Sports. Psychol. 2024, 16(1): 92-113, doi: 10.48308/mbsp.2023.231173.1195

Sports Psychology

Journal homepage: https://mbsp.sbu.ac.ir

Original Article

Effect of Mental and Physical Fatigue on the Electrical Brain Activity during Creative Decision Making in Skilled Football Players

Razieh Hojabrnia [1], Mehdi Shahbazi[2]*, Elahe ArabAmeri[3], Shahzad Tahmasebi Bourojeni[2], Ali Motie Nasrabadi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Motor Behavior, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Motor Behavior, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Department of Motor Behavior, University of Tehran, Tehran, Iran.
4. Professor, Department of Biomedical Engineering, Shahed University, Tehran, Iran.

Received: 25/03/2023, Revised: 09/06/2023, Accepted: 25/07/2023

Abstract

Purpose: It is important to understand the effects of fatigue on decision-making and how it impacts movement control. The aim of this study was to investigate the effects of mental and physical fatigue on brain activity during creative decision-making in skilled football players.

Methods: The study utilized an intra-group design in the form of a time series. The research method was semi-experimental and applied in nature. Eighteen football players from Tehran City in the Tehran Premier League (mean age 18-30) participated in this research. Mental fatigue was induced through Stroop exercises, and physical fatigue was induced using the Bruce protocol. Electroencephalography was recorded while participants watched clips of real football scenes and made creative decisions in blocked situations. Data analysis was conducted using variance analysis with repeated measures at a significance level of $P \leq 0.05$.

Results: Creative decision-making during mental and physical fatigue was found to be lower compared to decision-making without fatigue. The alpha wave power decreased during mental fatigue and increased during physical fatigue when compared to decision-making without fatigue.

Conclusion: Coaches and sports researchers should monitor and pay attention to the perception of mental and physical fatigue levels, as well as their effects on decision-making and brain activity in football players.

Keywords: Creative Decision-Making, Alpha Wave, Fatigue, Football.

* Corresponding Author: Mehdi Shahbazi, Tel: +98-9122096299, E-mail: shahbazimhdi@ut.ac.ir

How to Cite: Hojabrnia, R., Shahbazi, M., Arabameri, E., Tahmasebi Bourojeni, S., Nasrabadi, A. M. Effect of Mental and Physical Fatigue on The Electrical Brain Activity During of Creative Decision Making on Skilled Football Player. *Sports Psychology*, 2024; 16(1): 92-113.In Persian

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract
Background and Purpose

Decision making is a key factor in success in sports, especially in football (1). Skilled athletes have the ability to know what to do and when to do it, making decisions an important part of their performance. Understanding the complete process that athletes use for decision making and the factors that may influence this process is important (2-5). Evidence has shown that fatigue from intense physical activity may lead to a decrease in cognitive processing and, consequently, decision making. Previous studies indicate that professional athletes may be more flexible towards mental fatigue (3). They make quicker and more accurate decisions and have higher executive functions compared to their less experienced counterparts (4). Therefore, it is possible that professional football players experience lower levels of mental effort for cognitive-perceptual tasks. However, to date, no studies have been conducted on football players compared to professional athletes during a full football training match (90 minutes). Football decision making requires players to pay attention to football scenario conditions (teammates and opponents' positions), predict other players' behaviors, and think about possible passes or movements that have the highest chance of scoring a goal. Imagining creative movements may involve searching and retrieving information related to tasks stored in memory, including specific football rules, technical knowledge about passing or movement execution, and common task solutions (6-8). Creative solutions in sports decision-making situations engage areas of the brain network and support executive performance and memory needs. EEG measurements have been repeatedly reported as a reliable method for evaluating mental and physical fatigue. Research has shown that mental fatigue increases faster during physical-mental tasks (8-11). Therefore, the general aim of this study was to investigate the effect of mental and physical fatigue during creative decision making on the brain activity of skilled football players.

Materials and Methods

The present research design was semi-experimental, with an applied objective, and conducted over a period of time. The study population consisted of male football players who played football professionally, and a sample of 18 players from the age range of 18-30 in Tehran's top league were selected. Inclusion criteria included: no history of mental or cognitive disorders, no history of drug use affecting cognitive abilities, right-handedness, and familiarity with the experimental conditions. The tools used in this study included competitive anxiety questionnaires to measure athletes' anxiety levels, Abedi's creativity questionnaire to assess participants' creativity, and Edinburgh Handedness Inventory and the General and Hemisphere Superiority of Wagner and Walz for control variables. Clips of real football scenes were used to measure creativity in decision-making, the Stroop test was used to induce mental fatigue, and the Bruce protocol was used to induce physical fatigue. EEG measurements were taken from areas (FP1, FP2, F7, F3, FZ, F4, F8, T7, C3, CZ, C4, T8,

P7, P3, PZ, P4, P8, O1, O2) to assess brain activity. The experiment was divided into four blocks, including one familiarization block and three test blocks. Descriptive statistics, including means and standard deviations of descriptive variables, were used for data analysis. Inferential statistics using repeated measures ANOVA were used to examine the effect of three conditions without fatigue, mental fatigue, and physical fatigue, and Bonferroni post-hoc test was utilized for pairwise comparisons.

