌ترین پاسخ تاخیری و بلندترین دامنه تحریک ثبت شده به وسیله الکترودهای سطحی در ناحیه عضله دوسر بازویی در دست سمت مخالف افراد مشخص شود. این پاسخ، زمان کل هدایت موتور را نشان می‌دهد. سپس سیم‌پیچ روی زائده خاری مهره C7 به صورت مماس قرار گرفت و با همان تکنیک قبلی، پاسخ مناسب در عضله ثبت شد (این پاسخ زمان هدایت محیطی با استفاده از تحریک مغناطیسی ریشه نخاعی C8 را نشان می‌دهد). با کم کردن زمان هدایت محیطی از زمان پاسخ کل هدایت موتور، میزان زمان هدایت مرکزی فوق نخاعی به دست آمد.

در ابتدای پژوهش به منظور ارزیابی قدرت و طراحی تمرینات مقاومتی،یک تکرار بیشینه (One-Rep Max) آزمودنی‌ها، به روش آزمون و خطا، در حرکت جلو بازو (روی میز لاری) و نیز حداکثر تعداد تکرار بیشینه در حرکت بارفیکس هر آزمودنی اندازه‌گیری شد. پس از آشنایی آزمودنی‌ها با نحوه اجرای پروتکل‌های تمرینات و نحوه اندازه‌گیری، متغیرهای وابسته اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از آن گروه‌های آزمون به مدت ۴ هفته در تمرینات مقاومتی تقویت عضلات کمربند شانه‌ای و بازو (با توجه به وضعیت تیراندازی در حالت نشسته و کنترل عدم تقویت سایر نواحی کورتکس حرکتی مغز به دنبال عدم تقویت سایر عضلات) و نیز تمرینات نوروفیدبک طبق پروتکل مشخص شده در ناحیه C4 و F3 شرکت کردند. در انتهای دوره مداخلات، تمامی مراحل ثبت متغیرهای وابسته در گروه‌های تحقیق تکرار شد.

دستگاه نوروفیدبک مورد استفاده در این پژوهش ساخت شرکت ایرانی، با پشتیبانی نرم‌افزار بایولاین ۶ بود. در طی تمرین نوروفیدبک ابتدا لاله گوش‌ها و پوست سر در نواحی C4، CZ و F3 مغزی توسط آزمون‌گر با الکل طبی تمیز شده و الکترودها به گوش راست و نواحی مغزی با استفاده از چسب ده– بیست متصل و ثبت امواج مغزی با استفاده از آمپلی‌فایر و نرم افزار از سطح مغز به صورت مداوم صورت گرفت. طبق نتایج بررسی‌های عملکرد امواج مغزی در افراد حرفه‌ای تیرانداز نسبت به تقویت موج حسی–حرکتی و سرکوب موج بتا بالا در ناحیه C4 و تقویت موج آلفا در ناحیه F3 اقدام شد.

برنامه تمرین مقاومتی به منظور تقویت عضلات کمربند شانه‌ای برای افزایش قدرت حفظ و نگهداری سلاح و نیز عملیات تیراندازی و بر اساس توصیه‌های کالج آمریکایی پزشکی ورزشی (ACSM) طراحی و اصل اضافه بار براساس سیستم هرمی تکرار بر پایه درصد یک تکرار بیشینه اجرا شد. آزمودنی‌ها هر حرکت (مجموعا ۵ حرکت) را با ۳ دور و ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه، از هفته اول شروع کردند و به ۷۵ درصد یک تکرار بیشینه در هفته هشتم رسیدند. فاصله استراحت بین دورها ۶۰ تا ۹۰ ثانیه منظور شد. در هر جلسه تمرینی ۷ تا ۱۰ دقیقه گرم کردن و ۷ تا ۱۰ دقیقه سرد کردن با حرکات کششی و نرمشی منظور گردید (۲۶). برنامه تمرین

جدول-۱. برنامه تمرینات مقاومتی

حرکت	هدف	*حجم (تکرار × دور)	میزان شدت تمرین به‌ترتیب هفته اول تا چهارم (درصد 1RM)
جلوبازو تک دمبل روی میز لاری	تقویت عضلات دوسر و سه‌سر بازویی	۳ × ۱۲،۱۰،۸	۶۰ ، ۶۵ ، ۷۰ ، ۷۵
پرس هالتر نشسته	تقویت بخش میانی و جلوی عضله دلتوئید	۳ × ۱۲،۱۰،۸	۶۰ ، ۶۵ ، ۷۰ ، ۷۵
نشر از جانب	تقویت بخش میانی عضله دلتوئید	۳ × ۱۲،۱۰،۸	۶۰ ، ۶۵ ، ۷۰ ، ۷۵
نشر از جانب در حالت نشسته	تقویت بخش پشتی عضلات دلتوئید و ذوذنقه	۳ × ۱۲،۱۰،۸	۶۰ ، ۶۵ ، ۷۰ ، ۷۵
پرس سینه هالتر خوابیده	تقویت عضلات سینه	۳ × ۱۲،۱۰،۸	۶۰ ، ۶۵ ، ۷۰ ، ۷۵

*حجم = تعداد تکرار حرکت در هر دور. دور اول ۱۲ تکرار؛ دور دوم و سوم، به ترتیب ۱۰ و ۸ تکرار.

مقاومتی، پس از انجام تمرینات کششی و گرم کردن، تقویت کمربند شانه‌ای و بازو، شامل اجرای حرکات جدول ۱ به مدت ۱۲ جلسه و ۳ جلسه در هفته تمرین، در روزهای غیرمتوالی بود.

