University of Tehran Press

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

The Effects of Skilled People's EEG-Based Neurofeedback Training on Learning the Air Rifle Shooting Skill in Novices

Farzaneh Hatami[1]✉ , Farshid Tahmasbi[2], Hedieh Pasbani[3]

1. Corresponding Author, Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran. E-mail: fhatami2010@gmail.com
2. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran. E-mail: farshidtahmasbi@yahoo.com
3. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran. E-mail: hediyepasebani@yahoo.com

Article Info

Article type: Research

Article history:
Received:
10 June 2023
Received in revised form:
5 September 2023
Accepted:
5 September 2023
Published online :
22 December 2023

Keywords:
Air rifle shooting,
Brain map,
Electroencephalography,
Expertise,
Neurofeedback.

ABSTRACT

Introduction: This study aimed to determine the effects of skilled people's EEG-Based neurofeedback training on learning of the rifle shooting skills in novices.

Methods: This applied study was a semi-experimental research with a pretest-posttest control group design. Thirty novice athletes (mean age: 20±1.509 years) voluntarily participated in this study and were assigned into three homogenous groups including Beta/Theta Neurofeedback, Neurofeedback based on the brain pattern of skilled rifle shooters (decreasing the Theta activity in Fz and F4 area, and increasing the low and high Alpha at the P3 and P7 area, and Control groups according to pretest scores. The acquisition phase consisted of 6 sessions. The control group only did physical exercise during the sessions. 48 hours after the last acquisition session, a retention test was conducted followed by a transfer test by a non-dominant hand to grab the weapon.

Results: The results showed that the group with neurofeedback based on the brain patterns of skilled rifle shooters was significantly better than the other two groups in all sessions. In the retention test the group with neurofeedback based on the brain patterns of skilled rifle shooters significantly performed better than the other two groups and the Beta/Theta Neurofeedback group had better performance compared with the Control group. In the transfer test, both neurofeedback groups performed better than the Control group, but there was no significant difference between the two neurofeedback groups.

Conclusion: Future research can accelerate the progress and reach the peak shooting performance for novices by correcting neurofeedback protocols according to the brain and the expertise relationship.

Cite this article: Hatami, F., Tahmasbi, F., & Pasbani, H. (2023). The Effects of Skilled People's EEG-Based Neurofeedback Training on Learning the Air Rifle Shooting Skill in Novices. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*. 15(4),87-104.
DOI: http//doi.org/10.22059/jsmdl.2023.360601.1733

Journal of Sports and Motor Development and Learning by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0| web site: https://jsmdl.ut.ac.ir/ | Email: jsmdl@ut.ac.ir.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

University of Tehran Press

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

Extended Abstract

Introduction

Improving sports performance, as one of the basic topics, has been the focus of motor behavior researchers. Stabilizing and improving sports performance requires the use of self-regulation skills in athletes. Neurofeedback or brain-wave biofeedback teaches you to consciously control your brain waves to achieve the desired brainwave state. The ability to quickly acquire and reach a high level of proficiency in sports is one of the challenges that sports researchers and trainers encounter. Optimizing performance is a long process, and novice athletes spend a lot of time reaching high levels of proficiency. The goal of motor behavior researchers is to develop and modify training methods so that they can shorten the training period and equip learners with skills to perform under pressure. These techniques include teaching novices to develop cortical activity patterns consistent with expert athletes. Theoretically, the logic of such training is that this training can accelerate the learning process through direct reinforcement of neural patterns, a process that naturally may take many years, hence the study of the pattern of cortical activity in successful performances vs unsuccessful performances as well as expert vs novice athletes could provide a basis for new neurofeedback interventions. Recent studies have shown the effectiveness of neurofeedback in various fields, including clinical and sports psychology, and specifically, sports performance improvement (Mirifar, Beckman, and Erlenspear, 2017). On the other hand, accelerating the process of learning motor skills is one of the main goals of athletes and sports coaches. it seems logical that the use of new training methods such as neurofeedback based on the electroencephalography pattern of skilled athletes can help novice athletes to create their cortical activity pattern following expert athletes and through this process accelerate the acquisition of motor skills. Therefore, this research aimed to determine the effects of skilled people's EEG-based neurofeedback training on learning air rifle shooting skills in novices.

Methods

Thirty novice athletes voluntarily participated in the study and after rifle shooting instruction, a pre-test (10 shots) was performed. Participants were assigned into three groups including Beta/Theta Neurofeedback (decreasing the theta activity (4-7 Hz) and increasing the beta activity (13-15 Hz) in the Fz), Neurofeedback based on the brain pattern of skilled rifle shooters (decreasing theta activity in Fz and F4 area and increasing the low and high Alpha at the P3 and P7 area) according to Bertollo et al. (2016), and the Control group according to pretest scores. The acquisition phase included 6 sessions. 48 hours after the last acquisition session, a retention test and then a transfer test with a non-dominant hand were conducted.

Results

Mixed ANOVA with repeated measures showed that the group with neurofeedback based on the brain patterns of skilled rifle shooters was significantly better compared with the Beta/Theta Neurofeedback and Control groups in training sessions. One-way ANOVA in retention test revealed that the group with neurofeedback based on the brain pattern of skilled rifle shooters was significantly better than the Beta/Theta Neurofeedback and Control groups and the Beta/Theta Neurofeedback group was significantly better than the Control group. Results in the transfer test indicated that both neurofeedback groups were significantly better than the Control group, with no significant difference between the two neurofeedback groups.

Conclusion

Future studies can accelerate progress and excellence in rifle shooting in novice learners by correcting neurofeedback protocols according to the relationship between the brain and the expertise. The existence of a significant difference in the power of brain wave bands in successful and unsuccessful performances in different sports skills, as well as a significant difference in the electroencephalography patterns of elite and novice athletes can be a logical reason for using the brain pattern of elite athletes in neurofeedback protocols to facilitate the expertise process. Therefore, it is suggested to carry out more research on determining the effectiveness of protocols based on the brain patterns of elite athletes compared to common patterns.

Ethical Considerations
Compliance with ethical guidelines: The present study was conducted following ethical principles.
Funding: No specific funding was used.
Authors' contribution: All authors contributed equally to this work
Conflict of interest: The authors declared no conflict of interest.
Acknowledgments: We would like to thank all those who helped us in this study.

رشد و یادگیری حرکتی و ورزشی
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۵۴۷
انتشارات دانشگاه تهران

تأثیر تمرینات نوروفیدبک مبتنی بر الگوی الکتروانسفالوگرافی افراد ماهر بر یادگیری مهارت تیراندازی با تفنگ بادی در افراد مبتدی

فرزانه حاتمی[۱]✉، فرشید طهماسبی[۲] ، هدیه پاسبانی[۳]

۱. نویسندۀ مسؤول، گروه رفتار حرکتی، دانشکدۀ علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. رایانامه: fhatami2010@gmail.com
۲. گروه رفتار حرکتی، دانشکدۀ علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. رایانامه: farshidtahmasbi@yahoo.com
۳. گروه رفتار حرکتی، دانشکدۀ علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. رایانامه: hediyepasebani@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/ ۰۳/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/ ۰۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/ ۰۶/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
الکتروانسفالوگرافی،
تفنگ بادی،
خبرگی،
نقشۀ مغزی،
نوروفیدبک.

چکیده

مقدمه: هدف از اجرای این تحقیق بررسی اثر تمرینات نوروفیدبک مبتنی بر الگوی الکتروانسفالوگرافی افراد ماهر بر یادگیری مهارت تیراندازی با تفنگ بادی در افراد مبتدی است.

روش پژوهش: پژوهش کاربردی و از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون – پس‌آزمون با گروه کنترل بود. ۳۰ ورزشکار مبتدی (میانگین سنی: ۱/۵۰۹ ± ۲۰ سال) داوطلبانه در این تحقیق شرکت کردند و به سه گروه همگن نوروفیدبک بتا/ تتا، نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر (کاهش تتا در نقاط F4 و FZ و افزایش آلفای پایین و بالا در نقاط P_3 و P_7) و گروه کنترل تقسیم شدند. مرحلۀ اکتساب شامل شش جلسه بود. گروه کنترل در طول جلسات فقط به تمرین بدنی پرداختند. ۴۸ ساعت پس از جلسات اکتساب، آزمون یادداری و پس از آن یک آزمون انتقال با تعویض دست برای گرفتن سلاح انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که گروه نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر در تمام جلسات به‌طور معناداری عملکرد بهتری نسبت به دو گروه دیگر داشت. گروه نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر در آزمون یادداری به‌طور معناداری عملکرد بهتری نسبت به دو گروه دیگر و همچنین گروه نوروفیدبک بتا/ تتا عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل داشت و دو گروه نوروفیدبک در آزمون انتقال نسبت به گروه کنترل از عملکرد بهتری برخوردار بودند، اما تفاوت معناداری بین دو گروه نوروفیدبک وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: تحقیقات آینده می‌تواند با تصحیح پروتکل‌های نوروفیدبک بر اساس ارتباط مغز و نخبگی، روند پیشرفت و رسیدن به اوج اجرا در تیراندازی را برای افراد مبتدی تسریع کند.

