University of Tehran Press

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

Investigating the Alpha Power in Successful and Unsuccessful Free Throws of Elite and Novice Basketball Players

Fatemeh Keshvari [1], Alireza Farsi [2]✉, Behrooz Abdoli [3]

1. Department of Cognitive and Behavioral Sciences and Technology in Sport. Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: fa_keshvari@sbu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Cognitive and Behavioral Sciences and Technology in Sport. Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a_farsi@sbu.ac.ir
3. Department of Cognitive and Behavioral Sciences and Technology in Sport. Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: B-Abdoli@sbu.ac.ir

Article Info

Article type: Research

Article history:
Received:
4 May 2023
Received in revised form:
8 July 2023
Accepted:
9 July 2023
Published online:
22 December 2023

Keywords:
Alpha power,
Electroencephalography,
Elite,
Novice.

ABSTRACT

Introduction: This study aimed to investigate alpha power in successful and unsuccessful free throws of elite and novice basketball players.

Methods: The current research was quasi-experimental and was implemented in a time series design. Two Elite (10 participants with a mean age of 22.25 ± 1.34) and Novice (10 participants with a mean age of 22.55 ± 1.80) groups participated voluntarily. The data were measured using 28 electrodes from a 32-channel wireless device and were analyzed using the repeated measures analysis of variance test ($p \geq 0.05$).

Results: The alpha power of the elite group was higher than the novice group (P=0.001). The successful throws showed lower alpha power than unsuccessful throws (P=0.006). In the comparison of the two groups, the alpha power in the unsuccessful throws of the elite group was higher than in their successful throws (p=0.001), but no difference was observed between the alpha power of the successful and unsuccessful throws of the novice group (p=0.584). The alpha power during the execution time of the free throw task was higher than the pre-execution time ($p<0.005$), but there was no difference between the first and second pre-execution times (p=1.000). The results of the present study showed that the elite group had higher cortical activity than the novice group in all electrodes ($p<0.001$).

Conclusion: The findings show that the elite group performed the task with less cortical complexity by inhibiting irrelevant information. In addition, the decrease in alpha power in successful throws indicates an increase in activation of cerebral cortex and an increase in concentration, so that the task can be performed with fewer neural resources.

Cite this article: Keshavari, F., Farsi, A., & Abdoli, B. (2023). Investigating the Alpha Power in Successful and Unsuccessful Free Throws of Elite and Novice Basketball Players. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 15 (4), 37-53.
DOI: https://doi.org/10.22059/jsmdl.2023.358755.1718

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

Studies have revealed measurable changes in the activity of the cerebral cortex with achieving increasing levels of expertise. Many reports agree on increased alpha in successful performance, while increased alpha has not been consistently associated with improved performance in the sports literature. As these findings were mainly recorded in shooting tasks, other self-paced tasks (a task performed in a stable and predictable environment whose start is decided by the performer) such as basketball free throws have been less addressed. Thus, the present research examined the differences in alpha power in successful and unsuccessful free throws of elite and novice basketball players several seconds before and during the skill execution.

Methods

The current quasi-experimental research was conducted in the form of a time-series design. The research participants included 20 basketball players who voluntarily participated in the research. They were assigned into two Elite (10 participants with a mean age of 22.25 ± 1.34) and Novice (10 participants, with a mean age of 22.55 ± 1.80) groups. A 32-channel wireless EEG device was used to record brain signal data. A total of 28 electrodes (FP1-FP2), (AF3-AF4), (F3-F4), (F7-F8), (FC1-FC2), (FC5-FC6), (C3-C4), (T7-T8), (CP1-CP2), (CP5-CP6), (P3-P4), (P7-P8), (PO3-PO4), and (PO7-PO8) were considered according to the 10-20 international system. The EEG data of the participants were recorded during basketball free throws for five trials. The repeated measures analysis of variance test with 2 (group) x 2 (performance) x 3 (time) x 28 (electrode) design was used to compare the differences in the EEG data of elite and novice groups at different times. The $P<0.05$ was considered as the significance level and the data were analyzed using SPSS version 24 software.

Results

The alpha power of the elite group was higher than the novice group ($P=0.001$). The successful throws showed lower alpha power than unsuccessful throws ($P=0.006$). In the comparison of the two groups, the alpha power in the unsuccessful throws of the elite group was higher than in their successful throws ($p=0.001$), but no difference was observed between the alpha power of the successful and unsuccessful throws of the novice group ($p=0.584$). The alpha power during the execution time of the free throw task was higher than the pre-execution time ($p<0.005$), but there was no difference between the first and second pre-execution times ($p=1.000$). The results of the present study showed that the elite group had higher cortical activity than the novice group in all electrodes ($p<0.001$). Unsuccessful throws had higher activity than successful throws in electrodes Fp1, Fp2, Af3, F7, F3, Fc5, Fc1, C4, Cp2, Cp6. P7, P3, and P4 ($P<0.05$).

Conclusion

The elite group seems to execute more automated throws through lower activation of cortical areas (increased alpha) and inhibiting task-irrelevant information. The results showed the presence of lower alpha power before successful throws compared to unsuccessful throws, reflecting more neural resources devoted to detailed planning in skill execution. The lack of difference in alpha power of successful and unsuccessful throws of the novice group may be assigned to their fewer training experiences. The present study strongly confirms the higher importance of EEG features by approaching the execution time. Many reports have also regarded asymmetry in favor of the left hemisphere as an indicator of expertise. However, obvious discrepancies can be found in the hemispheric asymmetry of self-paced tasks. In this case, the pattern of hemispheric asymmetry could be task-specific, so that alpha cortical reactivity in a group of tasks such as shooting with a rifle, pistol, and archery is different from other tasks such as golf putting and basketball free throws. The results of the present research, however, suggest a relationship between the increased alpha power in the left hemisphere and unsuccessful performance, which is in line with some reports. These findings not only indicate the importance of refining brain processes but also determine essential cognitive-motor processes for superior performance of the athletes.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: The ethics committee of Shahid Beheshti University approved the study procedures (Code: IR.SBU.REC.1400.167).

Funding: No specific funding was used.

Authors' contribution: This article was extracted from the doctoral thesis of the first author, who was responsible for the implementation of the project, sample recruitment, intervention sessions, and analysis and review of the results. The corresponding author supervises the implementation phases of the research and revision of the article. The last author was in charge of guidance in the field of research methods and data analysis.

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 ورزشی
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۵۴۷
انتشارات دانشگاه تهران

بررسی توان آلفا در پرتاب‌های آزاد موفق و ناموفق بسکتبالیست‌های نخبه و نوآموز

فاطمه کشوری[۱]، علیرضا فارسی[۲]✉، بهروز عبدلی[۳]

۱. گروه علوم رفتاری، شناختی و فناوری ورزشی، دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: fa_keshvari@sbu.ac.ir

۲. نویسندهٔ مسؤول، گروه علوم رفتاری، شناختی و فناوری ورزشی، دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_farsi@sbu.ac.ir

۳. گروه علوم رفتاری،شناختی و فناوری ورزشی، دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: B-Abdoli@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/ ۲/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/ ۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/ ۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۱

کلیدواژه‌ها:
الکتروانسفالوگرافی، توان آلفا، نخبه، نوآموز.

چکیده

مقدمه: هدف از تحقیق حاضر، بررسی توان آلفا در پرتاب‌های آزاد موفق و ناموفق بسکتبالیست‌های نخبه و نوآموز بود.

روش پژوهش: پژوهش حاضر نیمه‌تجربی بود و در قالب طرح سری‌های زمانی اجرا شد. دو گروه نخبه (۱۰ آزمودنی با میانگین سنی ۱/۳۴ ± ۲۲/۲۵ سال) و نوآموز (۱۰ آزمودنی با میانگین سنی ۱/۸۰ ± ۲۲/۵۵ سال) به‌صورت داوطلبانه مشارکت داشتند. داده‌ها با استفاده از ۲۸ الکترود از یک دستگاه ۳۲ کانالهٔ بی‌سیم اندازه‌گیری و با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر تحلیل شد ($P\leq ۰/۰۵$).

یافته‌ها: توان آلفای گروه نخبه بالاتر از گروه نوآموز بود ($P=۰/۰۰۱$). پرتاب‌های موفق نسبت به پرتاب‌های ناموفق توان آلفای کمتری را نشان داد ($P=۰/۰۰۶$). در مقایسهٔ دو گروه، توان آلفا در پرتاب‌های ناموفق گروه نخبه نسبت به پرتاب‌های موفق آن‌ها بیشتر بود ($P=۰/۰۰۱$)، اما بین توان آلفای پرتاب‌های موفق و ناموفق گروه نوآموز تفاوتی مشاهده نشد ($P=۰/۵۸۴$). توان آلفا در زمان اجرای تکلیف پرتاب آزاد بالاتر از زمان‌های قبل بود ($P<۰/۰۰۵$)، اما بین زمان اول و دوم تفاوتی نبود ($P=۰/۰۰۱$). نتایج نشان داد که گروه نخبه فعالیت قشری بالاتری نسبت به گروه نوآموز در همهٔ الکترودها داشتند ($P<۰/۰۰۱$).

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان می‌دهد که گروه نخبه با مهار اطلاعات نامربوط تکلیف را با پیچیدگی قشری کمتری اجرا کردند. همچنین کاهش توان آلفا در پرتاب‌های موفق نشان‌دهندهٔ افزایش فعال‌سازی قشر مغز و افزایش تمرکز است تا در نهایت تکلیف با منابع عصبی کمتری اجرا شود.

استناد: کشوری، فاطمه؛ فارسی، علیرضا؛ و عبدلی، بهروز (۱۴۰۲). بررسی توان آلفا در پرتاب‌های آزاد موفق و ناموفق بسکتبالیست‌های نخبه و نوآموز. *نشریهٔ رشد و یادگیری حرکتی ورزشی*، (۴) ۱۵، ۳۷-۵۳.