در این پژوهش از برنامه تمرین SMR، شامل تقویت موج SMR و برنامه تمرین آلفا، به مدت ۱۲ جلسه و ۳ جلسه در هفته تمرین، در روزهای غیرمتوالی بود استفاده شد. به طوری‌که در هرجلسه ابتدا به مدت ۲۵ دقیقه موج SMR تقویت و موج بتا بالا در ناحیه C۴ سرکوب شد و در ادامه به مدت ۱۰ دقیقه نیز موج آلفا در ناحیه F۳ تقویت شد.

تمرینات در گروه مقاومتی، گروه نوروفیدبک و گروه نوروفیدبک غیرواقعی در طی بعدازظهر و با الگوی یک‌روز در میان (غیرمتوالی با فاصله ۴۸ ساعت) انجام شد وگروه تمرینات مقاومتی- نورفیدبک به صورت متوالی یک روز تمرین مقاومتی و روز بعد تمرین نوروفیدبک (با فاصله ۲۴ ساعت) به تمرین پرداختند. لازم به توضیح است گروه تمرینات نوروفیدبک غیرواقعی در طول تمرین هیچگونه بازخوردی از امواج مغزی خودشان نداشتند (به صورت ناآگاه) و درحالی که تمام مراحل الکترودگذاری برای ایشان انجام شد، تنها به تماشای امواج مغزی از پیش ضبط شده مشغول بودند. گروه کنترل نیز ضمن عدم شرکت در هرگونه تمرین کار با وزنه، به امورات روزانه خود می‌پرداختند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GraphPad Prism نسخه ۹ انجام شد. پس از تایید پیش‌فرض طبیعی بودن و همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلک، برای مقایسه عامل درون‌گروهی و بررسی تفاوت بین‌گروهی میانگین‌ها از آزمون تحلیل واریانس چندگانه با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. در صورت وجود تفاوت معنادار، از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. برای تمامی آزمون‌های آماری سطح معناداری $P<۰/۰۵$ در نظرگرفته شد.

ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش تمام اصول اخلاقی مرتبط، از جمله اخذ کد اخلاق از کمیته اخلاق پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی وزارت علوم تحقیقات و فناوری جمهوری اسلامی ایران با کد شناسایی IR.SSRI.REC.1400.1236، محرمانه بودن پرسشنامه‌ها، رضایت کتبی و آگاهانه شرکت‌کنندگان در پژوهش، رعایت پروتکل‌های بهداشتی ستاد ملی کرونا و اختیار خروج از پژوهش رعایت شده است.

نتایج

با توجه به اطلاعات به دست آمده از آزمون شاپیرو-ویلک مشخص شد که داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به متغیرهای وابسته، در پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از توزیع طبیعی برخوردار است ($P>۰/۰۵$). همچنین نزدیکی مقادیر میانگین، میانه و مد نشان داد که توزیع داده‌ها طبیعی است، لذا از آزمون‌های پارامتریک برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. نتایج آزمون تحلیل واریانس چندگانه نشان داد مداخلات انجام شده در گروه‌های تحقیق، ضمن افزایش میزان قدرت عضلات کمربند شانه‌ای، امتیاز تیراندازی و دامنه تحریک‌پذیری را در گروه تمرینات مقاومتی، گروه تمرینات نوروفیدبک و گروه تمرینات مقاومتی ونوروفیدبک به‌طور معنادار تغییر داده است ($P\leq۰/۰۵$). همچنین مداخلات تمرینی موجب تغییرات معنادار سرعت هدایت عصبی صرفاً در گروه تمرینات مقاومتی شده است (جدول ۲ و ۳). آزمون تعقیبی بین‌گروهی در پس‌آزمون نیز نشان داد تغییرات امتیاز تیراندازی و دامنه تحریک پذیری در گروه مقاومتی- نوروفیدبک، نسبت به گروه مقاومتی و گروه نوروفیدبک تفاوت معناداری نداشته است (جدول ۴).

جدول-۲. تغییرات متغیرها در گروه‌های پژوهش بعد از دوره تمرینی ($\alpha = ۰/۰۵$)

گروه	متغیر			
	امتیاز تیراندازی	قدرت عضلانی	دامنه تحریک پذیری	سرعت هدایت عصبی
مقاومتی	*۰/۰۲۲۹	*۰/۰۳۵۱	۰/۸۶۶۹	*۰/۰۲۴۷
مقاومتی و نوروفیدبک	*<۰/۰۰۰۱	*۰/۰۲۱۹	*۰/۰۱۱۵	۰/۱۲۶۰
نوروفیدبک	*۰/۰۲۴۱	۰/۶۵۲۲	۰/۹۳۸۲	۰/۰۸۳۷
نوروفیدبک غیرواقعی	۰/۷۶۳۵	۰/۸۸۰۱	> ۰/۹۹۹۹	> ۰/۹۹۹۹
کنترل	۰/۹۹۳۲	۰/۸۰۶۰	> ۰/۹۹۹۹	۰/۷۳۲۹

*معنادار بودن اختلاف میانگین

جدول-۳. نتایج تحلیل واریانس چندگانه در متغیرهای معیار گروه تمرینات نوروفیدبک و مقاومتی (α = ۰/۰۵)

متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	مقدار *P*
امتیاز تیراندازی	۱۹۵	۴	۴۸/۷۶	F (۴،۱۶) = ۵/۷۲۲	*۰/۰۰۴۷
قدرت عضلانی	۳۹۴	۴	۹۸/۵	F (۴،۱۶) = ۶/۸۱۴	*۰/۰۰۵۱
دامنه تحریک‌پذیری	۰/۴۰۷۵	۴	۱۰/۱۹	F (۴،۱۶) = ۳/۷۶۷	*۰/۰۳۲۹
سرعت هدایت عصبی	۷/۸۳۲	۴	۱/۹۵۸	F (۴،۱۶) = ۲/۸۳۲	*۰/۰۷۲۵

*معنادار بودن اختلاف میانگین

جدول-۴. نتایج آزمون پیگیری تغییرات بین‌گروهی متغیرهای وابسته گروه‌های پژوهش در پس‌آزمون

گروه i	گروه ii	متغیر			
		امتیاز تیراندازی	قدرت عضلانی	دامنه تحریک‌پذیری	سرعت هدایت عصبی
مقاومتی- نوروفیدبک	مقاومتی	۰/۰۰۰۴	۰/۷۱۵۴	۰/۳۱۸۷	>۰/۹۹۹۹
	نوروفیدبک	۰/۸۹۶۴	۰/۹۲۳۶	۰/۲۳۸۰	۰/۶۶۲۸
	نوروفیدبک غیرواقعی	<۰/۰۰۰۱	*۰/۰۰۲۱	*۰/۰۱۰۵	۰/۹۷۵۱
	کنترل	۰/۰۰۰۳	*۰/۰۰۰۱	*۰/۰۱۱۵	۰/۹۶۴۴
مقاومتی	نوروفیدبک	۰/۰۰۵۲	۰/۶۹۷۰	>۰/۹۹۹۹	۰/۸۹۱۲
	نوروفیدبک غیرواقعی	<۰/۰۰۰۱	*۰/۰۱۱۱	۰/۵۰۱۰	۰/۸۳۸۱
	کنترل	<۰/۰۰۰۱	*۰/۰۱۲۳	۰/۵۲۹۹	۰/۹۹۹۹
نوروفیدبک	نوروفیدبک غیرواقعی	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۵۳۲	۰/۶۰۷۰	۰/۱۷۳۵
	کنترل	<۰/۰۰۰۱	۰/۷۲۴۰	۰/۶۵۰۶	۰/۹۹۸۳
نوروفیدبک غیرواقعی	کنترل	۰/۱۰۳۵	۰/۶۷۰۷	>۰/۹۹۹۹	۰/۴۶۵۰

*معنادار بودن اختلاف میانگین

بحث

مهارت تیراندازی به عنوان مهارتی ظریف و دقیق، علاوه‌بر بالا بودن سطوح آمادگی جسمانی و مهارتی (۱۷) مستلزم آرامش، دقت و تمرکز بالا در کنار سطوح پایین برانگیختگی عصبی، برای یک تیراندازی می‌باشد (۱۸). در حیطه جسمانی توانایی تثبیت اسلحه برای عملکرد موفق در تیراندازی تحت تأثیر دو عامل جابجایی مرکز فشار (center of pressure)، که از طریق زنجیره‌های جنبشی بدن به اسلحه می‌رسد (۱۹) و حرکات ناشی از لرزش عضلانی دانسته‌اند (۲۰). طبق نظر Pellegrini و Schena (۲۰۰۵) توانایی تثبیت اسلحه توسط ثبات دینامیک شانه و بازو تعیین می‌شود (۲۱) و گزارش شده است که تیراندازان می‌توانند با به حداقل رساندن لرزش عضلانی، اسلحه و مچ دست را بهتر تثبیت کنند (۲۲). همچنین نشان داده شده است که عملکرد تیراندازی ارتباط نزدیکی با قدرت مچ دست، عضلات دلتوئید (۲۰)، عضلات خم‌کننده کف دست (۲۳)، خم‌کننده انگشت و عضلات ثبات‌دهنده شانه (۲۴) دارد و از آنجا که تمرینات مقاومتی ضمن ایجاد قدرت مناسب در گروه های عضلانی مختلف، موجب بهبود ثبات، کنترل سلاح، هدف‌گیری و نهایتاً ارتقاء عملکرد تیراندازی می‌شود، منابع مختلف، تقویت گروه‌های عضلانی جهت بهبود عملکرد تیراندازی را توصیه نموده‌اند (۱۷،۲۵).

نتایج این تحقیق نشان داد پس از اتمام دوره مداخلات تمرینی در گروه‌های پژوهش، قدرت عضلانی کمربند شانه‌ای و امتیاز تیراندازی در گروه ترکیبیِ تمرین مقاومتی و نوروفیدبک و نیز گروه تمرین مقاومتی نسبت به دوره پیش‌آزمون بهبود یافته است. به لحاظ فیزیولوژیک اثر تمرینات مقاومتی بر عملکرد ورزشی به ویژه تیراندازی به دلیل افزایش قدرت و استقامت عضلانی، کاهش تنش عضلانی، هماهنگی عصبی عضلانی و بهبود عملکرد هورمونی، واحدهای حرکتی و سایر فرآیندهای تولید و انتقال نیرو در پژوهش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است (۲۶). احسان بخش (۱۳۹۶) تاثیر ۶ هفته تمرین آمادگی جسمانی نظامی بر نتایج تیراندازی ۴۰ سرباز را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که این تمرینات، تاثیر معنی‌داری در امتیاز تیراندازی داشته است (۲۷). از طرفی تحقیقات اولیه با استفاده از نوروفیدبک یافته‌های همسویی در بازیابی عملکرد (۲۸) مهارت تیراندازی با تپانچه (۲۹)، تیراندازی با کمان (۳۰) و سایر عملکردهای ورزشی داشته است.