استناد: حاتمی، فرزانه؛ طهماسبی، فرشید؛ و پاسبانی، هدیه (۱۴۰۲). تأثیر تمرینات نوروفیدبک مبتنی بر الگوی الکتروانسفالوگرافی افراد ماهر بر یادگیری مهارت تیراندازی با تفنگ بادی در افراد مبتدی. *نشریه رشد و یادگیری حرکتی ورزشی*، (۴) ۱۵، ۸۷-۱۰۴.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/jsmdl.2023.360601.1733

این نشریۀ علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز CC BY-NC 4.0 به نویسندگان واگذار کرده‌است. تارنما: https://jsmdl.ut.ac.ir | رایانامه: jsmdl@ut.ac.ir

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

توانایی اکتساب سریع و رسیدن به سطح بالای تبحر در ورزش یکی از چالش‌های پیش روی محققان و مربیان ورزش محسوب می‌شود. بهینه‌سازی عملکرد، فرایندی طولانی است و ورزشکاران مبتدی زمان زیادی را صرف رسیدن به سطوح بالای تبحر می‌کنند. هدف محققان حوزهٔ رفتار حرکتی، توسعه و اصلاح روش‌های تمرینی است تا از این طریق بتوانند دورهٔ تمرین را کوتاه کرده و فراگیران را با مهارت‌هایی برای اجرای تحت فشار مجهز کنند. امروزه از آخرین سیستم‌های رابط مغز – کامپیوتر[1] برای طراحی تمرینات نوروفیدبک[2] و تسریع فرایند یادگیری استفاده می‌شود (بابیلونی[3] و همکاران، ۲۰۰۸). تثبیت و ارتقای عملکرد ورزشی، مستلزم استفاده از مهارت‌های خودتنظیمی[4] در ورزشکاران است. نوروفیدبک یا بیوفیدبک امواج مغزی[5]، اطلاعاتی را در مورد سطح فعالیت قشر مغز از طریق نمایش بینایی یا شنوایی در اختیار فرد قرار می‌دهد (هاموند[6]، ۲۰۰۷). به‌عبارت‌دیگر، نوروفیدبک یک تکنیک غیرتهاجمی برای بازگرداندن اطلاعات مربوط به فعالیت الکتریکی قشری به مغز است که در آن فرد به‌طور هشیارانه از فعالیت مغز خود آگاه می‌شود و آن را تنظیم می کند. بر اساس نظریهٔ شرطی‌سازی عامل هنگامی‌که فرد به سطح مطلوبی از فعالیت قشر مغز دست یابد، تقویت مثبت به‌صورت تغییر در تن صدا یا نمایش بینایی در اختیار فرد قرار می‌گیرد (اسکینر[7]، ۱۹۶۳). اساس نظری نوروفیدبک، مفهوم نوروپلاستیسیتی[8] (ترمیم‌پذیری یا شکل‌پذیری مغز) است و به توانایی مغز در تغییر در کارکرد و حتی ساختار آن اطلاق می‌شود (چانگ[9]، ۲۰۱۴). این تکنیک‌ها شامل آموزش به افراد مبتدی برای ایجاد الگوی فعالیت قشر مغز منطبق با ورزشکاران خبره است. به لحاظ نظری منطق چنین تمریناتی این است که این تمرینات می‌توانند از طریق تقویت مستقیم الگوهای عصبی، فرایند یادگیری را تسریع کنند، فرایندی که به‌طور طبیعی ممکن است سال‌های زیادی به طول بینجامد، ازاین‌رو، مطالعه الگوی فعالیت قشری در اجراهای موفق در مقابل اجراهای ناموفق و همچنین ورزشکاران خبره در مقابل ورزشکاران مبتدی می‌تواند پایه‌ای برای مداخلات نوروفیدبک جدید ایجاد کند (زایچکوفسکی[10]، ۲۰۱۲).

فعالیت مغز توسط علائم مختلف مانند جریان خون، اکسیژن مصرفی یا فعالیت الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود و هر یک از این علائم، خود می‌توانند به‌عنوان بازخورد در اختیار فرد قرار گیرند. هدف از تمرینات نوروفیدبک ایجاد تغییرات در توان باند موردنظر است تا از این طریق بتوان تغییرات مؤثر در عملکرد شناختی و حرکتی ایجاد کرد. الکتروانسفالوگرافی[11] از رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری فعالیت مغز است که در تمرینات نوروفیدبک استفاده می‌شود (ورنون، ۲۰۰۵). به‌طور خلاصه، EEG شامل ثبت فعالیت الکتریکی از روی سطح جمجمه به‌منظور تعیین ولتاژ تولیدشده توسط مغز است. امواج مغزی برحسب فرکانس به شش دسته متفاوت تقسیم می‌شود. این شش دسته از بلندترین و آهسته‌ترین تا کوتاه‌ترین و سریع‌ترین شامل دلتا (۱ تا ۴ هرتز)، تتا (۴ تا ۸ هرتز)، آلفا (۸ تا ۱۲ هرتز)، ریتم حسی حرکتی (۱۲ تا ۱۵ هرتز)، بتا (۱۵ تا ۱۸ هرتز) و گاما (۳۸ تا ۴۲ هرتز) است (چرون[12] و همکاران، ۲۰۱۶). ارتباط بین EEG و عملکرد تا حد زیادی به ثبت داده‌های EEG معتبر بستگی دارد. متأسفانه ثبت EEG در حین حرکت به‌صورت ذاتی دارای مشکل است. همهٔ عوامل به ایجاد نویز مانند پتانسیل عضله، تعریق و حرکت الکترودها در حین حرکت تشدید منجر می‌شود. علاوه بر این، مسائل دیگری مانند قابلیت انتقال ابزار و محدودیت در حرکت طبیعی فرد نیز وجود دارد. از سوی دیگر، EEG دارای یک وضوح زمانی دقیق است و

1. Brain-Computer-Interface Systems
2. Neurofeedback
3. Babiloni
4. Self-Regulation
5. Brain wave biofeedback
6. Hammond
7. Skinner Operant Learning Theory
8. brain plasticity
9. Chang
10. Zaichkowsky
11. Electroencephalography (EEG)
12. Cheron

تغییرات کم یا زیاد در فعالیت قشر مغز را به‌طور لحظه‌ای شناسایی می‌کند. علاوه بر این، امکان اندازه‌گیری در وضعیت ایستاده و یا اجرای دامنه‌ای از تکالیف حرکتی با استفاده از EEG وجود دارد. ثبت و بازخورد فعالیت الکتریکی از طریق الکتروانسفالوگرافی به‌دلیل تاریخچهٔ طولانی‌تر، ایمنی، هزینه و سهولت اجرا، به‌عنوان یک ابزار مناسب، رایج و سنتی در تمرینات نوروفیدبک شناخته شده است (تامپسون[1] و همکاران، ۲۰۰۸).

تحقیقات متعدد، اثربخشی تمرینات نوروفیدبک را بر ارتقای عملکرد ورزشی نشان داده‌اند. یکی از تحقیقات نوروفیدبک مهم در حوزهٔ ورزش، تحقیق آرنز[2] و همکارانش است. در این تحقیق، شش بازیکن غیرحرفه‌ای، ۱۲ دسته کوشش ضربه پات گلف را انجام دادند. فعالیت قشری مربوط به ضربات موفق و بد (ازدست‌رفته) در جلسه خط پایه ثبت شد. در این تحقیق، شرکت‌کنندگان آموختند تا توان ترکیبی از باندهای تتا (۴–۸ هرتز)، آلفا (۸–۱۲ هرتز)، ریتم حسی – حرکتی (۱۳– ۱۵ هرتز) و یا بتا (۱۵–۳۰ هرتز) را در آخرین لحظه قبل از ضربهٔ گلف کاهش دهند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد افرادی که نوروفیدبک دریافت کردند، نسبت به زمانی که نوروفیدبک دریافت نکردند، ضربات موفق بیشتری را اجرا کردند (آرنز و همکاران ،۲۰۰۷). با اینکه این تحقیق، از اثربخشی تمرینات نوروفیدبک به‌عنوان یک روش برای تسریع خبرگی و تبحر در ورزش حمایت کرد، با وجود این برخی محدودیت‌های کلیدی مانند حجم نمونه پایین و نداشتن گروه کنترل وجود داشت. بابیلونی و همکاران (۲۰۰۸) الگوی فعالیت EEG ضربات موفق و ناموفق را در گلف‌بازان خبره مقایسه کردند. آنها کاهش زیادی در توان آلفا در طول ۴ ثانیه قبل از ضربه پات گلف مشاهده کردند. این یافته با این نتیجه که حرکات ارادی خودآهنگ با کاهش توان آلفا در هر دو نیمکرهٔ مغز در حین اجرای تکالیف دودستی همراه است، همخوانی داشت. علاوه‌بر این، آنها به این نتیجه رسیدند که ضربات موفق با کاهش بیشتری در توان آلفای بالا (۱۰– ۱۲ هرتز) در قشر پیش حرکتی و حرکتی (برای مثال Fz, Cz, C4) همراه است که نشان می‌دهد این مکان‌ها و همچنین فرکانس باند آلفای بالا می‌تواند برای مداخلات نوروفیدبک استفاده شود (بابیلونی و همکاران، ۲۰۰۸).

کوک[3] و همکارانش مطالعهٔ بابیلونی و همکاران (۲۰۰۸) را تکرار کردند. ایشان الگوی فعالیت EEG ضربات موفق و ناموفق گلف را در گلف بازان خبره و مبتدی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که گلف بازان ماهر کاهش بیشتری در توان آلفای بالا (۱۰– ۱۲ هرتز) در مقایسه با گلف‌بازان مبتدی نشان دادند و ضربات موفق با توان آلفای بالای کمتری در مناطق مرکزی و لوب فرونتال در دو ثانیه قبل از ضربه همراه بود (برای مثال، Cz Fz, F3, F4,) (کوک و همکاران، ۲۰۱۴). در مجموع، نتایج بابیلونی و همکاران (۲۰۰۸) و کوک و همکاران (۲۰۱۴) شواهد همگرایی را فراهم کرد که تبحر و عملکرد ضربه گلف با کاهش توان آلفای بالا در لحظه نهایی قبل از آغاز حرکت مشخص می‌شود. تحقیقی با عنوان اثربخشی تمرینات نوروفیدبک بر تسریع خبرگی و تبحر در ورزش به‌دنبال پاسخگویی به این پرسش بودند که آیا تمرینات نوروفیدبک مبتنی بر الکتروانسفالوگرافی می‌تواند به گلف‌بازان غیرحرفه‌ای کمک کند که فعالیت مغز خود را کنترل کنند، فرایند اکتساب مهارت را تسریع کنند و عملکرد را در شرایط تحت فشار ارتقا بخشند. در این تحقیق شرکت‌کنندگان سه جلسه به مدت یک ساعت تمرینات نوروفیدبک را انجام دادند. فعالیت مغزی آنها از ناحیهٔ FZ ثبت شد. دلیل انتخاب ناحیهٔ FZ این بود که این ناحیه بیشترین اختلاف را در توان آلفا بین شرکت‌کنندگان ماهر و مبتدی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد گروهی که تمرینات نوروفیدبک را انجام داده بودند، موفق شدند تا توان آلفای بالای خود را در قشر فرونتال قبل از ضربه زدن به توپ کاهش دهند. علیرغم ایجاد الگوی فعالیت مغزی مشابه با افراد ماهر، تمرینات نوروفیدبک نتوانست به‌طور انتخابی به ارتقای عملکرد منجر شود و در هر دو گروه، عملکرد ضربهٔ گلف از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون پیشرفت کرد و هر دو گروه در شرایط تحت فشار عملکرد خوبی داشتند (رینگ[4] و همکاران، ۲۰۱۵).