DOI:https://doi.org/10.22059/jsmdl.2023.358755.1718

این نشریه 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

محققان حوزهٔ یادگیری حرکتی بیان کرده‌اند که «عملکرد ماهرانه با سطوح بالای خودکار بودن، حداقل مصرف انرژی و کاهش زمان حرکت» تعریف می‌شود (لی و اسمیت[۱]، ۲۰۲۱؛ ویکرز و ویلیامز[۲]، ۲۰۱۷). علاوه‌بر این عملکرد بهینهٔ ورزشی معمولاً با کارایی بیومکانیکی و متابولیکی مشخص می‌شود (دنی[۳] و همکاران، ۲۰۰۳). برخلاف دانش ما در مورد بسیاری از سازگاری‌های فیزیولوژیکی تمرینات ورزشی، ویژگی‌های عصبی شناختی اوج عملکرد در ورزش، کمتر شناخته شده است (تن[۴] و همکاران، ۲۰۱۹). برای مثال در بسکتبال، استفن کری[۵] دو فصل متوالی رکورد شوت سه امتیازی را شکست؛ صحبت در مورد مکانیک‌های سبک شوت او بی‌پایان است، اما اشارهٔ اندکی به این احتمال وجود دارد که او توانایی زیادی برای تمرکز ذهنی قبل و یا هنگام شوت زدن داشته باشد. او بازیکن قدبلندی نیست (طبق استانداردهای اتحادیهٔ ملی بسکتبال[۶] یا *NBA*) و مانند دیگر ورزشکاران بزرگی (چون لئونل مسی[۷]، دیگو مارادونا[۸] و پله[۹]) است که در مقایسه مقایسه با هم تیمی‌ها و حریفان خود، قوی‌ترین یا بلندقدترین ورزشکار تیم نبودند (ویکرز و ویلیامز، ۲۰۱۷). افزون‌بر این گزارش شده است که مجریان خبره برای اجرای یک تکلیف معین از پردازش قشری[۱۰] مناسب‌تری نسبت به اجراکنندگان با مهارت کمتر استفاده می‌کنند که به کیفیت بهتر و خروجی حرکتی سازگارتری منجر می‌شود (هتفیلد و هیلمن[۱۱]، ۲۰۰۱؛ دنی و همکاران، ۲۰۰۳).

در سال‌های اخیر، تحقیقات فزاینده‌ای در زمینهٔ علوم اعصاب برای تفسیر عملکرد ورزشکاران انجام گرفته است (لی و اسمیت، ۲۰۲۱). گزارش‌ها ارتباط نزدیک بین فعالیت‌های عصبی ورزشکاران در طی اجرای مهارت ورزشی و سطوح تبحر آنها را آشکار کردند (لوز، کالینز و هلمز[۱۲]، ۲۰۰۱؛ علیجانپور و همکاران، ۲۰۱۵؛ چنگ[۱۳] و همکاران، ۲۰۱۵؛ چنگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ وانگ[۱۴] و همکاران، ۲۰۱۷؛ رستمی ارجمند و همکاران، ۲۰۲۱؛ فانگ[۱۵] و همکاران، ۲۰۲۲؛ گو[۱۶] و همکاران، ۲۰۲۲؛ ژانگ[۱۷] و همکاران، ۲۰۲۱؛ چن[۱۸] و همکاران، ۲۰۲۲؛ چنگ چنگ و همکاران، ۲۰۲۳). به‌طوری‌که گفته شده است که با دستیابی به سطوح فزاینده‌ای از تجربه و تخصص، تغییرات قابل اندازه‌گیری در فعال‌سازی عصبی ایجاد می‌شود (ویکرز و ویلیامز، ۲۰۱۷). ازاین‌رو به‌نظر می‌رسد که بررسی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی زیربنای اجرای رفتار ورزشی موضوع تحقیقاتی مهمی در علوم ورزشی باشد (مانچوسکا[۱۹] و همکاران، ۲۰۱۶؛ گو و همکاران، ۲۰۲۲).

در سال ۱۸۷۵ وجود جریان‌های الکتریکی در مغز، توسط ریچارد کاتون[۲۰] کشف شد (تپلان[۲۱]، ۲۰۰۲) و طی سالیان زیادی، الکتروانسفالوگرافی[۲۲] یا *EEG* پیشرفت‌های عظیمی کرد (چرون[۲۳] و همکاران، ۲۰۱۶). این ابزار با ارزیابی رابطهٔ بین مغز و رفتار، به

---

1. Li & Smith
2. Vickers & Williams
3. Deeny
4. Tan
5. Stephen Curry
6. National Basketball Association
7. Lionel Messi
8. Diego Maradona
9. Pele
10. Cortex
11. Hatfield & Hillman
12. Loze
13. Cheng
14. Wang
15. Fang
16. Gu
17. Zhang
18. Chen
19. Mancevska
20. Richard Cotton
21. Teplan
22. Electroencephalography (EEG)
23. Cheron

اندازه‌گیری مستقیم فعالیت عصبی در زمان واقعی می‌پردازد و علی‌رغم وضوح فضایی محدود در مورد منشأ فعالیت عصبی، وضوح زمانی بسیار بالایی دارد که برای ردیابی کنش سریع فرایندهای حسی، شناختی و حرکتی که ذاتاً در رفتار ورزشی وجود دارد، ایده‌آل است (پارک [۱] و همکاران ۲۰۱۵؛ وانگ [۲] و همکاران، ۲۰۱۹). به این ترتیب، *EEG* به‌عنوان یک معیار عصبی برای توصیف وضعیت عملکرد ورزشی در ورزشکاران نخبه پیشنهاد شده است (برای مثال برتولو[۳] و همکاران، ۲۰۱۶؛ دی فرونسو[۴] و همکاران، ۲۰۱۶). محققان با اندازه‌گیری سیگنال‌های *EEG* ورزشکاران در سطوح رقابتی مختلف و نیز تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های مختلف *EEG* (دامنه، فرکانس و ..) رابطهٔ بین عملکرد و مکانیسم‌های عصبی در طول ورزش را بررسی می‌کنند (گو و همکاران، ۲۰۲۲).

مطالعات به بررسی تفاوت‌های قشری بین گروه‌هایی با سطح مهارت و تجارب متفاوت پرداختند (هاتفیلد، لندرز و ری،[۵] ۱۹۸۴؛ سالازار[۶] و همکاران، ۱۹۹۰؛ کالینز[۷] و همکاران، ۱۹۹۰؛ کروز و لندرز[۸]، ۱۹۹۳؛ هافلر[۹] و همکاران، ۲۰۰۰، هیلمن و همکاران، ۲۰۰۰؛ لوز، کالینز و هلمز، ۲۰۰۱؛ علیجانپور و همکاران، ۲۰۱۵؛ قربانی و همکاران، ۲۰۱۹؛ رستمی ارجمند و همکاران، ۲۰۲۱). ویژگی‌های قشری در باندهای فرکانسی مختلف، جنبه‌های مختلف فیزیولوژیکی مغز را منعکس می‌کند (گو و همکاران، ۲۰۲۲). این ویژگی‌ها در بررسی تکالیف پردازش بینایی- فضایی گزارش شده است (هافلر و همکاران ۲۰۰۰؛ پارک و همکاران، ۲۰۱۵؛ گو و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه‌بر این ویژگی‌های *EEG* با نزدیک شدن به زمان اجرا برجسته‌تر می‌شوند (گو و همکاران، ۲۰۲۲). در میان فعالیت‌های نوسانی *EEG*، به‌نظر می‌رسد توان آلفا[۱۰] به‌طور ویژه در عملکرد ورزشی ورزشکاران نقش دارد (بابیلونی[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۸). آلفا غالب‌ترین ریتم در مغز انسان است و نه‌تنها در ورزش، بلکه در ادبیات شناختی نیز، به‌صورت گسترده بررسی شده است (بسار و گونتکین[۱۲]، ۲۰۱۳). تحقیقات از این دیدگاه حمایت می کنند که توان آلفا نقش فعالی در پردازش شناختی بازی می‌کند و به‌عنوان یک مکانیسم مهارکننده یا بازدارندهٔ پردازش‌های قشری مغز (به غیر از پردازش‌های مربوط به بینایی) عمل می‌کند (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ هافلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ شیانگ[۱۳] و همکاران، ۲۰۱۸). این واکنش‌پذیری توان آلفا نشان‌دهندهٔ صرفه‌جویی در پردازش قشر مغز است (هافلر و همکاران، ۲۰۰۰).

بیشتر مطالعاتی که به اندازه‌گیری فعالیت قشر مغز در طی اجرا پرداخته‌اند، در حوزهٔ تکالیف خودگام[۱۴] قرار دارند (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ هافلر و همکاران، ۲۰۰۰، هیلمن و همکاران، ۲۰۰۰؛ لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ کوک[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۵؛ کریستی [۱۶] و همکاران، ۲۰۱۹؛ فیلهو[۱۷] و همکاران، ۲۰۲۱؛ گو و همکاران، ۲۰۲۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۳). تکالیف خودگام آن دسته از تکالیف هستند که در محیط‌های پایدار و پیش‌بینی‌پذیر اجرا می‌شوند و شروع تکلیف توسط مجری تصمیم‌گیری می‌شود؛ از جملهٔ این تکالیف خودگام که توسط ورزشکاران در محیط‌های ورزشی انجام می‌گیرد، می‌توان به تیراندازی با کمان، ضربه گلف و پرتاب آزاد بسکتبال اشاره کرد (زیو و لیدور[۱۸]، ۲۰۱۵). در چنین تکالیفی، فعالیت عصبی موجود در موقعیت‌های منتهی به اجرای مهارت بررسی می‌شود (پارک و همکاران، ۲۰۱۵). حفظ تمرکز بر روی هدف و بی‌توجهی به اطلاعات نامربوط، کلید موفقیت در این نوع ورزش‌هاست (چوانگ [۱۹] و همکاران، ۲۰۱۳). گزارش‌ها در