در بررسی تطبیقی پژوهش حاضر، مبنی بر تاثیر تمرینات همزمان نوروفیدبک و قدرتی بر عملکرد تیراندازی، پژوهش مشابهی یافت نشد. با این حال یافته‌های این مطالعه در خصوص ارتقاء عملکرد تیراندازی در گروه نوروفیدبک، با نتایج تحقیقات Landers و همکاران (۱۹۹۱)، Paul و همکاران (۲۰۱۲)، اسکندر نژاد و همکاران (۲۰۱۷)، رستمی و همکاران (۲۰۱۲)، محمدی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تاثیر تمرینات نوروفیدبک (به تنهایی) بر عملکرد تیراندازی هم‌راستا بود (۵،۱۱،۱۲،۲۹،۳۰). همچنان‌که آرامش ذهنی، توجه، تمرکز و بار شناختی پایین، به عنوان خصوصیات عملکرد مغز تیراندازان نخبه به هنگام فعالیت تیراندازی ذکر شده است، آنچه در پژوهش‌های این محققین در خصوص بهبود عملکرد فرد تیرانداز مورد توجه است، کارکرد سطوح عالی مغز بهنگام تیراندازی است. در این خصوص محققین قدرت بالای

SMR و آلفای پایین در ناحیه پیشانی امواج مغزی تیراندازان نخبه را مرتبط با عملکرد بهینه ایشان می‌دانند. در این راستا Paul همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی که بر روی ۶ تیراندازان با کمان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که ۹ تمرینات نوروفیدبک به مدت ۱۲ جلسه، پارامترهای روانشناسی را تنظیم می‌کند که می‌تواند بر عملکرد، تأثیر مثبت بگذارد (۳۰). اسکندر نژاد و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر آموزش ۲۰ جلسه نوروفیدبک بر عملکرد امواج الکتروانسفالوگرافی و امتیاز پرتاب تیر ۴۵ تیروکمان‌کار حرفه‌ای را در سه گروه نوروفیدبک واقعی، گروه نوروفیدبک غیرواقعی و گروه کنترل، در طی ۲۰ جلسه نوروفیدبک شامل ۱۰ دقیقه آموزش تقویت موج آلفا در ناحیه T و ۲۰ دقیقه پروتکل آلفا- تتا در ناحیه پس‌سری (Pz) بررسی کردند و نشان دادند افزایش معنی‌دار میانگین رکوردها به همراه تغییر در قدرت موج آلفا ناحیه گیجگاهی چپ را در گروه نوروفیدبک واقعی در مقایسه با دیگر گروه‌ها اتفاق افتاده است (۵). از طرفی با توجه به کارکردهای عالی مغز در کنترل حرکتی توجه پژوهشگران به بهبود فرآیندهای صدور فرمان و کنترل جلب شده است. رایگانی و همکاران (۲۰۱۳) با در نظر گرفتن این موضوع که ریتم حسی- حرکتی می‌تواند در حین انجام یک تکلیف شناختی به عنوان کاندیدای ایده‌آل برای کاربردهای بازخورد عصبی باشد (۳۱) اثر تمرینات نوروفیدبک بر بهبود عملکرد حرکتی دست ۳۰ نفر از بیماران دچار ضایعه عصبی ناشی از سکته مغزی را بررسی کردند و نشان دادند ۱۰ جلسه تمرین تقویت موج ریتم حسی حرکتی تاثیر معناداری بر بهبود آزمون عملکرد حرکتی دست آزمودنی‌ها داشته است (۳۲). به اذعان پژوهشگران استراتژی هدف‌گیری موفق در تیراندازان نخبه عمدتاً مبتنی بر تعادل پایدار اسلحه، مخصوصا تعادل افقی سلاح است (۳۳،۳۴) به عبارت دیگر استراتژی هدف‌گیری موفق عمدتاً مبتنی بر کنترل و ثبات پایدار تفنگ به دنبال ثبات فعالیت قشری است.

نتایج پژوهش حاضر در خصوص بهبود عملکرد تیراندازی با نتایج محمدی و همکاران (۲۰۱۶) تطابق نداشت (۱۱). این پژوهشگران تأثیر یک دوره تمرینات نوروفیدبک بر قابلیت تشخیص خطا و عملکرد تیراندازان ماهر را بر روی دو گروه ۸ نفری از تیراندازان بررسی کردند. هر دو گروه در ۲۰ جلسه ۹۰ دقیقه‌ای تمرین تیراندازی شرکت و گروه آزمایشی علاوه بر ۲۰ جلسه تمرین تیراندازی در ۲۰ جلسه ۳۰ دقیقه‌ای تمرین نوروفیدبک، شامل ۱۰ دقیقه تقویت موج آلفا در ناحیه T_3، و بیست دقیقه پروتکل آلفا/ تتا (تقویت موج آلفا و سرکوب تتا) در ناحیه پس‌سری شرکت کرده بودند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد هرچند در هر دوگروه عملکرد تیراندازی ارتقاء پیدا کرده بود ولی بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. از جمله علل عدم تناقض در یافته‌های پژوهش ایشان با یافته‌های این تحقیق می‌توان به سطح توانمندی تیراندازن و انتخاب پروتکل تمرینی و تفاوت در مدت زمان و نوع پروتکل نوروفیدبک آموزش داده شده اشاره کرد. همچنان که Landers و همکاران (۱۹۹۱) بیان داشتند که استفاده از پروتکل صحیح در محل مناسب می‌تواند بهبود اجرای افراد را به دنبال داشته باشد (۲۹).