---

1. Thompson
2. Arns
3. Cooke
4. Ring

یکی از مقوله‌هایی که می‌تواند تمایز بین ورزشکاران خبره و مبتدی را توجیه کند، فرضیهٔ کارایی عصبی[1] است. کارایی پردازش به ارتباط بین عملکرد اثربخش و استفاده از منابع یا تلاش اطلاق می‌شود. کارایی عصبی بالا به حالتی گفته می‌شود که در آن اثربخشی عملکرد یا کیفیت اجرا در سطح بالا و استفاده از منابع در پایین‌ترین حد ممکن قرار دارد و کارایی پایین با کیفیت پایین اجرا و استفاده از منابع یا تلاش زیاد همراه است. از دیدگاه عصب‌شناختی، کارایی به عدم درگیر شدن مناطق مغزی غیر مرتبط با تکلیف و درگیر شدن همزمان مناطق مغزی مرتبط با تکلیف گفته می‌شود (آیزنک و دراکشان[2]، ۲۰۱۱). تحقیقات در آزمون فرضیهٔ کارایی عصبی نشان داده‌اند که عملکرد ماهرانه در رشته‌های ورزشی خودآهنگ معمولاً با کاهش در فعالیت مغز همراه است. برای مثال بابیلونی و همکاران (۲۰۱۰) توان آلفای بیشتری را در حالت استراحت در ورزشکاران خبره نسبت به ورزشکاران غیرحرفه‌ای و غیرورزشکاران نشان دادند و نتیجه‌گیری کردند که مغز ورزشکاران در حالت استراحت بازداری بیشتری را نشان می‌دهد که با فرضیهٔ کارایی عصبی همخوانی دارد. همچنین یافته‌های تحقیقات در تأیید فرضیهٔ کارایی عصبی نشان دادکه ورزشکاران خبره واکنش‌پذیری کمتری را در توان آلفا در مقایسه با غیرورزشکاران نشان می‌دهند (دل پرسیو[3] و همکاران ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱).

هتفیلد و کریک[4] (۲۰۰۷) اقتصادی بودن تلاش را به‌عنوان یک شاخص در عملکرد روانی- حرکتی سطح بالا عنوان کرده‌اند، بنابراین از این مفهوم که عملکرد سطح بالا با اقتصادی بودن فعالیت مغز مشخص می‌شود، حمایت کردند و معتقدند که ارتباط معکوس بین عملکرد اثربخش و استفاده از منابع وجود دارد. تحقیقات نشان داده‌اند که اجراکنندگان ماهر حرکات را با پردازش هشیارانه کمتر در حین اجرا انجام می‌دهند و این امر نشان‌دهندهٔ درگیری شناختی کمتر و تغییرپذیری کمتر در اجرای مهارت حرکتی است (کوک و همکاران، ۲۰۱۴؛ ونگ و همکاران، ۲۰۲۰، ۲۰۲۲). تمام تحقیقات مذکور بر تغییرات ساختاری و عملکردی در قشر حسی – حرکتی بعد از تمرین بلندمدت دلالت دارد. برتولو[5] و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی با عنوان «مغز متبحر برای عملکرد مطلوب»، فعالیت مغزی مرتبط با عملکرد مطلوب خودکار و کنترل‌شده را در حین اجرای تیراندازی با تپانچه بادی مطالعه کردند. در این تحقیق، از مدل مورد استفاده از تحقیق (بُرتولی،۲۰۱۲) در طبقه‌بندی عملکرد استفاده شد (بُرتولو و همکاران، ۲۰۱۶). پویایی قشر مغز ۱۰ تیرانداز نخبه با سوابق بین‌المللی در باندهای تتا، آلفای بالا و پایین در هر یک از نقاط مغزی و همچنین عملکرد آنها بر اساس سطح اجرا و میزان کنترل بر اجرا در چهار طبقهٔ ۱. عملکرد بیشینه – پردازش خودکار؛ ۲. عملکرد بیشینه – پردازش کنترل‌شده؛ ۳. عملکرد زیر بیشینه – پردازش خودکار و ۴. عملکرد زیر بیشینه – پردازش کنترل‌شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کاهش در توان باند در همخوانی با فرضیه کارایی عصبی با عملکرد بیشینه – پردازش خودکار مرتبط است و همچنین افزایش در توان باند در شرایط انطباق‌پذیری عصبی و استفاده متبحرانه از منابع قشری با عملکرد بیشینه – پردازش کنترل‌شده همراه است. به‌طور اختصاصی‌تر، تجزیه‌وتحلیل باند تتا نشان داد که عملکرد بیشینه مطلوب با سرکوب باند تتا در قسمت پیشانی، پیش-پیشانی و آهیانه‌ای در ۲ و ۳ ثانیه قبل از شلیک و همچنین با سرکوب این باند در قسمت پیشانی و آهیانه‌ای مرکزی در یک ثانیه قبل از شلیک همراه است. تجزیه‌وتحلیل باند آلفای پایین نشان داد که در ثانیه سوم و دوم قبل از شلیک، این باند در نواحی پیشانی، پیش- پیشانی و آهیانه‌ای- مرکزی سرکوب می‌شود و در ثانیه آخر پیش از شلیک با کاهش باند در نواحی آهیانه‌ای مرکزی و افزایش فعالیت باند آلفای پایین در نواحی آکسیپیتال سمت چپ همراه است. تجزیه‌وتحلیل باند آلفای بالا نشان داد که باند آلفای بالا در ناحیهٔ پیشانی سمت راست و نواحی مرکزی سرکوب می‌شود و هر چه به لحظه شلیک نزدیک می‌شود، این سرکوب محو می‌شود، همچنین این نوع عملکرد با افزایش خفیفی در ناحیهٔ پیش‌پیشانی سمت راست و سرکوب در ناحیهٔ آکسیپیتال سمت چپ دریک ثانیه قبل از شلیک همراه است. همچنین برتولو و همکاران دریافتند که عملکرد مطلوب خودکار با فرضیه کارآمدی عصبی همسوست.

---

1. Neural efficiency hypothesis
2. Eysenck & Derakshan
3. Del Percio
4. Hatfield & Kerick
5. Bertollo

مطالعات اخیر، اثربخشی نوروفیدبک را در حوزه‌های مختلف از جمله بالینی و روانشناسی ورزشی و به‌طور اختصاصی، ارتقای عملکرد ورزشی نشان داده‌اند (میری فر و همکاران،۲۰۱۷) ، پروتکل بتا/ تتا به‌عنوان یک پروتکل عمومی در حوزه‌های مختلف به‌منظور افزایش تمرکز استفاده می‌شود و صرفاً بر اساس مرور ادبیات پیشین و کارکردهای امواج مختلف در اختلالات گوناگون تعریف شده است، حال آنکه پروتکل‌های تخصصی می‌توانند بر اساس الگوی EEG ورزشکاران خبره و برای یک رشته ورزشی خاص تعریف شوند که به همین علت احتمالاً اثربخشی بیشتری خواهد داشت. این منطق به‌نوعی می‌تواند بر اساس فرضیهٔ اختصاصی بودن تمرین[1]توجیه شود. از سوی دیگر، تسریع در فرایند یادگیری مهارت‌های حرکتی از اهداف اصلی ورزشکاران و مربیان ورزشی است، به‌نظر می‌رسد که استفاده از روش‌های نوین تمرینی مانند نوروفیدبک مبتنی بر الگوی الکتروانسفالوگرافی افراد ماهر بتواند به ورزشکاران مبتدی کمک کند تا الگوی فعالیت قشر مغز خود را منطبق با ورزشکاران خبره ایجاد کرده و از این طریق فرایند اکتساب مهارت حرکتی را تسریع کنند. ازاین‌رو هدف از اجرای تحقیق حاضر، بررسی اثر تمرینات نوروفیدبک مبتنی بر الگوی الکتروانسفالوگرافی افراد ماهر بر یادگیری مهارت تیراندازی است.

روش‌شناسی پژوهش

شرکت‌کنندگان

این تحقیق از لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش اجرا، نیمه‌تجربی و از لحاظ شیوهٔ جمع‌آوری اطلاعات، میدانی است. طرح تحقیق مورد استفاده در این تحقیق، پیش‌آزمون–پس‌آزمون با گروه کنترل است. در این پژوهش۳۰ نفر از نوآموزان رشته تیراندازی (۱۵ مرد و ۱۵ زن؛ میانگین سنی: ۱/۵۰۹ ±۲۰ سال) که هیچ‌گونه تجربهٔ قبلی در رشته تیراندازی و تمرینات نوروفیدبک نداشتند، به‌صورت داوطلبانه در این تحقیق شرکت کردند. معیار خروج از تحقیق شامل بیماری‌های عصب‌شناسی مغزی، هرگونه آسیب و یا ضربه مغزی و سایر اختلالات روان‌پزشکی، مصرف داروهای روان‌پزشکی و نرولوژیک بود. در ابتدای تحقیق به شرکت‌کنندگان آموزش اولیه شامل چگونگی گرفتن سلاح، نوع ایستادن و وضعیت قرارگیری دست‌ها و توضیحات اولیه در مورد سیبل و امتیازبندی توسط مربی مجرب این رشته داده شد و سپس یک پیش‌آزمون (شامل۱۰ شلیک) از آنها به‌عمل آمد و شرکت‌کنندگان بر اساس نمرات کسب‌شده در پیش‌آزمون به‌صورت ABBA به سه گروه همگن نوروفیدبک بتا/تتا (بلاشکی[2] و همکاران، ۲۰۱۶)، نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر (بر اساس الگوی الکتروانسفالوگرافی افراد ماهر درست در ثانیه قبل از شلیک) (برتولو و همکاران، ۲۰۱۶) و گروه کنترل تقسیم شدند.