---

1. Park
2. Wang
3. Bertollo
4. Di Fronso
5. Hatfield
6. Salazar
7. Collins
8. Crews & Landers
9. Haufler
10. Alpha Power
11. Babiloni
12. Basar & Güntekin
13. Xiang
14. Self-paced Tasks
15. Cooke
16. Christie
17. Filho
18. Ziv & Lidor
19. Chuang

در خصوص این نوع از تکالیف، تفاوت‌های زیادی را در توان آلفا بین گروه‌های خبره و مبتدی یا غیرورزشکار در رشته‌های مختلف ورزشی (از جمله تیراندازی با تفنگ، تیراندازی با تپانچهٔ بادی، تیراندازی با کمان و ضربه گلف) نشان داده است (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ سالازار و همکاران، ۱۹۹۰؛ کالینز و همکاران، ۱۹۹۰؛ کروز و لندرز ۱۹۹۳؛ لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ کوک، ۲۰۱۳؛ چنگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ گنگ[1] و همکاران، ۲۰۱۹؛ فانگ و همکاران، ۲۰۲۲). بر این اساس، پیش‌بینی شده است که مجریان ماهر و غیرماهر، به‌دلیل تفاوت در تجارب آموزشی، مشخصات EEG متفاوتی را هنگام هدف‌گیری نشان می‌دهند [هافلر و همکاران، ۲۰۰۰]. بیشتر مطالعات افزایش توان آلفا را در گروه خبره گزارش کرده‌اند (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ هافلر و همکاران، ۲۰۰۰). این افزایش توان آلفا به فعال‌سازی کمتر قشر مغز، آرامش بیشتر و خودکاری در افراد خبره در طول دوره هدف‌گیری منجر شده است (هافلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ هاتفیلد و همکاران، ۲۰۰۴). با این حال، شواهد دیگر این دیدگاه را به چالش می‌کشد. در بررسی سایر محققان افزایش توان آلفا و تغییرات توان آلفا در مرحلهٔ آماده‌سازی و اجرای تکلیف خودگام به عملکرد بدتر منجر شد (سالازار و همکاران، ۱۹۹۰؛ کروز و لندرز، ۱۹۹۳؛ لندرز و همکاران، ۱۹۹۴؛ هیلمن و همکاران، ۲۰۰۰؛ کوک و همکاران، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ کائو[2] و همکاران، ۲۰۲۳).

به‌طور کلی، اکثر پژوهش‌های بررسی‌شده در این حوزه، بر روی تکالیف تیراندازی (تفنگ، تپانچه و تیراندازی با کمان) انجام شده و بررسی محدودی در سایر تکالیف خودگام به‌ویژه پرتاب آزاد بسکتبال صورت گرفته است. تنها مطالعه در تکلیف پرتاب آزاد بسکتبال بروی باند باریک تتا متمرکز شده بود که در آن توان تتای بالا در عملکرد موفق مشاهده شد (چوانگ و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی، تحقیقات توان آلفا را از تعداد محدودی از سایت‌های ثبت، اندازه‌گیری کرده‌اند. بنابراین این تحقیقات تأثیر محدودی بر درک ما از مبنای عصبی عملکرد سطح بالا داشته است (یارو[3] و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین این فرضیه وجود دارد که شناسایی مشخصات EEG متمایز، که مرتبط با عملکرد ماهر است، به درک فرایندهای قشری زیربنای عملکرد سطح بالا کمک می‌کند (موسکلسکی[4] و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین علیرغم توافق بسیاری از تحقیقات در حمایت از اینکه افزایش توان آلفا به بهبود عملکرد برتر منجر می‌شود (هافلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ هاتفیلد و همکاران، ۲۰۰۴)، گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد افزایش توان آلفا به عملکرد بدتر در تکالیف خودگام منجر شده است (سالازار و همکاران، ۱۹۹۰؛ کروز و لندرز، ۱۹۹۳؛ لندرز و همکاران، ۱۹۹۴؛ هیلمن و همکاران، ۲۰۰۰؛ کوک و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین ممکن است واکنش‌پذیری توان آلفا به مهارت‌های مختلف، تکلیف–ویژه باشد و این موضوع ضرورت بررسی سایر تکالیف خودگام مانند پرتاب آزاد بسکتبال را دوچندان می‌کند. از آنجا که تکالیف خودگام معمولاً شامل روال‌های ثابتی هستند، فرصت ایده‌آلی را برای اندازه‌گیری عملکرد فعال فراهم می‌کنند (پارک و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین تأکید بر تکالیف پیچیده در دنیای واقعی است که با معیارهای عملکردی ارزیابی می‌شوند و به‌راحتی بر روی فرایندهای محاسباتی ترسیم نمی‌شوند (یارو و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین استفاده از ابزارهایی مانند EEG برای شناسایی و بهبود عملکرد افراد نخبه و مقایسهٔ سطوح مختلف مهارت در این نوع تکالیف، ضرورتی رواج‌یافته است. در نهایت، با پیشرفت فناوری، امکان اندازه‌گیری امواج مغزی در شرایط طبیعی (استفاده از دستگاه EEG بی‌سیم و قابل حمل) فراهم شده است. با توجه به این موارد، تحقیق حاضر در نظر دارد تا به بررسی تفاوت‌های توان آلفا در پرتاب‌های آزاد موفق و ناموفق بسکتبالیست‌های نخبه و نوآموز در ثانیه‌های پیش و حین اجرای مهارت بپردازد.

روش‌شناسی پژوهش

شرکت‌کنندگان

پژوهش حاضر نیمه تجربی است و در قالب طرح سری‌های زمانی اجرا شد. آزمودنی‌های پژوهش ۲۰ بسکتبالیست مرد بودند که در دو گروه نخبه (۱۰ آزمودنی، میانگین سنی ۱/۳۴ ± ۲۲/۲۵ سال) و گروه نوآموز (۱۰ آزمودنی، میانگین سنی ۱/۸۰ ± ۲۲/۵۵ سال) قرار گرفتند.

---
[1]. Gong
[2]. Kuo
[3]. Yarrow
[4]. Moscaleski

از آنجا که پیشینه، اندازهٔ اثر متوسطی را برای تحقیقات این حوزه پیشنهاد کرده است (فانگ و همکاران، ۲۰۲۲)، بنابراین، برای برآورد تعداد نمونه با استفاده نرم‌افزار *G-Power* و با میانگین اندازهٔ اثر ۰/۷، مقدار آلفا ۰/۰۵ و توان آزمون ۰/۹۵؛ حجم قابل استفاده برای اجرای این پژوهش ۲۰ نفر برآورد شد. مطالعات سطح نخبگی در ورزشکاران رشته‌های تیمی (برای مثال رشتهٔ بسکتبال) را پنج سال فعالیت حرفه‌ای و تجربه حضور در رقابت‌های ملی یا بین‌المللی دانسته‌اند (بارکوکیس[۱] و همکاران، ۲۰۱۱؛ اوجانس[۲] و همکاران، ۲۰۱۱؛ باراکوکیس و همکاران، ۲۰۱۲). ازاین‌رو در تحقیق حاضر، ملاک انتخاب بسکتبالیست‌های نخبه عضویت در تیم ملی یا لیگ برتر بسکتبال و داشتن حداقل پنج سال سابقهٔ فعالیت حرفه‌ای بود. ملاک انتخاب بسکتبالیست‌های نوآموز شامل دانشجویان رشتهٔ تربیت بدنی (کسانی که بسکتبال ۱ و ۲ را پاس کرده‌اند) و بازیکنان تیم‌های دانشگاهی بسکتبال در شهر تهران (با سابقهٔ فعالیت دو سال) بود. داشتن بینایی نرمال ملاک دیگری برای ورود به مطالعه بود که با استفاده از تست اسنلن بررسی شد (مک‌گرو[۳] و همکاران، ۱۹۹۵). بر طبق پرسشنامهٔ ادینبورگ[۴] (ادلین[۵] و همکاران، ۲۰۱۵)، همهٔ آزمودنی‌ها راست‌دست بودند. همچنین، فرم اطلاعات فردی در خصوص سابقهٔ فعالیت حرفه‌ای در تیم ملی یا لیگ برتر و سایر اطلاعات در این زمینه بررسی شد. همهٔ آزمودنی‌ها مطابق با اعلامیهٔ هلسینکی رضایت آگاهانهٔ کتبی را ارائه دادند. پژوهش حاضر مطابق با استانداردهای اخلاقی انجام شده است و رویه‌های مطالعه توسط کمیتهٔ اخلاق در پژوهش دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه شهید بهشتی و با کد اخلاقی به شمارهٔ *IR.SBU.REC.1400.167* تأیید شده است.

ابزار

در این مطالعه، به‌منظور ثبت داده‌های سیگنال مغزی، از یک دستگاه *EEG* بی‌سیم ۳۲ کاناله (با دقت ۲۴ بیت در نرخ نمونه‌برداری ۵۰۰ هرتز) ساخت شرکت *G.TEC* واقع در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز استفاده شد. در مجموع ۲۸ الکترود (*FP1-FP2*)، (*AF3-AF4*)، (*F3-F4*)، (*F7-F8*)، (*FC1-FC2*)، (*FC5-FC6*)، (*C3-C4*)، (*T7-T8*)، (*CP1-CP2*)، (*CP5-CP6*)، (*P3-P4*)، (*P7-P8*)، (*PO3-PO4*)، (*PO7-PO8*) و طبق سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ (جاسپر[۶]، ۱۹۵۸)، در نظر گرفته شد. الکترودهای فرد در نیمکرهٔ چپ و الکترودهای زوج در نیمکرهٔ راست سر قرار گرفتند. تمام مکان‌های الکترودها به گوش راست ارجاع داده شد. برای پردازش داده‌ها از تولباکس *EEG-Lab* نرم‌افزار متلب استفاده شد. از فیلتر پاسخ تکانهٔ محدود[۷] یا *FIR* با پنجرهٔ همینگ[۸] برای فیلتر کردن سیگنال *EEG* به باند ۱-۴۰ هرتز استفاده شد. سپس، بر روی داده‌ها تحلیل اجزای مستقل[۹] یا *ICA* زده شد و مؤلفه‌های خراب حذف شدند. همچنین برای حذف آرتیفکت‌ها[۱۰] از افزونه بازسازی زیرفضای آرتیفکت[۱۱] یا *ASR* استفاده شد. پس از فیلتر و تبدیل داده‌ها، توان مربوط به عملکرد به‌عنوان توان مطلق در طول اجرای تکلیف تعریف و توان آلفا در فرکانس ۸-۱۲ هرتز تحلیل شد.