محققین برای بررسی عملکرد عصبی فوق نخاعی از روش‌های تحریک مغناطیسی فراجمجمه‌ای و یا تحریک انقباض با تحریک الکتریکی اضافی (Super-imposed twitch) استفاده می‌کنند (۳۵). دامنه برانگیختگی شدیداً تحت تاثیر مستقیم عوامل مداخله‌گر تمرینی قرار می‌گیرد. در این پژوهش ضمن تلاش برای کنترل سایر موارد مداخله‌گر، دامنه برانگیختگی تحریک، قبل و بعد از مداخلات تمرینی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد پس از طی دوره مداخلات تمرینی در گروه‌های تحقیق، دامنه تحریک‌پذیری در گروه تمرینات مقاومتی و تمرینات نوروفیدبک (P = ۰۱۱۵) به طور معناداری کاهش یافته است.

مطالعات محققین در حوزه ارتقاء عملکرد مغز به دنبال تمرینات ورزشی نشان می‌دهد که مغز فرد ورزشکار حرفه‌ای برای آماده سازی و اجرای یک مهارت حرکتی، نسبت به مغز ورزشکار مبتدی، به مراتب به طور کارآمدتری سازماندهی شده، بنابراین به منابع کمتری برای فرمان و کنترل حرکت نیاز دارد (۳۶). چراکه فرد تمرین‌کرده ضمن سرکوب فرآیندهای شناختی غیرمرتبط برای کار حرکتی، خودکارسازی را افزایش و تلاش شناختی کمتری به اجرای حرکتی اختصاص می‌دهد (۹). به عبارت دیگر پس از تمرین حرکتی، پردازش مغز با تلاش شناختی کمتر و فعال‌سازی کمتر (یا بیشتر جانبی) نواحی قشری اختصاص داده شده به فعالیت حرکتی، اقتصادی می‌شود (۳۷). از طرفی به خوبی شناخته شده است که مداخلات یا تمرینات مختلف می توانند آستانه تحریک عصبی را کاهش و متعاقب آن عملکرد بهبود یابد (۳۸). مطالعات قبلی ضمن بررسی تغییرات الکتروفیزیولوژیکی (EEG و TMS) و خون‌رسانی به مغز (FMRI)، به روشی غیرمستقیم به این موضوع پرداخته‌اند و مفهوم اقتصاد در فعالیت مغز ورزشکار را به دنبال سازگاری عصبی گسترش داده‌اند.

در مطالعات سازگاری عصبی به دنبال تمرینات قدرتی، این فرضیه که سازگاری عصبی و نهایتا افزایش قدرت به دنبال تمرینات قدرتی، ممکن است به دلیل تغییر در تحریک‌پذیری (و یا مهار) قشر نخاعی باشد، بررسی شده است. در این خصوص Kidgell و همکاران (۲۰۱۷) طی یک مرور مطالعاتی نشان دادند در شرکت‌کنندگان (تمرین نکرده)، پاسخ قشر نخاعی به تمرینات قدرتی به‌جای تغییر در تحریک‌پذیری قشر نخاعی، با کاهش بازداری داخل قشر و مدت دوره سکوت قشر مغز مشخص می‌شود (۳۸). این داده‌ها نشان می‌دهند که تمرینات قدرتی شبکه‌های بازدارنده داخل قشر را در قشر حرکتی اولیه (M1) و احتمالا مسیر قشر نخاعی هدف قرار می‌دهند که مشخصه سازگاری عصبی مهم با تمرینات قدرتی است. همچنین برخی محققین به شواهدی از احتمال تاثیر نوروفیدبک بر بهبود فرآیندهای حرکتی به دنبال انعطاف‌پذیری (Neuroplasticity) و ترمیم عصبی در بخش‌هایی

که مورد هدف تمرینات بوده است، دست پیدا کرده اند. Gong و همکاران (۲۰۲۰) طی شش جلسه تمرین تقویت موج آلفا در ناحیه T3 و T4 و نیز تقویت موج ریتم حسی حرکتی در ۴۵ نفر تیرانداز، عملکرد تیراندازی و فعالیت الکتروانسفالوگرافی در حالت استراحت ایشان را ارزیابی و نشان دادند که پس از تمرین، EEG در حالت استراحت به طور معنی‌داری تغییر کرد (۱۳). اسکندر نژاد و همکاران (۲۰۱۷) نیز به دنبال تأثیر آموزش نوروفیدبک بر عملکرد امواج الکتروانسفالوگرافی و امتیاز پرتاب تیر تیروکمان‌کاران مبتدی، ضمن افزایش معنی‌دار میانگین رکوردها نشان دادند که قدرت موج آلفا در ناحیه گیجگاهی چپ در گروه نوروفیدبک در مقایسه با دیگر گروه‌ها افزایش پیدا کرده است (۵). این محققین ضمن اشاره به فرآیند یادگیری و پردازش مغزی در افراد مبتدی و تلاش بیشتر فعالیت مغزی ایشان برای اجرای حرکتی، نسبت به افراد ماهر، افزایش قدرت موج آلفا در مغز افراد مبتدی به دنبال تمرینات نوروفیدبک را نشانه کاهش بار شناختی اضافی و فعالیت عصبی (در عقده‌های قاعده‌ای و سیستم لیمبیک) و نهایتاً اجرای بهتر حرکت، عنوان می‌کنند.