ابزار

ابزار و وسایل جمع‌آوری داده‌ها شامل فرم ثبت مشخصات فردی و فرم ثبت امتیازات شلیک‌ها، تفنگ بادی فینورک بائو[3] مدل‌های ۶۰۳، ۶۰۱، ۵۰۰ ساخت آلمان و بافه مسابقات تیراندازی با تفنگ بادی با ۱۰ حلقه بود. از دستگاه نوروفیدبک با سخت‌افزار پروکامپ[4] ۲ دوکاناله ساخت کانادا و نرم‌افزار بیوگراف اینفنیتی[5] و با میزان نمونه‌گیری امواج ۲۵۶ هرتز و مقاومت الکترود ۱۰ کیلو اهم به‌منظور انجام تمرینات نوروفیدبک استفاده شد.

روند اجرای پژوهش

شرکت‌کنندگان هر دو گروه نوروفیدبک، پس از شرکت در تمرینات نوروفیدبک، در چهار بلوک ۱۰ تایی به تمرین تیراندازی پرداختند و بین هر بلوک یک دقیقه استراحت کردند و امتیازات کوشش‌های هر فرد به‌دقت ثبت شد. امتیازدهی بر اساس محل اصابت تیر در هر

1. Specificity of practice hypothesis
2. Bluschke
3. Feinwerkbau
4. Procomp
5. Biograph Infiniti

یک از دوایر متحدالمرکز انجام گرفت. گروه کنترل هیچ‌گونه تمرین نوروفیدبک دریافت نکردند و هر جلسه فقط به تمرین تیراندازی پرداختند (چهار بلوک ۱۰ تایی و بین هر بلوک یک دقیقه استراحت). تمامی گروه‌ها به مدت شش جلسه و در مدت دو هفته (یک روز در میان) به تمرین پرداختند. ۴۸ ساعت پس از اتمام آخرین جلسهٔ اکتساب، از تمامی گروه‌ها مشابه با آنچه در پیش‌آزمون اجرا شد، آزمون یادداری (۱۰ کوشش) به‌عمل آمد و پس از آن با تغییر در دست سلاح گیرنده (گرفتن سلاح با دست چپ) آزمون انتقال (۱۰ کوشش) گرفته شد.

پروتکل‌های نوروفیدبک مورداستفاده در این تحقیق شامل پروتکل نوروفیدبک تتا- بتا و پروتکل‌های نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر بود. پروتکل نوروفیدبک تتا- بتا شامل کاهش امواج تتا (۴-۷ هرتز) و افزایش بتا (۱۳- ۱۵ هرتز) در ناحیهٔ Fz است (بلاشکی و همکاران، ۲۰۱۶). در این روش از آزمودنی‌ها خواسته شد تا روی صندلی راحت بنشینند، سپس آزمونگر، لالهٔ هر دو گوش و نقطهٔ FZ را با الکل طبی و ژل تمیزکننده آماده کرد. الکترود رفرنس الکترود زردرنگ به گوش چپ و الکترود گراند (الکترود سیاه‌رنگ) به گوش راست و الکترود اکتیو (الکترود آبی) به نقطهٔ FZ توسط چسب تن بیست متصل شد. در این پروتکل، افزایش موج بتا و سرکوب تتا به حفظ آرامش و افزایش توجه منجر می‌شود؛ ازاین‌رو هدف تمرین نوروفیدبک در این پژوهش به جلو راندن قایق مربوط به موج پاداش (بتا؛ دامنهٔ ۱۲ تا ۱۵ هرتز) و ممانعت از حرکت قایق دیگر با موج بازداری (تتا؛ چهار تا هشت هرتز) مرتبط بود. زمانی‌که قایق موج تقویت زودتر به خط پایان برسد، چراغ سبز روشن می‌شود و شیپور پیروزی به‌عنوان بازخورد مثبت به صدا درمی‌آید و زمانی که قایق موج بازداری زودتر به انتهای مسیر برسد، چراغ‌قرمز روشن می‌شود و شیپور ناخوشایند به‌عنوان بازخورد منفی به صدا درمی آید.

این پروتکل به مدت ۲۰ دقیقه تمرین می‌شود. پروتکل‌های نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر بر اساس نقشه مغزی ۱۰ نفر از تیراندازان ماهر در رشتهٔ تفنگ بادی در تحقیق برتولو و همکاران (۲۰۱۶) به‌دست آمده است. این نقاط نمایانگر تقویت و یا سرکوب امواج مربوطه در نواحی ذکر شده است که با استفاده از نقشهٔ مغزی این افراد توسط متخصص علوم اعصاب استخراج شد و درست در ثانیه قبل از شلیک با تغییرات زیر همراه است: کاهش تتا (۴-۸ هرتز) در ناحیهٔ Fz، در این پروتکل پس از تمیز و آماده شدن نقاط F4 و Fz توسط آزمونگر الکترود گراند (مشکی‌رنگ) به گوش راست، الکترود رفرنس به نقطهٔ F4 و الکترود اکتیو به نقطهٔ Fz (نقطهٔ اصلی) توسط چسب چسبانده شد. این پروتکل به مدت ۱۰ دقیقه اجرا شد. افزایش آلفای پایین (۸-۱۰ هرتز) و آلفای بالا (۱۰-۱۲ هرتز) در ناحیهٔ P_3 و P_7، در این پروتکل پس از تمیز و آماده شدن نقاط P_3 و P_7 توسط آزمونگر، الکترود گراند (مشکی‌رنگ) به گوش چپ، الکترود رفرنس به نقطهٔ P_3 و الکترود اکتیو به نقطهٔ P_7 (نقطهٔ اصلی) توسط چسب چسبانده شد (برتولو و همکاران، ۲۰۱۶). این پروتکل به مدت ۱۰ دقیقه اجرا شد. در مجموع هر شرکت‌کننده به مدت ۲۰ دقیقه از پروتکل‌های تخصصی استفاده کرد.

روش آماری

به‌منظور توصیف آماری متغیرهای تحقیق، شاخص مرکزی و پراکندگی شامل میانگین و انحراف معیار محاسبه شد. از آزمون شاپیروویلک و لوین به‌منظور بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌های گروه‌های تحقیق استفاده شد. به‌منظور مقایسهٔ عملکرد شرکت‌کنندگان سه گروه تمرینی نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر، نوروفیدبک و گروه کنترل در مرحلهٔ اکتساب، آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌های تکراری بر روی عامل جلسات تمرین در قالب یک طرح (جلسات تمرین)۶ × (گروه)۳ استفاده شد و در نهایت، آزمون تحلیل واریانس یکراهه برای مقایسهٔ عملکرد شرکت‌کنندگان سه گروه در مراحل پیش‌آزمون، یادداری و انتقال به‌کار گرفته شد. ضابطهٔ تصمیم‌گیری در تمام مراحل تجزیه‌وتحلیل ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار اس پی اس اس نسخهٔ ۲۴ استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

میانگین و انحراف معیار سن شرکت‌کنندگان در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار سن شرکت‌کنندگان سه گروه

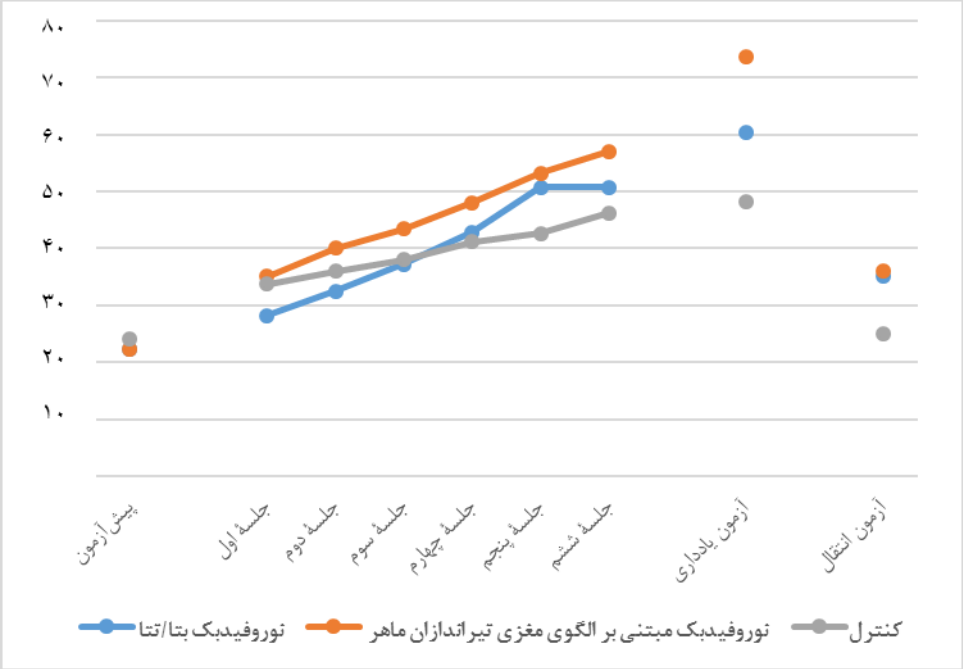
مرحله	گروه	سن (سال)
	نوروفیدبک بتا/تتا و	۲۰/۱۰ ±۱/۶۶
	نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر	۱۹/۸±۱/۲۲
	کنترل	۲۰/۱±۱/۵۰۹

شاخص‌های مرکزی و پراکندگی (میانگین و انحراف معیار) امتیازات در مراحل مختلف تحقیق شامل پیش‌آزمون، جلسات اکتساب، آزمون‌های یادداری و انتقال در گروه‌های مختلف نوروفیدبک، نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر و کنترل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار امتیازات عملکرد سه گروه در مراحل مختلف تحقیق

مرحله	گروه	گروه نوروفیدبک بتا/تتا	گروه نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر	کنترل
پیش‌آزمون		۲۳/۳۷±۱/۳	۲۳/۳۷±۱/۴	۲۴/۱۱±۱/۷۶
جلسهٔ اول		۲۸/۲۲±۴/۹۳	۳۵/۰۵±۴/۲۹	۳۳/۷۷±۳/۲۵
جلسهٔ دوم		۳۲/۵±۴/۷۱	۴۰/۰۵±۳/۹۸	۳۵/۹۷±۳
جلسهٔ سوم		۳۷/۲۷±۴/۲۵	۴۳/۴۲±۵/۰۵	۳۸±۲/۴
جلسهٔ چهارم		۴۲/۸۲±۴/۴۲	۴۸/۰۵±۴/۳۲	۴۱/۱۵±۴/۴۱
جلسهٔ پنجم		۵۰/۷۵±۶/۱۸	۵۳/۲۵±۵/۶۹	۴۲/۶۹±۱/۸
جلسهٔ ششم		۵۰/۷±۴/۷۸	۵۷±۵/۹۵	۴۶/۲۷±۳/۴۱
آزمون یادداری		۶۰/۲۷±۱۲/۰۱	۷۳/۵۷±۱۲/۶	۴۸/۱۵±۷/۳۸
آزمون انتقال		۳۵/۲±۴/۶۶	۳۶±۷/۶۷	۲۵/۹±۵/۵۴