روند اجرای پژوهش

ابتدا آزمودنی‌ها با پوشیدن لباس ورزشی مناسب در رختکن، ۵ دقیقه گرم کردن اختصاصی شامل دریبل و پرتاب آزاد بسکتبال انجام دادند. به‌منظور ثبت دقیق اطلاعات *EEG*، آزمودنی‌ها با سر تمیز و شسته شده در جلسهٔ آزمون شرکت کردند. برای ثبت سیگنال‌های مغزی،

---

1. Barkoukis
2. Oudejans
3. McGraw
4. Edinburgh Questionnaire
5. Edlin
6. Jasper
7. Finite Impulse Response (FIR)
8. Hamming
9. Independent component analysis (ICA)
10. Artifacts
11. Artifact subspace reconstruction (ASR) *plugin*

کلاه EEG به‌صورت دقیق بر روی سر آزمودنی قرار گرفت و ژل EEG در محل الکترودها تزریق شد. آمپدانس و کیفیت سیگنال‌های EEG بررسی شد. از یک توپ بسکتبال استاندارد مردان بزرگسال (سایز ۷ با محیط ۲۹/۵ اینچ) و یک سبد بسکتبال که حلقهٔ آن در ارتفاع ۳۰۵ سانتی‌متر (۱۰ فوت) بالاتر از کف زمین قرار داشت، برای اجرای تکلیف پرتاب آزاد بسکتبال استفاده شد. فاصلهٔ خط پرتاب با سبد ۴۰۶ سانتی‌متر (۱۵/۰۹ فوت) بود. داده‌های EEG آزمودنی‌ها در حین پرتاب آزاد بسکتبال برای ۵ کوشش ثبت شد. آزمودنی با در دست داشتن توپ پشت خط پرتاب قرار گرفت و پس از ارائهٔ یک علامت صوتی تکلیف پرتاب را اجرا می‌کرد. همزمان با علامت صوتی، یک تریگر موس دستی[1] بر روی کامپیوتر توسط آزمونگر فشار داده شد. همچنین ویدئوی اجرای مهارت با استفاده از یک تلفن همراه و سه‌پایه ثبت گردید. ویدئوی اجرا و محرک صوتی با تریگر و داده‌های ثبت‌شده EEG تطبیق داده شد. از آنجا که گزارش‌های مربوط به تکالیف خودگام نشان داد که در بررسی این تکالیف ثانیه‌های منتهی به اجرای مهارت (هاتفیلد، لندرز و ری، ۱۹۸۴؛ پارک و همکاران، ۲۰۱۵؛ گو و همکاران، ۲۰۲۲؛ فانگ و همکاران، ۲۰۲۲) به‌ویژه ۳ تا ۴ ثانیه در طی آماده‌سازی و اجرا بررسی می‌شود (چوانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ گو همکاران، ۲۰۲۲)؛ در این تحقیق برای هر کوشش، در مجموع ۴ ثانیه زمان از لحظه شروع علامت تریگر تا اجرای کامل تکلیف ثبت شد. به‌دلیل احتمال تأثیر علامت صوتی بر توجه آزمودنی‌ها، داده‌های ثانیهٔ اول حذف شد. پس از حذف ثانیهٔ اول، در مجموع ۳ ثانیه جهت تحلیل استفاده شد. داده‌های لحظهٔ شروع حرکت قابل مشاهده تا اجرای پرتاب آزاد به مدت ۱ ثانیه، به‌عنوان زمان ۳ (ثانیهٔ سوم یا ثانیهٔ اجرای تکلیف) در نظر گرفته شد. همچنین داده‌های ۲ ثانیه پیش از شروع اجرا در ۲ پنجره زمانی یک‌ثانیه‌ای شامل زمان ۱ (دو ثانیه پیش از اجرا) و زمان ۲ (یک ثانیه پیش از اجرا) در نظر گرفته شد. پژوهش در یک آزمایشگاه سرپوشیده با ارتفاع ۵ متر و فضای ۴۰ متر مربع انجام گرفت.

روش آماری

برای مقایسهٔ تفاوت‌های داده‌های EEG دو گروه نخبه و نوآموز در زمان‌های مختلف طی آماده‌سازی و اجرای تکلیف پرتاب آزاد بسکتبال، از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر ۲ (گروه) × ۲ (عملکرد) × ۳ (زمان) × ۲۸ (الکترود) استفاده شد. متغیر گروه شامل گروه نخبه و نوآموز بود. متغیر عملکرد شامل پرتاب‌های موفق و ناموفق بود. متغیر زمان شامل زمان ۱ (دو ثانیه پیش از اجرا)، زمان ۲ (یک ثانیه پیش از اجرا) و زمان ۳ (ثانیهٔ اجرا) بود. متغیر الکترود شامل سایت‌های ۲۸ الکترود در دو سمت چپ (۱۴ الکترود) و راست (۱۴ الکترود) قشر مغز بود. با توجه به توزیع غیرنرمال داده‌های اولیه، جهت رعایت پیش‌فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها از تصحیح لگاریتم طبیعی یا Ln برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد. در تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر هر کجا که نتایج تست شفرسیتی توسط آزمون ماچلی رد شد، از تصحیح گرین هوس–گیزر استفاده شد. همچنین از آزمون تعقیبی توکی برای مقایسهٔ سطوحی که تفاوت معنادار داشتند، استفاده شد. سطح معناداری $P\leq$ ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس اس نسخهٔ ۲۴ تجزیه‌وتحلیل شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل نسخهٔ ۲۰۱۹ ترسیم شد.

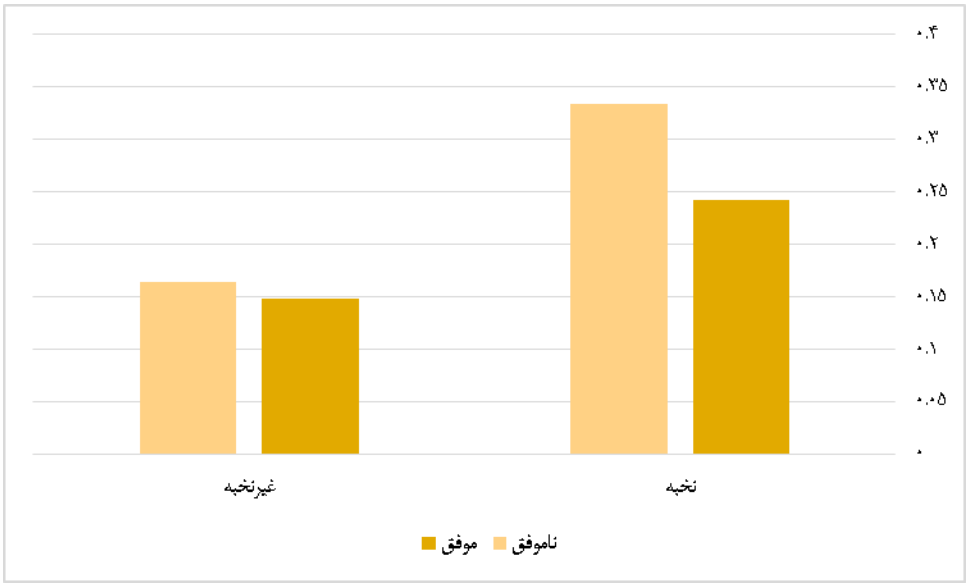
یافته‌های پژوهش

تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر ۲ (گروه) × ۲ (عملکرد) × ۳ (زمان) × ۲۸ (الکترود) در توان آلفا انجام گرفت و نتایج زیر را نشان داد.

اثر اصلی گروه ($F_{۱و۶۴}$=۴۷/۵۷۴ ،P=۰/۰۰۱) معنادار بود و گروه نخبه (M=۰/۲۸۸ ،SD=۰/۰۱۳) نسبت به گروه نوآموز (M=۰/۱۵۶ ،SD=۰/۰۱۴) توان آلفای بالاتری را نشان داد. اثر اصلی عملکرد ($F_{۱و۶۴}$=۷/۸۷۲ ،P=۰/۰۰۶) معنادار بود و پرتاب‌های موفق (M=۰/۱۹۵ ،SD=۰/۰۱۳) نسبت به پرتاب‌های ناموفق (M=۰/۲۴۹ ،SD=۰/۰۱۴) توان آلفای پایین‌تری را نشان داد. همچنین تعامل گروه–عملکرد ($F_{۱و۶۴}$=۴/۰۴۸ ،P=۰/۰۴۷) معنادار بود و مقایسات تعقیبی نشان داد که پرتاب‌های ناموفق (M=۰/۳۳۴ ،SD=۰/۰۲۱) گروه نخبه نسبت به

[1]. Manual mouse trigger

پرتاب‌های موفق (M=۰/۲۴۲ ،SD=۰/۰۱۶) توان آلفای بالاتری داشتند (P=۰/۰۰۱)، اما بین پرتاب‌های موفق (M=۰/۱۴۹ ،SD=۰/۰۲۳) و ناموفق (M=۰/۱۶۴ ،SD=۰/۰۱۵) گروه نوآموز تفاوتی مشاهده نشد (P=۰/۵۸۴؛ شکل ۱).