درخصوص سرعت هدایت عصبی قشری نخاعی می‌توان گفت از آنجا میزان سرعت هدایت عصبی با تعداد و چگالی نورون‌های نزولی آماده شلیک در قشر مغز و همچنین تعداد و حساسیت نورون‌های حرکتی نخاعی، نسبت معکوس دارد (۳۹)، انقباض ارادی منجر به تسهیل پتانسیل‌های برانگیخته حرکتی می‌شود که دامنه بیشتر، تأخیر شروع کوتاه‌تر و مدت طولانی پتانسیل الکترومیوگرافی ایجاد می‌کند. لذا سرعت هدایت عصبی در عضله آماده نسبت به حالت قبل، به دلیل کاهش مهار درون قشری بیشتر است (۴۰). نتایج پژوهش حاضر نشان داد، پس از طی دوره مداخلات تمرینی در گروه‌های تحقیق، هرچند سرعت هدایت عصبی در گروه تمرینات مقاومتی و نوروفیدبک تغییرات مثبت داشته است ولی این تغییرات از نظر آماری معنادار نبود. اما تغییرات مذکور در گروه مقاومتی تفاوت معناداری داشته است.

در خصوص تمرین‌پذیری سرعت هدایت عصبی و عدم تغییر معنادار سرعت هدایت عصبی در گروه نوروفیدبک و مقاومتی، می‌توان به محدودیت‌های تحقیق در تعداد آزمودنی و وجود تفاوت‌های فردی در مقادیر پایه ویژگی‌های عصبی افراد اشاره کرد. Nikolaidis و همکاران (۲۰۲۱) در خصوص ارتباط بین تفاوت‌های فردی در تمرین‌پذیری الگوهای فعالیت مغز در طی یادگیری، از طریق به چالش کشاندن حافظه کاری، توجه و کنترل حرکتی و بررسی اسکن‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی قبل و بعد از یک دوره یک بازی ویدیویی نشان دادند تفاوت‌های فردی، پیش‌بینی کننده تغییرات عملکردی در افراد است (۴۱). این یافته‌ها نشان می‌دهد که انعطاف‌پذیری ناشی از تمرین در نمایش عملکردی ممکن است در تفاوت‌های فردی در انتقال یادگیری نقش داشته باشد. این داده‌ها ادبیات قبلی بین تغییرات عملکرد قشری مرتبط با تمرین و نیز مطالعاتی که شبکه‌های عصبی پایه را بررسی کرده اند، پشتیبانی و گسترش می‌دهد.

محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش در دوره پاندمی کرونا انجام شد و به دلیل لزوم رعایت پروتکل‌های بهداشتی، امکان انتخاب تعداد نفرات آزمودنی بیشتر در گروه‌های آزمون وجود نداشت. عدم آگاهی از تفاوت شاخص‌های عصبی پایه افراد و نیز عدم امکان کنترل شرایط روانی و استرس افراد در طول دوره آموزشی از دیگر محدودیت‌های این پژوهش بود.

نتیجه‌گیری

آموزش، اجرا، پیدایش الگوهای عصبی، انتقال جایگاه‌های عصبی از سطوح بالا به پائین تر دستگاه عصبی، کاهش بار شناختی و عدم تقارن امواج مغزی، هماهنگی، کنترل شرایط روانی، همگی از مولفه‌های یادگیری برای افزایش دقت و ردیابی هدف در تیراندازی است که بر خلاف افراد مبتدی، در افراد نخبه با مهارت بالا تحقق یافته است.

در رابطه با تمرین و بهبود موارد فیزیولوژیک فوق، داده‌های ورودی از اعصاب آوران (حسی) عضلات، مراکز بالاتر در طراحی حرکات ارادی، عملکرد قشر حرکتی، برونداد‌های قشری نخاعی و تحریک پذیری نرون های حرکتی، از جمله جایگاه‌های احتمالی سازگاری به تمرین در سیستم عصبی مرکزی می باشند (۴۲). دامنه برانگیختگی شدیداً تحت تاثیر مستقیم عوامل مداخله‌گر تمرین قرار می‌گیرد. در این خصوص داده‌های قبلی در خصوص سازگاری عصبی به تمرین نشان می‌دهند که تمرینات قدرتی شبکه‌های بازدارنده و یا تسهیل‌گر داخل قشر را در قشر حرکتی اولیه (M1) و مسیر قشر نخاعی هدف قرار می‌دهند. مشاهدات فیزیولوژیکی همچون بررسی تعدیل امواج مغزی (EEG)، کاهش بار شناختی (فعالیت هسته های قاعده‌ای) و یا بهبود عملکرد خونرسانی به بخش های مختلف مغز مشخصه سازگاری عصبی مهم با تمرینات قدرتی، و نهایتا مصرف انژی کمتر برای عملکرد بیشتر توسط مغز، تحت عنوان اقتصاد عملکرد مغز است. از طرفی نشان داده شده است که تمرینات نوروفیدبک، با سازوکاری متفاوت در نحوه پاسخ به تمرین و متمرکز بر روی تقویت مستقیم عملکرد مغز، تعدیل‌های فیزیولژیکی مشابه و در سرعت بالاتری ایجاد می‌کند (۴۳). با توجه به تغییر معنی‌دار در برخی شاخص‌های عملکردی (تیراندازی) و فیزیولوزیکی (تحریک‌پذیری) بررسی شده در این تحقیق، می‌توان گفت که احتمالاً جایگاه سازگاری به تمرینات مقاومتی و نوروفیدبک (در این تحقیق)، در قشر حرکتی مغز و تغییرات عملکرد سلول‌های مغزی به دنبال انعطاف پذیری عصبی، تخصص یافتگی و بهبود بارشناختی و اقتصاد انرژی در نواحی مغزی بوده باشد. این درحالی است که به نظر تفاوت‌های فردی و مقادیر پایه شاخص‌های عملکرد عصبی فوق نخاعی در تمرین‌پذیری این شاخص‌ها موثر

است که در تحقیقات بعدی قابل بررسی است.