منحنی اجرای سه گروه نوروفیدبک بتا/تتا، نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر و کنترل در مراحل مختلف تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. عملکرد شرکت‌کنندگان گروه‌های تحقیق در مراحل مختلف

به منظور بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها و همچنین همگنی واریانس در مراحل مختلف سه گروه از آزمون شاپیروویلک و آزمون لوین استفاده شد. نتایج آزمون شاپیروویلک و لوین نشان می‌دهد که داده‌ها در هر چهار مرحلهٔ پیش‌آزمون، اکتساب، یادداری و انتقال دارای توزیعی طبیعی‌اند و همچنین پیش‌فرض همگنی واریانس‌ها برقرار است (P>۰/۰۵). نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه نشان داد که تفاوت معناداری در امتیازات سه گروه نوروفیدبک، نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر و کنترل وجود ندارد؛ به عبارت دیگر سه گروه در ابتدای تحقیق وضعیت مشابهی داشتند (P=۰/۹۸۹) برای مقایسهٔ عملکرد سه گروه در مرحلهٔ اکتساب از آزمون تحلیل واریانس مرکب در اندازه‌های تکراری روی عامل جلسات تمرین در یک طرح (جلسهٔ تمرین)۶× (گروه)۳، استفاده شده است. نتایج در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌های تکراری روی عامل جلسات تمرین در مرحله اکتساب

شاخص عامل	مجموع مجذورات (ss)	میانگین مجذورات (ms)	درجهٔ آزادی	شاخص F	سطح معناداری	مجذور اتا
اثر اصلی گروه	۲۹۸/۰۷۱	۱۴۹/۰۳۵	۲	*۱۲/۷۸۹	۰/۰۰۱	۰/۴۹۶
اثر اصلی جلسات تمرین	۷۲۱۴/۹۱۵	۲۶۶۸/۴۳۸	۲/۷۰۴	*۱۴۶/۱۴۸	۰/۰۰۱	۰/۸۴۹
تعامل گروه و جلسات تمرین	۴۳۱/۳۷۲	۷۹/۷۷۱	۵/۴۰۸	*۴/۳۶۹	۰/۰۰۱	۰/۲۵۲

* در سطح P≤ ۰/۰۱معنادار است.

با توجه به اطلاعات جدول، اثر اصلی گروه و جلسات تمرین و همچنین تعامل گروه و جلسات تمرین معنادار است، به این معنی که بین عملکرد شرکت‌کنندگان گروه‌های مختلف تمرینی در طول جلسات اکتساب تفاوت معناداری وجود دارد. با توجه به معناداری اثر

تعامل جلسات تمرین و گروه، تفسیر اثر متقابل انجام می‌شود؛ زیرا تفسیر تأثیرات اصلی در حضور اثر تعامل معنادار ممکن است به نتایج نادرستی منجر شود. بر این اساس، نتایج تعقیبی اثر تعامل معنادار با استفاده از اجرای آزمون اثرات اصلی ساده[1] بررسی شد. نتایج آزمون تعقیبی تک متغیره[2] در مقایسهٔ عملکرد سه گروه در جلسات تمرین در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. نتایج آزمون تک‌متغیره در مقایسهٔ عملکرد سه گروه در جلسات تمرین

جلسهٔ تمرین	مجموع مجذورات (ss)	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات (ms)	شاخص F	سطح معناداری	مجذور اتا
جلسهٔ اول	۲۴۷/۹۴۹	۲	۱۲۳/۹۷۵	۷/۱۶۳	۰/۰۰۳	۰/۳۵۵
جلسهٔ دوم	۲۸۶/۷۲۳	۲	۱۴۳/۳۶۲	۸/۸۸۱	۰/۰۰۱	۰/۴۰۶
جلسهٔ سوم	۲۳۰/۱۷۹	۲	۱۱۵/۰۹۰	۶/۸۰۱	۰/۰۰۴	۰/۳۴۳
جلسهٔ چهارم	۲۴۶/۷۹۱	۲	۱۲۳/۳۹۵	۶/۱۷۲	۰/۰۰۶	۰/۳۲۲
جلسهٔ پنجم	۶۰۸/۰۳۶	۲	۳۰۴/۰۱۸	۱۱/۹۳۶	۰/۰۰۱	۰/۴۷۹
جلسهٔ ششم	۶۰۰/۱۱۷	۲	۳۰۰/۰۵۹	۱۲/۷۹۶	۰/۰۰۱	۰/۴۹۶

* در سطح $P\leq$ ۰/۰۱ معنادار است.

نتایج جدول تک‌متغیره نشان داد که تفاوت بین عملکرد تیراندازی سه گروه نوروفیدبک بتا/تتا، نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر و کنترل در هر یک از جلسات تمرین معنادار است ($P\leq$ ۰/۰۰۱). مقایسه‌های زوجی در تمام جلسات تمرین نشان داد که گروه نوروفیدبک نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر نسبت به گروه نوروفیدبک بتا/تتا و تمرین بدنی از عملکرد بهتری برخوردار بود ($P\leq$۰/۰۵). نتایج همچنین نشان داد که در جلسات اول تا سوم، تفاوت معناداری بین عملکرد دو گروه نوروفیدبک بتا/تتا و کنترل وجود نداشت، اما در جلسات چهارم تا ششم، گروه نوروفیدبک بتا/تتا به‌طور معناداری از عملکرد بهتری نسبت به گروه تمرین بدنی برخوردار بود ($P\leq$۰/۰۵).

نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه به‌منظور مقایسهٔ عملکرد تیراندازی سه گروه تمرینات نوروفیدبک بتا/تتا نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر و کنترل در آزمون یادداری در جدول ۵ خلاصه شده است.

جدول ۵. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه در آزمون یادداری

منبع تغییرات	مجموع مجذورات (ss)	میانگین مجذورات (ms)	درجهٔ آزادی	F	سطح معناداری	مجذور اتا
بین‌گروهی	۳۲۳۳/۲۰۳	۱۶۱۶/۶۰۱	۲	۱۳/۵۵۸*	۰/۰۰۱	۰/۵۰۱
درون‌گروهی	۳۲۱۹/۴۴۷	۱۱۹/۲۳۹	۲۷			
کل	۶۴۵۲/۶۵۰	۲۹				

* در سطح $P\leq$ ۰/۰۱ معنادار است.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که بین عملکرد شرکت‌کنندگان سه گروه در مرحلهٔ یادداری تفاوت معناداری وجود دارد. نتایج آزمون توکی در آزمون یادداری نشان داد که گروه نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر نسبت به گروه نوروفیدبک بتا/ تتا (P=۰/۰۲۹) و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱) و همچنین گروه نوروفیدبک بتا/ تتا نسبت به گروه‌گروه کنترل عملکرد بهتری داشتند (P=۰/۰۵).

1. Simple Main Effect
2. Univariate Tests

نتایج آزمون تحلیل واریانس یکراهه در مقایسه عملکرد تیراندازی سه گروه تمرینات نوروفیدبک، نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر و کنترل در آزمون انتقال در جدول ۶ خلاصه شده است.

جدول ۶. نتایج آزمون تحلیل واریانس یکراهه در آزمون انتقال

منبع تغییرات	مجموع مجذورات (ss)	میانگین مجذورات (ms)	درجهٔ آزادی	F	سطح معناداری	مجذور اتا
بین‌گروهی	۶۳۰/۴۶	۳۱۵/۲۳۳	۲	*۸/۴۹	۰/۰۰۱	۰/۳۸۶
درون‌گروهی	۱۰۰۲/۵	۳۷/۱۳	۲۷			
کل	۱۶۳۲/۹۶		۲۹			

* در سطح P≤ ۰/۰۱ معنادار است.

با توجه به اینکه سطح معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۱ است، نتیجه‌گیری می‌شود که بین امتیازات سه گروه در آزمون انتقال تفاوت معناداری وجود دارد. نتایج آزمون توکی در آزمون انتقال همچنین نشان داد که گروه‌های نوروفیدبک بتا/ تتا (P=۰/۰۰۶) و نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر (P=۰/۰۰۳) در مرحلهٔ انتقال نسبت به گروه کنترل به‌طور معنادار عملکرد بهتری داشتند. همچنین بین دو گروه نوروفیدبک و نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر تفاوت معناداری وجود نداشت (P=۰/۹۵۴).

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از اجرای این تحقیق، بررسی اثربخشی تمرینات نوروفیدبک مبتنی بر الگوی الکتروانسفالوگرافی افراد ماهر بر یادگیری مهارت تیراندازی بود. اولین یافتهٔ پژوهش حاضر نشان داد که هر دو گروه نوروفیدبک بتا/ تتا و نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی افراد ماهر نسبت به گروه کنترل عملکرد بهتری در طول اکتساب داشتند، بدین معنا که نوروفیدبک، صرف‌نظر از نوع پروتکل ارائه‌شده برای تیراندازان مبتدی، به تسریع و بهبود اجرا منجر می‌شود.