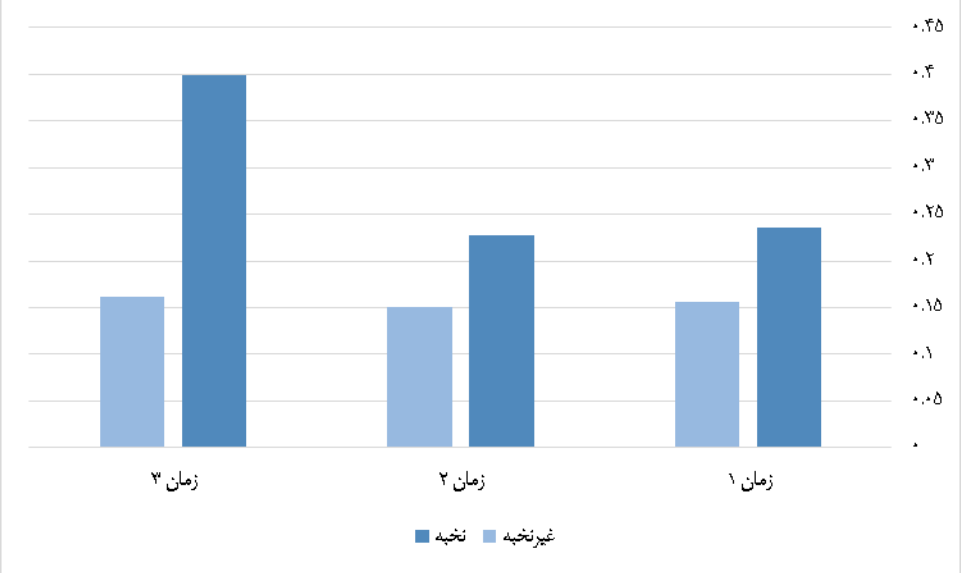
شکل ۱. مقایسهٔ پرتاب‌های موفق و ناموفق در دو گروه نخبه و نوآموز

اثر اصلی زمان (p=۰/۰۰۰۱ ،$F_{۲و۱۹۲}$=۱۰/۳۹۴) معنادار بود و بررسی‌های پیگردی نشان داد که زمان ۳ (M=۰/۲۸۰ ،SD=۰/۰۲۴) به‌طور معناداری برتر از زمان ۱ (M=۰/۱۹۶ ،SD=۰/۰۰۹) و زمان ۲ (M=۰/۱۸۹ ،SD=۰/۰۰۹) بود (P<۰/۰۰۵)، اما بین زمان ۱ و ۲ تفاوتی وجود نداشت (P=۱/۰۰۰). همچنین تعامل زمان- گروه (P=۰/۰۰۲ ،$F_{۲و۹۶}$=۸/۴۷۵) معنادار بود و مقایسات پیگردی نشان داد در هر سه زمان گروه نخبه برتری معناداری نسبت به گروه نوآموز دارد (P<۰/۰۰۰۱؛ شکل ۲). تعامل زمان-عملکرد (p=۰/۰۴۸ ،$F_{۲و۱۹۲}$=۳/۶۴۹) معنادار بود و عملکرد ناموفق در زمان ۳ نمرات بالاتری را نشان داد (P<۰/۰۱۳)، اما در سایر زمان‌ها تفاوتی بین عملکرد موفق-ناموفق مشاهده نشد (شکل ۳).

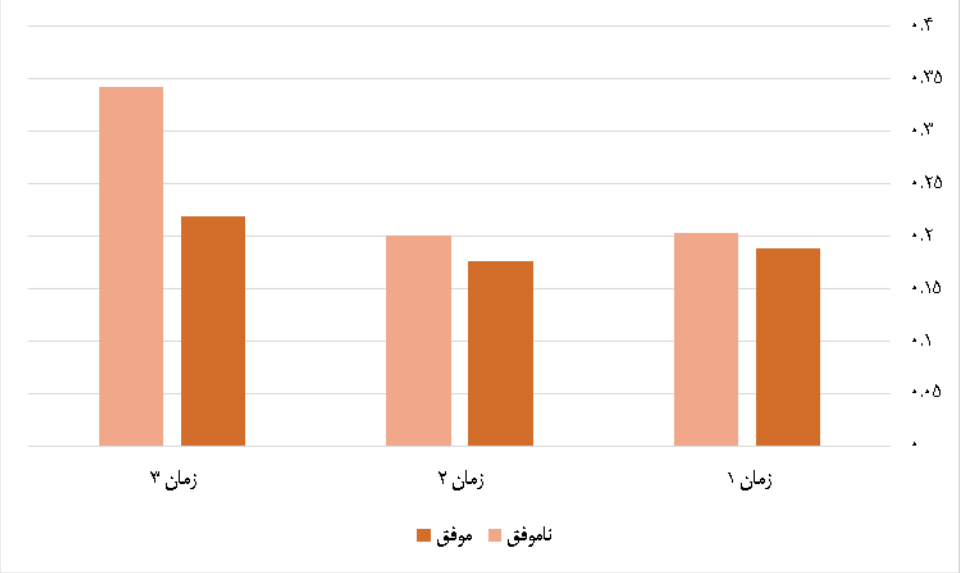
اثر اصلی الکترود (P=۰/۰۰۰۱ ،$F_{۲۷و۲۵۹۸}$=۳۶/۵۳۳) معنادار بود و بررسی‌ها نشان داد الکترودهای *AF3*، *F3*، *FC5*، *T7* و *P8* نسبت به زوج خود در سمت دیگر توان آلفای بالاتر و در نتیجه فعالیت قشری بیشتری داشتند. تعامل الکترود-گروه (P=۰/۰۰۰۱ ،$F_{۲۷و۲۵۹۸}$=۴/۳۵۶) معنادار بود و می‌توان مشاهده کرد که گروه نخبه توان آلفای بالاتری نسبت به گروه نوآموز در همهٔ الکترودها داشتند (P<۰/۰۰۱). نتایج نشان داد که تعامل الکترود-عملکرد (P=۰/۰۱۱ ،$F_{۲۷و۲۵۹۸}$=۲/۷۴۴) معنادار بود. نتایج مقایسات متعاقب نشان داد که در نواحی *Fp1*، *Fp2*، *Af3*، *F7*، *F3*، *Fc5*، *Fc1*، *C4*، *Cp2*، *Cp6*، *P7*،*P3* و *P4* عملکرد ناموفق برتری معناداری نسبت به عملکرد موفق داشته است (P<۰/۰۵).

نتایج نشان داد که تعامل زمان-الکترود (P=۰/۰۰۰۱ ،$F_{۵۴و۵۱۸۴}$=۴/۳۰۴) و تعامل زمان-الکترود-گروه (p=۰/۰۱۱ ،$F_{۵۴و۵۱۸۴}$=۲/۵۱۸۴) معنادار بود. بررسی‌های متعاقب نشان داد که در زمان ۱ در نواحی *Af3*، *Af4*، *F7*، *F4*، *F8*، *Fc1*، *Fc6*، *C3*، *C4*، *Cp5*، *Cp2*، *Cp6*، *P7*، *P3*، *P4*، *Po4*، *Fp2*، *P8* و *Po8* گروه نخبه نمرات بالاتری نسبت به گروه غیر نخبه داشت (P<۰/۰۵). در زمان ۲ در نواحی *Af3*، *Af4*، *F7*، *F3*، *F4*، *C3*، *C4*، *Cp5*، *Cp2*، *Cp6*، *P7*، *P3*، *P4*، *Po4*، *Fp2*، *T7*، *Po3*، *P8*، *Po7* و *Po8* گروه نخبه نمرات بالاتری نسبت به گروه غیر نخبه داشت (P<۰/۰۵). همچنین در زمان ۳ در تمام نواحی گروه نخبه نمرات بالاتری نسبت به گروه غیرنخبه داشت

($P<۰/۰۵$). همچنین تعامل زمان–الکترود– عملکرد ($P=۰/۰۲۹$، $F_{۵۴و۵۱۸۴}=۲/۴۰۷$) معنادار بود و بررسی‌های بیشتر آشکار ساخت که در زمان ۱ و ۲ تفاوتی بین عملکردهای موفق و ناموفق در الکترودهای مختلف وجود نداشت. در زمان ۳ در نواحی *Fp1*، *Fp2*، *Af3*، *F3*، *F7*، *F8*، *Fc2*، *C4*، *T8*، *Cp1*، *Cp6*، *P7*، *P3*، *P4* و *Po4* برتری برای عملکرد ناموفق وجود داشت ($P<۰/۰۵$).



شکل ۲. مقایسهٔ دو گروه نخبه و نوآموز در زمان‌های مختلف



شکل ۳. مقایسهٔ پرتاب‌های موفق و ناموفق در زمان‌های مختلف

بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، این تحقیق در پی بررسی تفاوت‌های توان آلفا در پرتاب‌های موفق و ناموفق بسکتبالیست‌های نخبه و نوآموز طی ثانیه‌های پیش و حین اجرای تکلیف بود. بدین‌منظور از یک دستگاه *EEG* ۳۲ کانالی برای بررسی فعالیت توان آلفای آزمودنی‌ها در ثانیه‌های قبل و حین اجرای تکلیف پرتاب آزاد بسکتبال استفاده شد. با تجزیه‌وتحلیل داده‌های دو گروه، دریافتیم که به‌طور کلی، فعالیت توان آلفای گروه نخبه پیش و حین تکلیف پرتاب آزاد بسکتبال بالاتر از گروه نوآموز بود. همچنین پرتاب‌های موفق نسبت به پرتاب‌های ناموفق توان آلفای کمتری را نشان دادند و در مقایسهٔ دو گروه، توان آلفا در پرتاب‌های ناموفق گروه نخبه نسبت به پرتاب‌های موفق آن‌ها بیشتر بود، اما بین توان آلفای پرتاب‌های موفق و ناموفق گروه نوآموز تفاوتی مشاهده نشد. به‌طور کلی، توان آلفا در ثانیهٔ اجرای تکلیف پرتاب آزاد (ثانیهٔ سوم)، بالاتر از ثانیه‌های قبل بود اما بین ثانیهٔ اول و دوم تفاوتی نبود. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که گروه نخبه فعالیت قشری بالاتری نسبت به گروه نوآموز در همهٔ الکترودها داشتند و در نواحی *Fp1*، *Fp2*، *Af3*، *F7*، *F3*، *Fc5*، *Fc1*، *C4*، *Cp2*، *Cp6*، *P7*،*P3* و *P4* توان آلفای پرتاب‌های ناموفق بالاتر از پرتاب‌های موفق بود.