تشکر و قدردانی: این پژوهش حاصل رساله دکتری دانشگاه آزاد آسلامی واحد تهران شمال در رشته فیزیولوژی ورزشیِ عصبی عضلانی می‌باشد. بدینوسیله نویسندگان از تمام کسانی که در انجام این رساله یاری کردند تشکر می‌نمایند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- از آنجا که دوره‌های آموزش نظامی در شرایطی مانند بروز پاندمی‌ها و یا فرصت اندک آموزش جهت آماده‌سازی و انجام مأموریت، گاهاً دچار محدودیت زمانی می‌باشند و همچنین با توجه به تمرین پذیری مراکز یادگیری مغز به صورت ناخودآگاه در تمرینات نوروفیدبک و اثرات مضاعف مشاهده شده ترکیب این تمرینات با تمرینات جسمانی در این پژوهش، می‌توان از تمرینات نوروفیدبک در کنار سایر روش‌های تمرینی، برای سرعت‌بخشی و ارتقاء سطح یادگیری مهارت‌های نظامی استفاده کرد.

منابع

1. Xiang MQ, Hou XH, Liao BG, Liao JW, Hu M. The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: A meta-analysis. Psychology of Sport and Exercise. 2018;36:114-22. doi:10.1016/j.psychsport.2018.02.004
2. Colzato LS, Nitsche MA, Kibele A. Noninvasive brain stimulation and neural entrainment enhance athletic performance—a review. Journal of Cognitive Enhancement. 2017;1:73-9. doi:10.1007/s41465-016-0003-2
3. Lawrence JT. Neurofeedback and your brain: A beginner's manual. New York: Faculty, NYU medical center & brain research lab. 2002.
4. Norouzi E, Hosseini F, Vaez Mousavi MK. The Effect of Neurofeedback Training on Sport Performance Enhancement and Conscious Motor Processing in Skilled Dart Players. Journal of Sports and Motor Development and Learning. 2018;10(1):139-57. doi:10.22059/jmlm.2018.238453.1279
5. Eskandarnejad M, Abdoli B, Nazari MA. The effect of neurofeedback on elementary shooters performance: A double blind study. Research in Sport Science. 2011;5(6):57-74. [In Persian]
6. Liu Y, Harihara Subramaniam SC, Sourina O, Shah E, Chua J, Ivanov K. NeuroFeedback training for enhancement of the focused attention related to athletic performance in elite rifle shooters. Transactions on Computational Science XXXII: Special Issue on Cybersecurity and Biometrics. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2018. pp. 106-119. doi:10.1007/978-3-662-56672-5_8
7. Di Fronso S, Robazza C, Bortoli L, Comani S, Bertollo M. Neural markers of performance states in an olympic athlete: an EEG case study in air-pistol shooting. Journal of Sports Science & Medicine. 2016;15(2):214-22.
8. Pasbani H. The Effects of Skilled People's EEG-Based Neurofeedback Training on Learning the Air Rifle Shooting Skill in Novices. Learning. 2023;15(4):87-104. doi:10.22059/jsmdl.2023.360601.1733
9. Kerick SE, Douglass LW, Hatfield BD. Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2004;36(1):118-29. doi:10.1249/01.MSS.0000106176.31784.D4
10. Mikicin M. The autotelic involvement of attention induced by EEG neurofeedback training improves the performance of an athlete's mind. Biomedical Human Kinetics. 2015;7(1):58-65. doi:10.1515/bhk-2015-0010
11. Mohammadi M, Taheri HR, Sohrabi M. The effect of a course of neurofeedback training on error detection ability and performance of skilled shooters. Research Paper on Sports Management and Movement Behavior. 2016;12(23):27-38. [In Persian]
12. Rostami R, Sadeghi H, Karami KA, Abadi MN, Salamati P. The effects of neurofeedback on the improvement of rifle shooters' performance. Journal of Neurotherapy. 2012;16(4):264-9. doi:10.1080/10874208.2012.730388
13. Gong A, Nan W, Yin E, Jiang C, Fu Y. Efficacy, trainability, and neuroplasticity of SMR vs. alpha rhythm shooting performance neurofeedback training. Frontiers in Human Neuroscience. 2020;14:94. doi:10.3389/fnhum.2020.00094
14. McNeil CJ, Butler JE, Taylor JL, Gandevia SC. Testing the excitability of human motoneurons. Frontiers in Human Neuroscience. 2013;7:152. doi:10.3389/fnhum.2013.00152
15. Kreuzer P, Langguth B, Popp R, Raster R, Busch V, Frank E, et al. Reduced intra-cortical inhibition after sleep deprivation: a transcranial magnetic stimulation study. Neuroscience Letters. 2011;493(3):63-6. doi:10.1016/j.neulet.2011.02.044
16. Goodall S, Howatson G, Romer L, Ross E. Transcranial magnetic stimulation in sport science: a commentary. European Journal of Sport Science. 2014;14(sup1):S332-40. doi:10.1080/17461391.2012.704079
17. Vercruyssen M, Christina RW, Muller E. Relationship of strength and precision in shooting activities. Journal of Human Ergology. 1989;18(2):153-68. doi:10.11183/jhe1972.18.153
18. Scribner DR, Wiley PH, Harper WH. The effect of continuous operations and various secondary task displays on soldier shooting performance. Army research lab Aberdeen proving ground. 2007.
19. Lakie M. The influence of muscle tremor on