اولین یافته پژوهش، تأییدکنندهٔ نتایج بیشتر تحقیقات انجام‌گرفته در خصوص اثربخشی نوروفیدبک بر اجرا و اکتساب است (چنگ[1] و همکاران، ۲۰۱۷؛ گانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۰، ۲۰۲۱). بر اساس مفهوم شکل‌پذیری مغز، تمرینات نوروفیدبک با تقویت و سرکوب امواج مغزی گوناگون می‌تواند تغییراتی در کارکرد و حتی ساختار مغز ایجاد کند که به‌تبع آن توانایی مغز در توجه و تمرکز و کنترل حرکتی و هیجانی تغییر می‌کند؛ به عبارت دیگر نوروفیدبک می‌تواند به سازماندهی مجدد مغز و در نهایت بهبود رفتار حرکتی و عملکرد نهایی منتج شود (کلب[3] و همکاران، ۲۰۰۳). محققان با فراهم کردن تمرین نوروفیدبک همزمان با اجرای تکلیف نشان دادند که تمرین نوروفیدبک به افزایش تعداد ضربات موفق گلف منجر می‌شود (آرنز و همکاران، ۲۰۰۷). این نتایج بر اساس نتایج بابیلونی و همکاران (۲۰۰۸) و کوک و همکاران (۲۰۱۴) به نظر می‌رسد تبحر و عملکرد ضربه گلف با کاهش توان آلفای بالا در لحظه نهایی قبل از آغاز حرکت مشخص می شود. تحقیق دیگر نیز نشان داد که اجرای مطلوب و نامطلوب با الگوی مغزی متفاوتی همراه است (دی فرانسو و همکاران، ۲۰۱۶). همهٔ این پژوهش‌ها حاکی از ارتباط الگوی امواج مغزی ورزشکار و اجرای او حین مهارت‌های هدف‌گیری (تیراندازی، گلف و پرتاب آزاد بسکتبال) است، به‌گونه‌ای که الگوهای خاصی از امواج مغزی در نواحی خاصی از مغز به بهبود اجرا منجر می‌شود.

هرچند همه این پژوهش‌ها مؤید تأثیرات الگوهای خاصی از امواج مغزی و به‌تبع آن نوروفیدبک بر اجراست، با این حال در این میان چالش بزرگ، سنجش میزان یادگیری است، چراکه از طریق اجرا به‌تنهایی نمی‌توان به‌درستی عنوان کرد که اِعمال مداخلات و تغییرات

1. Cheng
2. Gong
3. Kolb

حاصل از آن منعکس‌کننده وقوع یادگیری است. باید به این موضوع توجه داشت که در مرحلهٔ اکتساب، اجرا متمرکز بر مکان، زمان و شرایط مشخصی است و ممکن است در زمان و مکان دیگری متفاوت باشد و به نظر می‌رسد نتایج حاصل از مرحلهٔ اکتساب بیش از قابل اعتماد بودن در روند یادگیری تحت تأثیر متغیرهای آموزشی یا تمرینی قرار می‌گیرد. ازاین‌رو به نظر می‌رسد، آزمون‌های یادداری و انتقال جهت سنجش بهتر یادگیری پس از آزمون اکتساب ضروری است (دیویدرز[1] و همکاران، ۲۰۰۸).

برگزاری آزمون یادداری و انتقال برای استنباط وقوع یادگیری ضروری است. بر این اساس بخش دوم یافته‌ها حاکی از تأثیر معنادار نوروفیدبک (صرف‌نظر از نوع پروتکل) بر یادداری و انتقال بود که این امر گویای اثر تسهیل‌کنندهٔ نوروفیدبک بر یادگیری است. این یافته مشابه با مطالعاتی است که معتقد بودند با پیشرفت مرحلهٔ اکتساب، تمرینات نوروفیدبک به افزایش عملکرد منجر می‌شود (رستمی و همکاران، ۲۰۱۲؛ پاول[2] و همکاران،۲۰۱۲؛ آرنز و همکاران، ۲۰۰۷). این محققان اذعان کردند که تمرینات نوروفیدبک به افزایش عملکرد در مرحلهٔ اکتساب و یادگیری منجر می‌شود که نشان‌دهندهٔ بهبود خودتنظیمی بر اثر تمرینات نوروفیدبک است. بر اساس شرطی سازی عامل، استفاده از آموزش نوروفیدبک به‌منظور ارتقای عملکرد ورزشی، مبتنی بر شناسایی ارتباطات بین الگوهای عمومی فعالیت مغزی برای رسیدن به الگوهای بهینه و مهارت خودتنظیمی است. با استفاده از تمرین نوروفیدبک از پردازش و فعالیت‌های غیرضروری جلوگیری شده و در نتیجه اجرا تسهیل می‌شود (صالحی و همکاران، ۲۰۱۵). خودتنظیمی شامل مجموعه‌ای از ظرفیت‌های ذهنی پیچیده است که شامل کنترل انگیزه و هیجانات، خود هدایتی افکار و برنامه‌ریزی رفتاری، اعتمادبه‌نفس و رفتار مسئولانه اجتماعی است. به اعتقاد اسکینر خودتنظیمی یادگیری خودکنترلی است که از طریق پاداش‌های دریافتی از محیط تقویت شده و فراگرفته می‌شود (دن[3]، ۲۰۱۶). این موضوع مبنای علمی نوروفیدبک است.

با همهٔ این موارد، دغدغهٔ اصلی پژوهش حاضر بررسی و مقایسهٔ میزان اثربخشی پروتکل نوروفیدبک مبتنی بر الگوی الکتروانسفالوگرافی افراد ماهر بود. نتایج مربوط به بررسی اصلی‌ترین سؤال پژوهش نشان داد که گروه نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر نسبت به گروه نوروفیدبک بتا/تتا و کنترل در طول مرحلهٔ اکتساب و یادداری عملکرد بهتری داشتند.

نتایج پژوهش حاضر اختلافات اساسی با تحقیق رینگ و همکارانش دارد. بر اساس گزارش ایشان پروتکل تمرینی نوروفیدبک مبتنی بر الگوی افراد ماهر نه‌تنها بر روی عملکرد گلف‌بازان تأثیری نداشت بلکه در انتقال مهارت در شرایط پرفشار نیز ناموفق بود. علت اختلاف مشاهده‌شده روش به‌کار گرفته‌شده در پژوهش رینگ و همکاران بود (رینگ و همکاران، ۲۰۱۵). اول اینکه این محققان با فرض اینکه کاهش توان آلفای بالا در لحظاتی پیش از ضربه به بهبود عملکرد منجر می‌شوند، پروتکل خود را طراحی کردند، حال آنکه به نظر می‌رسد فعالیت موج آلفا برای رشته گلف چندان‌که به نظر می‌رسد کلیدی نباشد. از سوی دیگر این محققان در جمع‌بندی خود اعلام می دارند که شاید تعداد جلسات کم تمرینی فرصت لازم برای مشاهده تغییر در عملکرد را فراهم نکرده باشد. باید توجه داشت که یکی از ویژگی‌های فرایند شلیک چه در تیراندازی و چه در تیروکمان حفظ و کنترل آرامش و توجه است. از آنجا که این ورزشکاران چندین و چند بار باید شلیک خود را تکرار کنند بیش از هر چیزی نیازمند حفظ توجه و تمرکزند. در فرایند شلیک انقباض عضلانی تنظیم‌شده، کنترل تنفس، هدف‌گیری بصری، تمرکز ذهنی ضروری است. از آنجایی که در رشتهٔ تیراندازی، اعمال پیچیده هماهنگی دیداری- فضایی و زمان‌بندی درطی تمرین شلیک لازم است، بنابراین تمرین به کاهش فعالیت عصبی در مرحلهٔ آماده‌سازی حرکتی و در نتیجه سازماندهی عصبی منجر می‌شود. به‌طور کلی ارتباط ایده‌آلی در بین نواحی مختلف مغز باید وجود داشته باشد تا یک تکلیف به‌درستی انجام شود. در انجام تکالیف مختلف چنانچه ارتباط زیادی بین نواحی مختلف مغز وجود داشته باشد انرژی زیادی برای انجام آن تکلیف اختصاص می‌یابد که به عدم استفاده مناسب از منابع منجر می‌شود. در حیطه‌های بینایی- فضایی، تکلیف‌های هدفدار (شلیک) به کاهشی نسبی در انسجام (سطح ارتباط بین هر دو قسمت مغز به‌طور همزمان) افراد ماهر منجر می‌شود. این قبیل انسجام‌های مشخص در

1. Davids
2. Paul
3. Dan

نخبگانی که به سطوح خودکاری دست یافتند، به‌طور معناداری کاهش یافته و منعکس‌کنندهٔ پردازش اجرا درطی برنامه‌ریزی حرکتی است (رینگ و همکاران، ۲۰۱۵).

بر اساس فرضیهٔ کارایی عصبی مغز یک فرد حرفه‌ای برای آماده‌سازی و انجام یک فعالیت، نیازمند دستیابی به منابع کمتری است. بنابراین در افراد ماهر و نخبه، به دنبال تمرین، تکلیف به‌طور اقتصادی‌تر، با تلاش شناختی کمتر و با فعالیت نواحی کمتری از مغز انجام می‌شود. در عوض افراد مبتدی نیازمند ارتباطات بالایی بین نواحی پیشانی و قشر حرکتی، آهیانه و نواحی گیجگاهی راست هستند تا حیطه‌های حرکتی، حسی- بدنی و بینایی تکلیف را مورد توجه قرار دهند (برتولو و همکاران، ۲۰۱۶)؛ بنابراین دور از ذهن نخواهد بود پروتکلی که بر اساس نقشهٔ مغزی افراد ماهر تنظیم می‌شود نسبت به پروتکل‌هایی که حاصل مطالعات اختلالات مختلف است، به نتایج مثبت‌تری منجر خواهد شد. علاوه‌بر این، اطلاع شرکت‌کنندگان از برگزاری آزمون یادداری پس از تعداد جلسات زیاد تمرینی و افزایش انگیزه و رقابت در بهبود رکوردها در این آزمون سبب شده که رکوردها در آزمون یادداری نسبت به جلسه آخر تمرین بهبود یابند. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود به‌منظور از بین بردن آثار موقتی متغیرهای اجرایی از آزمون یادداری با فاصله یادداری بیشتر استفاده شود.