سطح فعالیت آلفای بیشتر در گروه نخبه نسبت به گروه نوآموز، گزارش‌های سایر تکالیف خودگام را تأیید می‌کند (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ هافلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ دورو و عاصم[1]، ۲۰۱۸؛ دل پرسیو[2] و همکاران، ۲۰۱۹). در این گزارش‌ها از افزایش توان آلفا به‌عنوان مهم‌ترین عامل بازدارنده فرایندهای قشری نامربوط به تکالیف خودگام یاد شده است (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴، لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ هافلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ هاتفیلد و همکاران، ۲۰۰۴؛ کلیمش و همکاران، ۲۰۰۷؛ ون شوئنبرگ[3] و همکاران، ۲۰۱۷؛ شانگ و همکاران، ۲۰۱۸) که فرضیهٔ کارایی روانی حرکتی را تأیید می‌کند ([هاتفیلد و هیلمن، ۲۰۰۱؛ شیانگ و همکاران، ۲۰۱۸). کارایی روانی حرکتی فرض می‌کند که سرکوب فرایندهای نامربوط با تکلیف و تقویت فرایندهای مرتبط با تکلیف با پردازش شناختی- حرکتی برتر مرتبط است (هاتفیلد و هیلمن، ۲۰۰۱). در این زمینه گزارش شده است که مهارت بیشتر در مجریان باتجربه ممکن است با سرکوب فرایندهای شناختی و حرکتی نامربوط به تکلیف (برای مثال کاهش نویز عصبی حرکتی) مشخص شود (هاتفیلد و همکاران، ۲۰۰۴؛ هاتفیلد، ۲۰۱۸؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). افزایش توان آلفا جزء ضروری وضعیت ذهنی افراد خبره و پیش‌نیاز اجرای خودکار مهارت است (لوز و همکاران، ۲۰۰۱). بنابراین به‌نظر می‌رسد که گروه نخبه با فعال‌سازی کمتر نواحی قشری (افزایش آلفا)، و در نتیجه پیچیدگی کمتر فعالیت قشر مغز و بیشتر نادیده گرفتن اطلاعات نامربوط به تکلیف، به شکل خودکارتر پرتاب‌ها را اجرا کرده‌اند و این احتمال وجود دارد که در تحقیق حاضر، سطح آلفای بیشتر در گروه نخبه ناشی از تمرین و تجربه باشد. در تأیید این فرضیه، گزارش شد که تمرین طولی، در حمایت از عملکرد سطح بالا، موجب سازماندهی مجدد عملکرد مغز به شکل بهینه شده است (فانگ و همکاران، ۲۰۲۲).

در پژوهش حاضر به‌طور کلی، پرتاب‌های موفق نسبت به پرتاب‌های ناموفق توان آلفای کمتری را نشان دادند. این توان آلفای کمتر در عملکرد موفق می‌تواند منعکس‌کنندهٔ تمرکز افراد نخبه و بسیج منابع برای برنامه‌ریزی تکلیف باشد (کوک و همکاران، ۲۰۱۴). این گزارش، نتایج تحقیقات دیگر را تأیید می‌کند (کوک و همکاران، ۲۰۱۴؛ بابیلونی و همکاران، ۲۰۰۸؛ دل پرسیو و همکاران، ۲۰۰۹ و کائو و همکاران، ۲۰۲۳). کاهش توان آلفا به توجه بیشتر برای برنامه‌ریزی پاسخ و توجه بصری –فضایی منجر می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰)، بنابراین در پژوهش حاضر توان آلفای پایین‌تر در پرتاب‌های موفق نسبت به پرتاب‌های ناموفق، نشان می‌دهد که در هنگام آماده‌سازی و اجرای مهارت افراد توجه را متمرکز کردند و تداخل شناختی – حرکتی کمتری داشتند. این یافته‌ها نه‌تنها به اهمیت پالایش فرایندهای مغزی اشاره می‌کنند، بلکه فرایندهای شناختی حرکتی ضروری را برای عملکرد برتر در ورزشکاران مشخص می‌کنند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، شواهد دیگر این دیدگاه را به چالش می‌کشد. گزارش‌هایی از سایر تکالیف خودگام نشان می‌دهد که قبل از بهترین عملکرد توان آلفای ناحیهٔ پس‌سری افزایش یافته است ([لوز و همکاران، ۲۰۰۱). افزون‌بر این افزایش توان آلفا در تحقیقات هدف‌گیری

---

[1]. Duru & Assem
[2]. Del Percio
[3]. van Schouwenburg

مختلف منجر به بهبود عملکرد شده است ([هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ هافلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ چنگ و همکاران، ۲۰۱۷). از آنجا که تغییرات *EEG* ویژگی تکلیف را نشان می‌دهد (هاتفلید و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین، شاید بتوان این‌گونه استدلال کرد که ویژگی‌های تکلیف در تحقیق حاضر متفاوت از ویژگی‌های تکالیف تیراندازی است، با اینکه هر دو تکلیف در طبقه‌بندی تکالیف خودگام قرار می‌گیرند. در نهایت، نتایج ما نشان داد که قبل از پرتاب‌های موفق، توان آلفای *EEG* کمتری نسبت به پرتاب‌های ناموفق و ازدست‌رفته وجود دارد که می‌تواند منعکس‌کنندهٔ منابع عصبی بیشتری باشد که به برنامه‌ریزی دقیق در اجرای مهارت اختصاص داده شده‌اند (کوک و همکاران، ۲۰۱۴).

در تحقیق حاضر در مقایسهٔ دو گروه، توان آلفا در پرتاب‌های ناموفق گروه نخبه نسبت به پرتاب‌های موفق آن‌ها بیشتر بود، اما بین توان آلفای پرتاب‌های موفق و ناموفق گروه نوآموز تفاوتی مشاهده نشد. این یافته‌ها در تضاد با اتفاق‌نظر اکثر تحقیقات حوزهٔ تیراندازی (تفنگ، تپانچه و دارت) است که معتقدند افزایش توان آلفا به بهبود عملکرد و در نتیجه هدف‌گیری درست می‌انجامد (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ هافلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ هاتفیلد و همکاران، ۲۰۰۴؛ دل پرسیو و همکاران، ۲۰۱۹). با این حال، آنچه برداشت می‌شود این است که افزایش توان آلفا به‌طور مداوم با بهبود عملکرد در ادبیات ورزشی مرتبط نیست. برای مثال در بررسی سایر محققان افزایش توان آلفا و تغییرات توان آلفا در مرحلهٔ آماده‌سازی موجب عملکرد بدتر شد (سالازار و همکاران، ۱۹۹۰؛ کروز و لندرز، ۱۹۹۳؛ لندرز و همکاران، ۱۹۹۴؛ هیلمن و همکاران، ۲۰۰۰؛ کوک و همکاران، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ کائو و همکاران، ۲۰۲۳). به‌علاوه، برخی از گزارش‌ها نشان داده است که کاهش بیشتر توان آلفا در ثانیه‌های پایانی پیش از اجرا با تجربه و تخصص بیشتر همراه است (کوک و همکاران، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۰) و این کاهش توان آلفا قبل از اجرای مهارت، نشان‌دهنده افزایش فعال‌سازی قشر مغز قبل از شروع حرکت ضربه زدن و افزایش تمرکز است (کوک و همکاران، ۲۰۱۴؛ کائو و همکاران، ۲۰۲۳)؛ بنابراین این امکان وجود دارد که افراد نخبه توجه بیشتری را معطوف کنند و از بانک بزرگ‌تری از تجربیات قبلی ذخیره‌شده در حافظهٔ کاری استفاده کنند (کوک و همکاران، ۲۰۱۴) تا در نهایت بتوانند با منابع عصبی کمتر تکلیف را اجرا کنند. اما در ارتباط با گروه نوآموز ممکن است به‌دلیل تجارب تمرینی کمتر، تفاوتی در توان آلفا بین پرتاب‌های موفق و ناموفق مشاهده نشده است، زیرا با تمرین مداوم مهارت، سازماندهی مجدد در عملکرد مغز رخ می‌دهد (فانگ و همکاران، ۲۰۲۲)، پردازش قشری مناسب‌تری شکل می‌گیرد که به کیفیت بالاتر و خروجی حرکتی سازگارتر منجر می‌شود (هاتفیلد و هیلمن، ۲۰۰۱؛ دنی و همکاران، ۲۰۰۳).