shooting performance. Experimental Physiology. 2010;95(3):441-50. doi:10.1113/expphysiol.2009.047555
20. Anderson GS, Plecas DB. Predicting shooting scores from physical performance data. Policing: An International Journal of Police Strategies & Management. 2000;23(4):525-37. doi:10.1108/13639510010355611
21. Pellegrini B, Schena F. Characterization of arm-gun movement during air pistol aiming phase. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2005;45(4):467.
22. Hawkins R. Identifying mechanic measures that best predict air-pistol shooting performance. International Journal of Performance Analysis in Sport. 2011;11(3):499-509. doi:10.1080/24748668.2011.11868568
23. Mon D, Zakynthinaki MS, Cordente CA, Antón AJ, Rodríguez BR, Jiménez DL. Finger flexor force influences performance in senior male air pistol olympic shooting. PloS One. 2015;10(6):e0129862.
24. Reinkemeier H, Bühlmann G. Pistol Shooting-the Olympic Disciplines: Technique, Training, Tactics, Psychology, Guns. Verlag MEC; 2013.
25. Krasilshchikov O, Zuraidee E, Singh R. Effect of general and auxiliary conditioning on specific fitness of young pistol and rifle shooters. Asian Journal of Exercise & Sports Science. 2007;4(1).
26. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2004;36(4):674-88. doi:10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61
27. Ehsanbakhsh H. The effect of physical fitness exercises on improving the shooting performance of military personnel (Case study: One of the army ranger units). Military Science and Tactics. 2018; 13(42):169-84. [In Persian]
28. Gruzelier JH. EEG-neurofeedback for optimising performance. I: A review of cognitive and affective outcome in healthy participants. Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2014; 44:124-41. doi:10.1016/j.neubiorev.2013.09.015
29. Landers DM, Petruzzello SJ, Salazar W, Crews DJ, Kubitz KA, Gannon TL, et al. The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1991;23(1):123-9.
30. Paul M, Ganesan S, Sandhu J, Simon J. Effect of sensory motor rhythm neurofeedback on psycho-physiological, electro-encephalographic measures and performance of archery players. Ibnosina Journal of Medicine and Biomedical Sciences. 2012; 4(02):32-9. doi:10.4103/1947-489X.210753
31. Rayegani SM, Raeissadat SA, Sedighipour L, Mohammad Rezazadeh I, Bahrami MH, Eliaspour D, et al. Effect of neurofeedback and electromyographic -biofeedback therapy on improving hand function in stroke patients. Topics in Stroke Rehabilitation. 2014;21(2):137-51. doi:10.1310/tsr2102-137
32. Kanna S, Heng J. Quantitative EEG parameters for monitoring and biofeedback during rehabilitation after stroke. In 2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, IEEE. 2009, pp. 1689-1694. doi:10.1109/AIM.2009.5229832
33. Spancken S, Steingrebe H, Stein T. Factors that influence performance in Olympic air-rifle and small-bore shooting: A systematic review. PLoS One. 2021;16(3):e0247353. doi:10.1371/journal.pone.0247353
34. Konttinen N, Landers DM, Lyytinen H. Aiming routines and their electrocortical concomitants among competitive rifle shooters. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2000; 10(3):169-77. doi:10.1034/j.1600-0838.2000.010003169.x
35. Saldanha A, Nordlund Ekblom MM, Thorstensson A. Central fatigue affects plantar flexor strength after prolonged running. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2008;18(3):383-8. doi:10.1111/j.1600-0838.2007.00721.x
36. Di Russo FR, Pitzalis S, Aprile T, Spinelli DO. Effect of practice on brain activity: an investigation in top-level rifle shooters. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2005;37(9):1586.
37. Hatfield BD, Hillman CH. The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance. Handbook of Sport Psychology. 2001;2:362-86.
38. Kidgell DJ, Bonanno DR, Frazer AK, Howatson G, Pearce AJ. Corticospinal responses following strength training: a systematic review and meta-analysis. European Journal of Neuroscience. 2017; 46(11):2648-61. doi:10.1111/ejn.13710
39. Rothwell JC, Hallett M, Berardelli A, Eisen A, Rossini P, Paulus W. Magnetic stimulation: motor evoked potentials. The International Federation of Clinical Neurophysiology. Electroencephalography and clinical neurophysiology. Supplement. 1999;52: 97-103.
40. Fulton RC, Strutton PH, McGregor AH, Davey NJ. Fatigue-induced change in corticospinal drive to back muscles in elite rowers. Experimental Physiology. 2002;87(5):593-600. doi:10.1113/eph8702409
41. Nikolaidis A, Voss MW, Lee H, Vo LT, Kramer AF. Parietal plasticity after training with a complex video game is associated with individual differences in improvements in an untrained working memory task. Frontiers in Human Neuroscience. 2014;8:169. doi:10.3389/fnhum.2014.00169
42. Taylor JL, Todd G, Gandevia SC. Evidence for a supraspinal contribution to human muscle fatigue. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology. 2006;33(4):400-5. doi:10.1111/j.1440-1681.2006.04363.x
43. Da Silva JC, De Souza ML. Neurofeedback training for cognitive performance improvement in healthy subjects: A systematic review. Psychology & Neuroscience. 2021;14(3):262-79. doi:10.1037/pne0000261