همان‌طورکه گفته شد، پروتکل‌های نوروفیدبک بر اساس اینکه کدام فرکانس، در کدام نواحی مورد تمرین قرار گیرد، متفاوت خواهد بود؛ بنابراین بر اساس نیازهای تکلیفی برشمرده‌شده برای تیراندازی چندین پروتکل مختلف را می‌توان بر اساس نقشهٔ مغزی افراد ماهر پیاده‌سازی کرد. پروتکل EEG افراد ماهر از مناطق پیشانی مربوط به چشم، مناطق پیش‌حرکتی[1]، چین‌خوردگی‌های مخروطی مغز[2] (قسمتی از نواحی آهیانه‌ای) سمت چپ و همچنین چین‌خوردگی‌های زاویه‌ای[3] (شاخه‌های فرعی منطقهٔ ورنیکه) تشکیل می‌شود. قشر پیش- حرکتی (Fz) در لوب پیشانی مغز است. عملکرد این ناحیه شامل برنامه‌ریزی حرکتی، تصویرسازی، آماده‌سازی حرکت، توجه بینایی- حرکتی، کنترل ارادی تنفس و همچنین شامل حافظهٔ کاری است. به‌علاوه عملکرد مناطق پیشانی مربوط به چشم (F4) شامل یادگیری حرکتی، تصویرسازی حرکتی کنترل حرکتی، حرکت‌های افقی چشم و برنامه‌ریزی است. به‌نظر می‌رسد ترکیبی از این دو نقطه می‌تواند در تیراندازی نقش بسزایی داشته باشند، به‌طوری‌که کاهش موج تتا در این نقاط می‌تواند نقش بسزایی در افزایش تمرکز ورزشکاران این رشته داشته باشد. اِگنر[4] و همکاران (۲۰۰۴) عنوان می‌کنند که پروتکل ریتم حسی حرکتی/تتا موجب افزایش ادراک حسی اولیه، خطای ناشی از غفلت و تغییرپذیری زمان واکنش می‌گردد و پروتکل بتا به واکنش سریع‌تر منجر می‌شود، عملکرد نواحی چین‌خوردگی مخروطی (P7) شامل تثبیت بینایی، توجه پایدار به اهداف و رنگ‌ها و همچنین اثرات حرکتی است. عملکرد چین‌خوردگی های زاویه‌ای (P3) نیز شامل توجه تمرکز فضایی و برنامه‌ریزی توالی حرکتی است. افزایش موج آلفا در این نقاط (P3 و P7) می‌تواند در آرامش افراد برای رسیدن به یک حالت ثبات درونی قبل از شلیک سودمند واقع شود. فرکانس آلفای پایین با حیطه‌های توجه ارتباط دارد درحالی‌که فرکانس‌های آلفای بالا با حافظه معنایی در ارتباط است. به‌طور کلی افزایش موج آلفا یا کاهش فعالیت مغز در نیمکرهٔ چپ در نواحی پس‌سری و آهیانه‌ای حاکی از کاهش خودگفتاری مغز چپ بوده که در نتیجه این فرایند نیمکره راست بر فرایند پردازش فضایی- دیداری یا همان هدف‌گیری و تثبیت تسلط بیشتری خواهد داشت (اِگنر و همکاران، ۲۰۰۴) ؛ با توجه به پروتکل‌های متعدد برای بهبود فاکتورهای اساسی تیراندازی انتخاب پروتکل مناسب کار سختی خواهد بود. مطالعه و مقایسهٔ الگوی فعالیت قشری در اجراهای موفق و ناموفق و همچنین ورزشکاران خبره و ورزشکاران مبتدی می‌تواند مبنایی مستند برای پروتکل‌های نوروفیدبک ایجاد کند. محققان بر اساس عملکردهای موفق، الگوهای مغزی را استخراج کرده و بر اساس آن پروتکل تمرینی طراحی کردند که موجب افزایش تعداد ضربات موفق می‌شود؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد هرچه پروتکل تخصصی‌تر بوده و ویژهٔ رشته و پست طراحی شده باشد، کارامدتر خواهد بود (آرنز و همکاران، ۲۰۰۷).

---

1. Premotor cortex
2. Fusiform gyrus
3. Angular gyrus
4. Egner

آخرین نتیجهٔ پژوهش حاضر نشان داد که گروه‌های نوروفیدبک بتا/تتا (P=۰/۰۰۶) و نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر (P=۰/۰۰۳) در مرحلهٔ انتقال به‌طور معنادار عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل داشتند؛ اما بین میانگین‌های دو گروه نوروفیدبک بتا/ تتا و تخصصی در مرحلهٔ انتقال تفاوت معناداری وجود نداشت (P=۰/۹۵۴). نتایج در مرحلهٔ انتقال با نتایج تحقیقات ورتنر، کریستی و دوپی[1] (۲۰۱۳) که عنوان کردند ورزشکاران مختلف برای رسیدن به مدال طلای المپیک و قهرمانی در سطوح مختلف ورزشی از تمرینات نوروفیدبک سود برده‌اند، در یک راستاست (ورتنر و همکاران، ۲۰۱۳). از سوی دیگر بهبود عملکرد در مرحلهٔ انتقال مخالف نتایج تحقیق رینگ و همکاران (۲۰۱۵) است که نشان می‌دهد عملکرد افراد در شرایط تحت فشار و جدید تفاوت معناداری با گروه کنترل ندارد؛ اما علت اینکه چرا بین دو گروه نوروفیدبک در مرحلهٔ انتقال تفاوت وجود ندارد، می‌توان به تکلیف انتقال انتخابی اشاره کرد. بر اساس نظریهٔ عناصر همانند ثورندیک و وودورث (۱۹۰۱) هرچه دامنهٔ عوامل مشابه و مشترک بین آموزش و تکلیف انتقال به یکدیگر نزدیک‌تر باشد انتقال بهتری صورت می‌گیرد (اشمیت و ریسبرگ[2]، ۲۰۰۴). درحالی‌که در تحقیق حاضر تکلیف انتقال، تغییر دست شلیک بود که شاید عملاً چنین اتفاقی در تمرینات و مسابقات تیراندازی غیرعملی، نادر و ناکارامد باشد. تیراندازی یک مهارت بسته است و ازاین‌رو انتخاب تکلیف انتقال در این نوع مهارت‌ها نسبت به مهارت‌های باز (تغییر بعد، زاویه و ...) دشوارتر و محدودتر است. بر اساس دیدگاه جنتایل (۱۹۸۷) برخی از جنبه‌های زمینه‌ای اجرا برای تعیین ویژگی یک عمل اساسی است (شرایط تنظیمی) و برخی جنبه‌های دیگر (شرایط غیرتنظیمی) بر آن اثری ندارد یا اثر آن ناچیز است و این ویژگی‌های تنظیمی و غیرتنظیمی هر مهارت در انتقال بین تمرین و انتقال مؤثر است. جنتایل عنوان می‌کند در مهارت‌های بسته باید دو ویژگی مهم ترکیب شود تا نتیجهٔ مطلوب مشاهده شود: اول، تمرین باید در شرایطی شبیه به آزمون‌های یادداری و رقابتی باشد، دوم اینکه باید شرایط تنظیمی را ثابت نگه داشته و شرایط غیر تنظیمی را تغییر دهد. با توجه به اینکه پروتکل‌های اعمال‌شده در نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر بیشتر افزایش تمرکز و آرامش را تغییر می‌دهند، بنابراین دور از تصور نخواهد بود که نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر نسبت به نوروفیدبک بتا/ تتا ارجحیت خاصی بر انتقال مهارت بر دست دیگر نداشته باشد، چراکه ممکن است در چنین انتقالی جنبه‌های دیگر مهارت همچون تنظیم انقباض عضلانی در اولویت باشد. ازاین‌رو بهتر بود برای تکلیف انتقال در تیراندازی شرایط پرفشاری فراهم می‌شد که در مرحلهٔ اکتساب و یادداری وجود نداشت؛ بنابراین در انتخاب تمرینات و آزمون‌ها جنبه‌ها و ویژگی‌های تنظیمی و غیرتنظیمی بسیار مهم هستند.

برای جمع‌بندی نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان گفت پروتکل نوروفیدبک مبتنی بر الگوی مغزی تیراندازان ماهر به پروتکل نوروفیدبک بتا/ تتا برای بهبود عملکرد تیراندازی ارجحیت دارد، چراکه پروتکل‌های عمومی مختص رشتهٔ خاصی نیستند و صرفاً بر اساس مرور ادبیات پیشین و کارکردهای امواج مختلف در اختلالات گوناگون تعریف شده‌اند، حال آنکه پروتکل تخصصی مربوط به یک رشته ورزشی و بر اساس نقشه مغزی ورزشکاران نخبه تعریف شده که به همین علت احتمالاً اثربخشی بیشتری خواهد داشت. این نتایج به‌نوعی می تواند مؤید فرضیهٔ اختصاصی بودن تمرین نیز باشد. مطابق با این فرضیه مؤثرترین حالت یادگیری زمانی واقع می‌شود که محیط و شرایط حرکتی جلسات تمرینی نیازها و ضروریات تکلیف، یا به‌عبارت دیگر مهارت هدف و بافت اجرا را به شکل دقیقی بازسازی و شبیه‌سازی کند. به‌عبارت دیگر هرچه شرایط تمرینی نزدیک‌تر به شرایط آزمون یادداری یا انتقال باشد یادگیری بیشتر رخ می‌دهد (اشمیت و ریسبرگ، ۲۰۰۴). حال اگر فرض کنیم که ورزشکاران ماهر، باتجربه و تمرین به نقشهٔ مغزی دست یافته‌اند که به بهبود عملکرد در بازی یا مسابقه منجر می‌شود، بنابراین هرچه پروتکل تمرینی نوروفیدبک شباهت بیشتری با نقشهٔ مغزی اختصاصی ورزشکاران نخبه در رویداد ورزشی باشد، نتیجه بهتری از تمرینات خواهیم گرفت. بر اساس همین فرضیهٔ اختصاصی بودن تمرین، فراهم کردن نوروفیدبک حین اجرای تکلیف یا تمرین فیزیکی این مزیت را به‌همراه خواهد داشت که شرکت‌کنندگان می‌توانند راهبردهای گوناگون را آزمون کنند تا تعیین کنند که چگونه می‌توانند با استفاده مؤثر از منابع عصبی مرتبط با دامنه شناختی هدفمند به بهترین عملکرد دست یابند.