به‌طور کلی، توان آلفا در ثانیهٔ اجرای تکلیف پرتاب آزاد (ثانیهٔ سوم)، بالاتر از ثانیه‌های قبل بود، اما بین ثانیهٔ اول و دوم تفاوتی نبود. مطالعات قبلی در مورد زمان‌بندی بهینه برای تجزیه‌وتحلیل طی اجرا نشان داده‌اند که ویژگی‌های *EEG* با نزدیک شدن به زمان اجرا برجسته‌تر می‌شوند (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ گو و همکاران، ۲۰۲۲). پژوهش حاضر قویاً این گزارش‌ها را تأیید می‌کند، زیرا با نزدیک شدن به مرحلهٔ پرتاب توپ، افزایش فعالیت قشری (افزایش نسبتاً ثابت در ثانیه‌های اول و دوم و افزایش بالاتر در ثانیهٔ سوم یا اجرای تکلیف) در توان آلفا مشاهده شد. همان‌گونه‌که گفته شد افزایش توان آلفا به‌عنوان مکانیسم مهار فرایندهای شناختی نامربوط تفسیر شده است (لوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ ون شوئنبرگ و همکاران ۲۰۱۷)؛ بنابراین، در لحظهٔ اجرا آزمودنی‌ها با منابع مغزی کمتر، فعالیت قشری کمتر و آرامش بیشتری مهارت را اجرا کرده‌اند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که گروه نخبه فعالیت قشری بالاتری نسبت به گروه نوآموز در همهٔ الکترودها داشتند و در نواحی *Fp1*، *Fp2*، *Af3*، *F7*، *F3*، *Fc5*، *Fc1*، *C4*، *Cp2*، *Cp6*، *P7*، *P3* و *P4* پرتاب‌های ناموفق فعالیت بالاتری نسبت به عملکرد موفق داشته است. بیشتر الکترودهایی ذکرشده مربوط به سمت چپ نیمکرهٔ مغزی هستند. در گزارش‌های زیادی عدم تقارن به نفع نیمکرهٔ چپ را به‌عنوان شاخص خبرگی گزارش کردند (هاتفیلد و همکاران، ۱۹۸۴؛ هافلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ هاتفیلد و همکاران، ۲۰۰۴). با این حال عدم تقارن نیمکره‌ای در گلف بازان ماهر به نفع نیمکرهٔ راست مشاهده شده است (کروز و لندرز، ۱۹۹۳) و افزایش توان طیفی در نیمکرهٔ سمت چپ را قبل از بدترین اجرا گزارش دادند (سالازار و همکاران، ۱۹۹۰؛ لندرز و همکاران، ۱۹۹۴). در این مورد نیز، ممکن است الگوی عدم تقارن نیمکره‌ای تکلیف–ویژه باشد، به‌طوری‌که واکنش‌پذیری قشری دسته‌ای از تکالیف مانند تیراندازی با تفنگ، تپانچه و تیراندازی با کمان به

افزایش توان آلفا در نیمکره‌ها متفاوت از تکلیف ضربه گلف و پرتاب آزاد بسکتبال باشد. در نهایت، آنچه در تحقیق حاضر استنباط می‌شود این است که افزایش توان آلفا در نیمکرهٔ چپ با عملکرد ناموفق مرتبط است که همسو با برخی از گزارش‌ها (سالازار وهمکاران، ۱۹۹۰؛ لندرز وهمکاران،۱۹۹۴) است.

اگرچه تجزیه‌وتحلیل داده‌های تحقیق حاضر به ما این امکان را داده است که تفاوت‌های بین توان آلفا در پرتاب‌های آزاد موفق و ناموفق بسکتبالیست‌های نخبه و نوآموز و نیز ویژگی‌های قشری مرتبط با پرتاب آزاد بسکتبال را بهتر درک کنیم، هنوز محدودیت‌هایی در این مطالعه وجود دارد. در این زمینه، در بخش بحث به نتایج مختلفی از تحقیقات تیراندازی و ضربهٔ گلف اشاره شده است که ممکن است به استدلال نادرست در مورد تکلیف پرتاب آزاد بسکتبال منجر شود. اگرچه هر سه تکلیف در دستهٔ تکالیف خودگام قرار دارند. با این حال، رابطهٔ بین فعالیت مغز و فرایند رفتار پرتاب آزاد بسکتبال به‌ویژه از چشم‌انداز الگوی حرکت، ممکن است متفاوت باشد. به‌علاوه عمده پیشینهٔ تحقیقات مربوط به مقایسهٔ گروه‌هایی با تفاوت‌های بسیار زیاد بود (خبره – مبتدی یا غیرورزشکار)، درحالی‌که هدف تحقیق حاضر بررسی شکاف‌های نسبتاً کوچک و گروه‌هایی نزدیک‌تر به هم است و از این منظر فقدان تحقیقات با سطوح تبحر مشابه، نتیجه‌گیری این مطالعه را محدودتر می‌کند. با این حال، با تکیه بر یافته‌های مطالعات مقایسه‌ای (مانند نخبه–نوآموز، ماهر–غیر ماهر و خبره–مبتدی) می‌توان بینش وسیعی در مورد فرایندهای شناختی–حرکتی ضروری در عملکرد ماهرانه ارائه داد. نتایج مطالعه حاضر، می‌تواند راه را برای مطالعات نروفیدبک هموار کند تا افراد ذینفع (به‌ویژه بازیکنان و مربیان) بتوانند فعالیت‌های قشری مانند توان آلفا را در لحظات پایانی پیش از پرتاب یا سایر تکالیف خودگام مشابه که نیازمند دقت هستند، کنترل کنند. چنین مطالعاتی نوید ایجاد تحولات بسیار هیجان‌انگیزی را در روند آموزش رشته‌های ورزشی مختلف با هدف دستیابی به سطوح نخبگی در آینده ارائه می‌دهد. بنابراین، استفاده از یک طرح نخبه – نوآموز که شکاف‌های مهارتی کوچک‌تر در سطح مهارت را بررسی می‌کند، می‌تواند فراتر از یافته‌های مطالعات خبره–مبتدی رود و اطلاعات حیاتی را در مورد اصلاح فرایندهای شناختی– حرکتی مشخص کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که فرایندهای قشری در طول اجرای تکلیفی مانند پرتاب آزاد بسکتبال پیچیده‌تر از آن چیزی است که تصور می‌شد، و اینکه پارامترهای *EEG* در تکالیف مشابه در یک طبقه‌بندی (تکالیف خودگام)، می‌تواند به طرز متفاوتی موجب بهبود عملکرد شود (برای مثال کاهش توان آلفا در پرتاب‌های موفق در بسکتبال یا افزایش توان آلفا در طول هدف‌گیری با تفنگ یا تپانچه). این پیچیدگی در رابطهٔ بین مغز و رفتار، ضرورت بررسی بیشتر در این حوزهٔ را برجسته‌تر می‌کند و به نظر می‌رسد در این حوزه نیازمند بررسی‌های بیشتر در انواع تکالیف خودگام و نیز مقایسهٔ زیربنای قشری گروه‌هایی با سطوح تبحر مختلف و با هدف رسیدن به اوج عملکرد یا نخبگی باشیم.

تقدیر و تشکر

از بازیکنان، دانشجویان و همچنین آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز که در مسیر تحقق اهداف این تحقیق ما را یاری کردند، صمیمانه سپاسگزاریم. همچنین بر خود لازم می‌دانیم از جناب آقای دکتر محمدرضا برومند، عضو هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی، به‌سبب حمایت و همکاری ایشان در دعوت از ورزشکاران نخبه تشکر کنیم.

References

Alijanpour, N., Kazemi, A., & Motamedi, P. (2015). The Comparison of Brain Cortex Electrical Activity Between Endurance Runners and Sedentary Men During Rest Period. *Social Behavior and Personality*, 43(2), 210-216. (In Persian)

Babiloni, C., Del Percio, C., Iacoboni, M., Infarinato, F., Lizio, R., Marzano, N., ... & Eusebi, F. (2008). Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms. *The Journal of physiology*, *586*(1), 131-139. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.141630

Barkoukis, V., Lazuras, L., Tsorbatzoudis, H., & Rodafinos, A. (2011). Motivational and sportspersonship profiles of elite athletes in relation to doping behavior. *Psychology of sport and exercise, 12*(3), 205-212. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2010.10.003

Barkoukis, V., Perkos, S., Kokkinopoulos, S., & Rossios, C. (2012). Superstitious beliefs as moderators in the achievement goals: Competitive anxiety relationship. *Int. J. Sport Psychol, 43*, 438-456. https://doi.org/10.7352/ijsp2012.43.438

Başar, E., & Güntekin, B. (2013). Review of delta, theta, alpha, beta, and gamma response oscillations in neuropsychiatric disorders. *Supplements to Clinical neurophysiology, 62*, 303-341. https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-5307-8.00019-3

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

Chen, T. T., Wang, K. P., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2022). Nonlinear refinement of functional brain connectivity in golf players of different skill levels. *Scientific reports, 12*(1), 2365. https://doi.org/10.1038/s41598-022-06161-3

Cheng, M. Y., Hung, C. L., Huang, C. J., Chang, Y. K., Lo, L. C., Shen, C., & Hung, T. M. (2015). Expert-novice differences in SMR activity during dart throwing. *Biological psychology, 110*, 212-218. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.08.003

Cheng, M. Y., Wang, K. P., Doppelmayr, M., Steinberg, F., Hung, T. M., Lu, C., ... & Hatfield, B. (2023). QEEG markers of superior shooting performance in skilled marksmen: An investigation of cortical activity on psychomotor efficiency hypothesis. *Psychology of Sport and Exercise, 65*, 102320. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102320

Cheng, M. Y., Wang, K. P., Hung, C. L., Tu, Y. L., Huang, C. J., Koester, D., ... & Hung, T. M. (2017). Higher power of sensorimotor rhythm is associated with better performance in skilled air-pistol shooters. *Psychology of Sport and Exercise, 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., ... & Dan, B. (2016). Brain oscillations in sport: toward EEG biomarkers of performance. *Frontiers in psychology, 7*, 246. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00246

Christie, S., Werthner, P., & Bertollo, M. (2019). Exploration of event-related dynamics of brain oscillations in ice hockey shooting. *Sport, Exercise, and Performance Psychology, 8*(1), 38-52. http://doi.org/10.1037/spy0000134

Chuang, L. Y., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2013). The differences in frontal midline theta power between successful and unsuccessful basketball free throws of elite basketball players. *International Journal of Psychophysiology*, 90(3), 321-328. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.10.002

Collins, D., Powell, G., & Davies, I. (1990). An electroencephalographic study of hemispheric processing patterns during karate performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 12(3), 223-234.