1. Werthner
2. Schmidt & Wrisberg

با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان گفت که پروتکل مبتنی بر EEG افراد ماهر می‌تواند بسیار سودمندتر از پروتکل عمومی در تیراندازی باشد و روند رسیدن به اوج اجرا را بهبود و تسریع می‌بخشد. ازاین‌رو پژوهش در زمینه پروتکل‌های نوروفیدبک می‌تواند با اضافه کردن اطلاعات در مورد ارتباط مغز و نخبگی، روند پیشرفت و رسیدن به اوج اجرا و برتری را تسریع کند. از سوی دیگر بر اساس مراحل پنج‌گانه وینگیت در خصوص تمرینات نوروفیدبک پیشنهاد می‌شود، تمرین نوروفیدبک در محیطی با استرس رقابتی شبیه‌سازی شده و آماده‌سازی انتقال از محیط آزمایشگاه به محیط واقعی لحاظ شود. همچنین در ارائهٔ پروتکل باید ویژگی افراد و نیازهای متفاوت رشته و هدف مورد توجه قرار گیرد. به‌دلیل همین پیچیدگی‌ها نمی‌توان الگوی مشخصی را برای بهبود اجرا یافت اما حتماً باید این‌گونه متغیرها در انتخاب پروتکل لحاظ شود. به نظر می‌رسد افراد ماهر و یا نخبه که مراحل آموزش اولیه را قبلاً سپری کرده‌اند و تغییرات لازم برای بهبود حرکت را در مراحل یادگیری پشت سر گذارده‌اند، نیاز به پروتکل‌های دیگری دارند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در آینده با در نظر داشتن سطح مهارت، پروتکل‌هایی برای اوج اجرا و بهبود عملکرد افراد ماهر نیز معرفی شود. در پژوهش‌های آتی می‌توان معرفی پروتکل‌های نوروفیدبک مبتنی بر کوشش‌های موفق و پروتکل‌های مبتنی بر خبرگی برای سایر رشته‌های هدف‌گیری مانند تیراندازی با اهداف پروازی و تیروکمان را در دستور کار قرار داد تا اثربخشی این‌گونه پروتکل‌ها نسبت به پروتکل‌های عمومی مورد سؤال قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

از همهٔ کسانی که پژوهشگران را در انجام این تحقیق یاری کردند کمال تشکر را داریم.

References

Arns M, Kleinnijenhuis M, Fallahpour K, & Breteler R. (2007). Golf performance enhancement and real-life neurofeedback training using personalized eventlocked EEG profiles. *Journal of Neurotherapy*,11, 11-18. https://doi.org/10.1080/10874200802149656

Babiloni C, Del Percio C, Iacoboni M, Infarinato F, Lizio R, Marzano N, et al. (2008). Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms. *Journal of Physiology*, 586, 131-139. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.141630

Babiloni C, Marzano N, Iacoboni M, Infarinato F, Aschieri P, Buffo P, Cibelli G, Soricelli A, Eusebi F, Del Percio C. (2010). Resting state cortical rhythms in athletes: a high-resolution EEG study. *Brain Research Bullettin*, 81:149–156. https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.10.014

Bertollo M, di Fronso S, Filho E, Conforto S, Schmid M, Bortoli L, Comani S, Robazza C. (2016). Proficient brain for optimal performance: the MAP model perspective. *Peer Journal*. 25;4:e2082. https://doi.org/10.7717/peerj.2082

Bluschke, A., Broschwitz, F., Kohl, S., Roessner, V., & Beste, C. (2016a). The neuronal mechanisms underlying improvement of impulsivity in ADHD by theta/beta neurofeedback. *Scientific Reports*, 6, 31178. https://doi.org/10.1038/srep31178

Bortoli L, Bertollo M, Hanin Y, Robazza C. (2012). Striving for excellence: a multi-action plan intervention model for shooters. *Psychology of Sport and Exercise*, 13:693–701. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.04.006

Chang. (2014). Reorganization and plastic changes of the human brain associated with skill learning and expertise. *Human neuroscience*. 8, 1-7. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00035

Cheng MY, Wang KP, Hung CL, Tu YL, Huang CJ, Koester D, Schack T, Hung TM. (2017). Higher power of sensorimotor rhythm is associated with better performance in skilled air-pistol shooters. *Psychology of Sport and Exercise*,. 1;32:47-53. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.05.007

Cheron G, Petit,G, Cheron J, Leroy A, Cebolla A, Cevallos C, Petieau M, Hoellinger T, Zarka D, Clarinval AM. (2016). Brain oscillations in sport: toward EEG biomarkers of performance. *Frontiers in Psychology*, 7. 246. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00246

Cooke A, Kavussanu M, Gallicchio G, Willoughby A, Mcintyre D, Ring C. (2014). Prepa- ration for action: psychophysiological activity preceding a motor skill as a function of expertise performance outcome and psychological pressure. *Psychophysiology*,51:374–384. https://doi.org/10.1111/psyp.12182 Dan, A. (2016). Supporting and developing self-regulatory behaviours in early childhood in young children with high levels of impulsive behaviour. *Contemporary Issues in Education Research (CIER)*, 9(4), 189-200. https://doi.org/10.19030/cier.v9i4.9789

Davids K W, Button C, & Bennett S J. (2008). *Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach*. Human Kinetics.

Del Percio C, Babiloni C, Marzano N, Iacoboni M, Infarinato F, Vecchio F, Lizio R, Aschieri P, Fiore A, Toràn G, Gallamini M, Baratto M, Eusebi F. (2009b). "Neural efficiency" of athletes' brain for upright standing: a high-resolution EEG study. *Brain Research Bulletin*, 79:193–200. https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.02.001

Del Percio C, Infarinato F, Iacoboni M, Marzano N, Soricelli A, Aschieri P, Eusebi F, Babiloni C. (2010). Movement-related desynchronization of alpha rhythms is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study. *Clinical Neurophysiology*,121:482–491. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.12.004

Del Percio C, Infarinato F, Marzano N, Iacoboni M, Aschieri P, Lizio R, Soricelli A, Limatola C, Rossini PM, Babiloni C. (2011). Reactivity of alpha rhythms to eyes opening is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study. *Inter- national Journal of Psychophysiology*. 82:240–247 . https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.09.005

Di Fronso S, & Robazza Filho C. E, Bortoli L, Comani S, Bertollo M. (2016). Neural markers of performance states in an Olympic Athlete: an EEG case study in air-pistol shooting. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15, 215-223.

Egner T, Zech TF, Gruzelier JH. (2004). The effects of neurofeedback training on the spectral topography of the electroencephalogram. *Clinical Neurophysiology*, 115 (11):2452-60. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.05.033

Eysenck MW, Derakshan N. (2011). New perspectives in attentional control theory. *Personality and Individual Differences*, 50:955–960. https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.08.019

Gong A, Nan W, Yin E, Jiang C, Fu Y. (2020). Efficacy, Trainability, and Neuroplasticity of SMR vs. Alpha Rhythm Shooting Performance Neurofeedback Training. *Frontiers in Human Neuroscience*, 20;14:94. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00094

Gong, A., Gu, F., Nan, W., Qu, Y., Jiang, C., & Fu, Y. (2021). A review of neurofeedback training for improving sport performance from the perspective of user experience. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 638369. https:// doi. org/ 10. 3389/ fnins. 2021. 638369

Hammond, D. C. (2007). What is neurofeedback? *Journal of Neurotherapy*, 10, 25-26. https://doi.org/10.1300/J184v10n04_04

Hatfield BD, Kerick SE. (2007). The psychology of superior sport performance: a cognitive and affective neuroscience perspective. In: Eklund RC, Tenenbaum G, eds. *Handbook of sport psychology*. 3rd edition. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 84–109. https://doi.org/10.1002/9781118270011

Kolb B, Gibb R, & Robinson T E. (2003). Brain plasticity and behavior. *Current Directions in Psychological Science*.; 12, 1-5. https://doi.org/10.1111/1467-8721.01210

Mirifar A, Beckmann J, & Ehrlenspiel F. (2017). Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: A systematic review with implications for future research. *Neuroscience Biobehavio Review*, 75, 419–432. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.02.005

Paul M, Ganesan S, Sandhu JS & Simon JV. (2012). "Effect of sensory Motor Rhythm neurofeedback on Physiological, Electro-Encephalografic Measures and Performance of Archery players". *Ibnosina Journal of Medicine and Biomedical Sciences*. 4 (2):32-39. https://doi.org/ 10.4103/1947-489X.210753

Ring C, Cooke A, Kavussanu M, McIntyre D, Masters R. (2015)Investigating the efficacy of neurofeedback training for expediting expertise and excellence in sport. *Psychology of Sport and Exercise*,16, 118-127. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.08.005

Rostami R, Sadeghi H, Allah Karami K, Nosrat Abadi M & Salamati P. (2012).The Effects of Neurofeedback on the Improvement of Rifle Shooters' Performance. *Journal of Neurotherapy*, 16:264–269.

Salehi M, Amini H, Mohammad Zadeh H. (2015).Comparison of the Effects of Neurofeedback and Mental Imagery Practice on the Performance and Learning of Darts Skill. *Neuropsychology*, 1(1): 86- 103 (In Persian)

Skinner, B. F. (1963). Operant behavior. *American Psychologist*.; 18, 503-515.

Thompson T, Steffert T, Ros T, Leach J, & Gruzelier J. (2008). EEG applications for sport and performance. *Methods*.; 45, 279-288. (11):2452-60. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.05.033. PMID: 15465432.

Vernon D J. (2005). Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*.; 30, 347-363. https://doi.org/10.1007/s10484-005-8421-4

Wang, K. P., Cheng, M. Y., Chen, T. T., Huang, C. J., Schack, T., & Hung, T. M. (2020). Elite golfers are characterized by psychomotor refinement in cognitive-motor processes. *Psychology of Sport and Exercise, 50*, 101739. https:// doi. org/ 10. 1016/j. psych sport. 2020. 101739

Wang, Kuo-Pin et al. (2022). "Neurofeedback training: Decreases in Mu rhythm lead to improved motor performance in complex visuomotor skills." *Current psychology (New Brunswick, N.J.)*, 1-12. https://doi.org/10.1007/s12144-022-03190-z

Werthner P, Christie S, Dupee M. (2013). Neurofeedback and biofeedback training with Olympic athletes. *Neuroconnections*, 2:32-8.

Zaichkowsky, L. (2012). Psychophysiology and neuroscience in sport: introduction to the special issue. *Journal of Clinical Sport Psychology*. 6(1), 1-5. https://doi.org/ 10.1123/jcsp.6.1.1