Cooke, A. (2013). Readying the head and steadying the heart: a review of cortical and cardiac studies of preparation for action in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology, 6*(1), 122-138. https://doi.org/10.1080/1750984X.2012.724438

Cooke, A., Gallicchio, G., Kavussanu, M., Willoughby, A., McIntyre, D., & Ring, C. (2015). Premovement high-alpha power is modulated by previous movement errors: Indirect evidence to endorse high-alpha power as a marker of resource allocation during motor programming. *Psychophysiology, 52*(7), 977-981. http://doi.org/10.1111/psyp.12414

Cooke, A., Kavussanu, M., Gallicchio, G., Willoughby, A., McIntyre, D., & Ring, C. (2014). Preparation for action: Psychophysiological activity preceding a motor skill as a function of expertise, performance

outcome, and psychological pressure. *Psychophysiology*, 51(4), 374-384. https://doi.org/10.1111/psyp.12182

Crews, D. J., & Landers, D. M. (1993). Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25, 116–126. https://psycnet.apa.org/doi/10.1249/00005768-199301000-00016

Deeny, S. P., Hillman, C. H., Janelle, C. M., & Hatfield, B. D. (2003). Cortico-cortical communication and superior performance in skilled marksmen: An EEG coherence analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *25*(2), 188-204. https://doi.org/10.1123/jsep.25.2.188

Del Percio, C., Babiloni, C., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Vecchio, F., ... & Eusebi, F. (2009). "Neural efficiency" of athletes' brain for upright standing: a high-resolution EEG study. *Brain research bulletin*, *79*(3-4), 193-200. https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.02.001

Del Percio, C., Franzetti, M., De Matti, A. J., Noce, G., Lizio, R., Lopez, S., ... & Babiloni, C. (2019). Football players do not show "neural efficiency" in cortical activity related to visuospatial information processing during football scenes: an EEG mapping study. *Frontiers in Psychology*, *10*, 890. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00890

Di Fronso, S., Robazza, C., 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*(2), 214-222.

Duru, A. D., & Assem, M. (2018). Investigating neural efficiency of elite karate athletes during a mental arithmetic task using EEG. *Cognitive neurodynamics*, *12*, 95-102. https://doi.org/10.1007/s11571-017-9464-y

Edlin, J. M., Leppanen, M. L., Fain, R. J., Hackländer, R. P., Hanaver-Torrez, S. D., & Lyle, K. B. (2015). On the use (and misuse?) of the Edinburgh Handedness Inventory. *Brain and cognition*, 94, 44-51. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2015.01.003

Fang, Q., Fang, C., Li, L., & Song, Y. (2022). Impact of sport training on adaptations in neural functioning and behavioral performance: A scoping review with meta-analysis on EEG research. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 20(3), 206-215. https://doi.org/10.1016/j.jesf.2022.04.001

Filho, E., Dobersek, U., & Husselman, T. A. (2021). The role of neural efficiency, transient hypofrontality and neural proficiency in optimal performance in self-paced sports: a meta-analytic review. *Experimental Brain Research*, *239*, 1381-1393. https://doi.org/10.1007/s00221-021-06078-9

Ghorbani, M., Ghazalian, F., Ebrahim, Kh., Abednatanzi, H. (2019). Neural Response of Cortical Brain During High Intensity Interval Pedaling Induced Fatigue in Women Cyclist. *Journal of Paramedical Sciences & Rehabilitation*, 91-99, 9 (1). https://doi.org/10.22038/jpsr.2020.38361.1911 (In Persian)

Gong, A., Liu, J., Lu, L., Wu, G., Jiang, C., & Fu, Y. (2019). Characteristic differences between the brain networks of high-level shooting athletes and non-athletes calculated using the phase-locking value algorithm. *Biomedical Signal Processing and Control*, *51*, 128-137. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.02.009

Gu, F., Gong, A., Qu, Y., Bao, A., Wu, J., Jiang, C., & Fu, Y. (2022). From Expert to Elite?—Research on Top Archer's EEG Network Topology. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 759330. https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.759330

GUGER, C. (2017). *Brain-computer interface and neurotechnology*. Graz, Austria: Technical University (tec medical engineering GmbH).

Hatfield, B. D. (2018). Brain dynamics and motor behavior: A case for efficiency and refinement for superior performance. *Kinesiology Review*, *7*(1), 42-50. https://doi.org/10.1123/kr.2017-0056

Hatfield, B. D., & Hillman, C. H. (2001). The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance. in R. N. Singer, H.A. Hausenblas,& C.M. Janelle(EDS.),*Handbook of sport psychology*(2 nded.,pp. 362-388).New York:Wiley.

Hatfield, B. D., Haufler, A. J., Hung, T. M., & Spalding, T. W. (2004). Electroencephalographic studies of skilled psychomotor performance. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 21(3), 144-156.

Hatfield, B. D., Landers, D. M., & Ray, W. J. (1984). Cognitive processes during self-paced motor performance: An electroencephalographic profile of skilled marksmen. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 6(1), 42-59. https://doi.org/10.1123/jsp.6.1.42

Haufler, A. J., Spalding, T. W., Santa Maria, D. L., & Hatfield, B. D. (2000). Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological psychology*, 53(2-3), 131-160. https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00047-8

Hillman, C. H., Apparies, R. J., Janelle, C. M., & Hatfield, B. D. (2000). An electrocortical comparison of executed and rejected shots in skilled marksmen. *Biological Psychology*, 52(1), 71-83. https://doi.org/10.1016/S0301-0511(99)00021-6

Jasper, H. H. (1958). Ten-twenty electrode system of the international federation. Electroencephalogr. *Clin. Neurophysiol.*, 10, 371-375.

Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: the inhibition–timing hypothesis. *Brain research reviews*, 53(1), 63-88. https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003

Kuo, B. C., Yeh, L. C., Chen, F. W., Chang, C. S., Hsieh, C. W., & Yeh, Y. Y. (2023). Temporal profiles of cortical oscillations in novice performers for goal-directed aiming in a shooting task. *Biological Psychology*, *176*, 108482. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2022.108482

Landers, D. M., Han, M., Salazar, W., & Petruzzello, S. J. (1994). Effects of learning on electroencephalographic and electrocardiographic patterns in novice archers. *International Journal of Sport Psychology*. 25(3), 313–330.

Li, L., & Smith, D. M. (2021). Neural efficiency in athletes: a systematic review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *15*, 698555. https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.698555

Loze, G. M., Collins, D., & Holmes, P. S. (2001). Pre-shot EEG alpha-power reactivity during expert air-pistol shooting: A comparison of best and worst shots. *Journal of Sports Science*, 19(9), 727–733. https://doi.org/10.1080/02640410152475856

Mancevska, S., Gligoroska, J. P., Todorovska, L., Dejanova, B., & Petrovska, S. (2016). Psychophysiology and the sport science. *Research in Physical Education, Sport and Health*. 5(2), 101-105.

McGraw, P., Winn, B., & Whitaker, D. (1995). Reliability of the Snellen chart. Bmj, 310(6993), 1481-1482. https://doi.org/10.1136/bmj.310.6993.1481

Moscaleski, L. A., Fonseca, A., Brito, R., Morya, E., Morgans, R., Moreira, A., & Okano, A. H. (2022). Does high-definition transcranial direct current stimulation change brain electrical activity in professional female basketball players during free-throw shooting?. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3, 932542. https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.932542

Oudejans, R. R., Kuijpers, W., Kooijman, C. C., & Bakker, F. C. (2011). Thoughts and attention of athletes under pressure: skill-focus or performance worries? *Anxiety, Stress, & Coping*, *24*(1), 59-73. https://doi.org/10.1080/10615806.2010.481331

Park, J. L., Fairweather, M. M., & Donaldson, D. I. (2015). Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 52, 117-130. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.02.014

Rostami- Arjmand, N., Ghazalian, F., Sharifnejad, A. (2021). The Effect of a Periodic of Interval Training on Brain Waves and Electrical Activity of the Cerebral Cortex in Healthy Young Girls. *Feyz*, 25(4):1064-73. (In Persian)

Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., Crews, D. J., & Kubitz, K. A. (1990). Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research quarterly for exercise and sport*, 61(4), 351-359. https://doi.org/10.1080/02701367.1990.10607499

Tan, S. J., Kerr, G., Sullivan, J. P., & Peake, J. M. (2019). A brief review of the application of neuroergonomics in skilled cognition during expert sports performance. *Frontiers in human neuroscience*, *13*, 278. https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00278

Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2(2), 1-11.

Van Schouwenburg, M. R., Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2017). Spatial attention and the effects of frontoparietal alpha band stimulation. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 658. https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00658

Vickers, J. N., & Williams, A. M. (2017). The role of mental processes in elite sports performance. In Oxford research encyclopedia of psychology. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190236557.013.161

Wang, C. H., Moreau, D., & Kao, S. C. (2019). From the lab to the field: potential applications of dry EEG systems to understand the brain-behavior relationship in sports. *Frontiers in neuroscience*, *13*, 893. https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00893

Wang, C. H., Yang, C. T., Moreau, D., & Muggleton, N. G. (2017). Motor expertise modulates neural oscillations and temporal dynamics of cognitive control. *Neuroimage*, *158*, 260-270. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.07.009

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.psychsport.2020.101739

Wang, K., Li, Y., Liu, H., Zhang, T., & Luo, J. (2023). Relationship between pistol players' psychophysiological state and shot performance: Activation effect of EEG and HRV. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *33*(1), 84-98. https://doi.org/10.1111/sms.14253

Xiang, M. Q., Hou, X. H., Liao, B. G., Liao, J. W., & Hu, M. (2018). The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: A meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, *36*, 114-122. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.02.004

Yarrow, K., Brown, P., & Krakauer, J. W. (2009). Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(8), 585-596. https://doi.org/10.1038/nrn2672

Zhang, J., Shi, Y., Wang, C., Cao, C., Zhang, C., Ji, L., ... & Wu, F. (2021). Preshooting electroencephalographic activity of professional shooters in a competitive state. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 6639865. https://doi.org/10.1155/2021/6639865

Ziv, G., & Lidor, R. (2015). Focusing attention instructions, accuracy, and quiet eye in a self-paced task—an exploratory study. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 13(2), 104-120. https://doi.org/10.1080/1612197X.2014.946946