Results

Bonferroni post-hoc test results showed a significant decrease in average creative decision making in conditions of mental fatigue (275.0±97.2) and physical fatigue (343.0±68.3) compared to conditions without fatigue (263.0 ± 6.4), indicating that players have less creativity in decision-making under fatigue conditions ($P<0.001$, $P=0.004$). Pairwise comparisons of alpha wave power in three fatigue conditions in C3, CZ, and F4 regions showed significant differences. The alpha wave power in the F4 region was higher in physical fatigue conditions (137.0± 518.0) than in mental fatigue conditions (103.0±367.0), in the C3 region, alpha wave power was higher in physical fatigue conditions (156.0 ± 681.0) than in conditions without fatigue (064.0±486.0) and higher than in mental fatigue conditions (153.0±475.0), and in the CZ region, alpha wave power in physical fatigue conditions (133.0±637.0) was higher than in mental fatigue conditions (136.0 ± 477.0) ($P=0.001$, $P=0.001$, $P=0.001$, $P=0.005$). Alpha wave power in Fz and C4 regions decreased in physical fatigue conditions compared to conditions without fatigue, but there were no significant differences in F3, FP1, and FP2 regions ($P<0.05$). Results also showed a decrease in alpha wave power in C4, CZ, C3, F4, Fz, F3, and FP2 regions in mental fatigue conditions, with decreases in C3, F3, and FP2 regions compared to conditions without fatigue, although these decreases were not significant.

Conclusion

According to the 10-20 system of electrode placement, regions FP1, FP2, F3, FZ, F4, C3, CZ, and C4 encompass the three main decision-making areas in the brain cortex, namely the OFC, DLPFC, and ACC, which play an important role in the decision-making process. Therefore, based on our study results, alpha wave activity in OFC, DLPFC, and ACC significantly decreased in mental fatigue conditions, while brain activity increased. This study demonstrated that mental fatigue led to a significant decrease in alpha wave activity in central regions and the right cortex, consistent with previous research. An increase in alpha wave power during creative decision-making indicates an internal processing need from top to bottom, facilitating internal processes such as imagination, effective search and retrieval of memory representations during idea generation. Researchers have indicated that a relative increase in beta wave power during creative decision-making compared to less creative conditions may indicate an inward processing state of information during creative idea generation that focuses less on specific stimulus-based bottom-up processing needs. Since brain activity is inversely related

to alpha wave activity, many studies have shown that fatigue disrupts cognitive processing and, consequently, specific football decision making (8-12). As demonstrated by our study results, physical fatigue had an inverse relationship with creative decision-making, leading to a decrease in brain activity and an increase in alpha wave activity in Cz, C3, F4, F3, FP2, and FP1 regions compared to conditions without fatigue. In mental fatigue conditions, due to cognitive effort and increased brain activity, alpha wave activity decreased in Cz, C4, F4, Fz, and FP2 regions, generally in central and right brain regions. These results may be explained by the nature of team sports (e.g., football) versus closed skills (e.g., cycling), where a football match may involve more unrelated stimuli and a dynamic/unpredictable environment. In contrast, cognitive involvement may be higher in a stable/predictable environment in cycling (14).

Therefore, it is possible that athletes may not make the best decisions during a football match due to mental fatigue jeopardizing high cognitive functions. Evidence suggests that a decrease in alpha wave activity indicates a decline in performance in cognitive processes during a specific task. Thus, identifying the relationship between specific frequencies and cognitive processing in individuals helps behavioral and neuroscientists recognize differences in brain activity patterns in different conditions, such as before and after a task, during poor and good performance, ultimately improving individuals' performance, especially for athletes, and utilizing effective environmental patterns (12-17). On the other hand, the effects of creative decision-making are not limited to the alpha wave frequency band. There is ample evidence of brain oscillatory activity in other frequency bands in creative decision-making cognition. A study showed an increase in cognitive and intellectual integrity (assessed by a divergent thinking task) as a result of rapid neurofeedback training in the beta frequency band.

Funding
This study received no funding from public, commercial, or nonprofit organizations.

Authors' Contributions
All authors participated in designing, implementing, and writing all parts of the present study.

Conflicts of Interest
The authors declared no conflict of interest.

روانشناسی ورزشی، ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۱، صص ۱۱۳-۹۲. doi: 10.48308/mbsp.2023.231173.1195

روانشناسی ورزشی

Journal homepage: https://mbsp.sbu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

تأثیر خستگی ذهنی و جسمی بر فعالیت مغزی حین تصمیم‌گیری خلاقانه فوتبالیست‌های ماهر

راضیه هژبرنیا [۱]، مهدی شهبازی [۲*]، الهه عرب عامری [۳]، شهزاد طهماسبی بروجنی [۲]، علی مطیع نصر آبادی [۴]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه رفتار حرکتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. استاد گروه رفتار حرکتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. دانشیار گروه رفتار حرکتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴. استاد گروه مهندسی بیومکانیک، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۵، تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۴

چکیده

هدف: درک میزان تأثیر خستگی بر تصمیم‌گیری و چگونگی تأثیر آن بر کنترل حرکت اهمیت بسزایی دارد. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر خستگی ذهنی و جسمی بر فعالیت مغزی حین تصمیم‌گیری خلاقانه فوتبالیست‌های ماهر بود.

روش‌ها: طرح تحقیق از نوع درون گروهی به صورت سری زمانی، روش پژوهش از نوع نیمه تجربی و به لحاظ هدف کاربردی بود. ۱۸ نفر بازیکن فوتبال شهر تهران حاضر در لیگ برتر تهران (میانگین سنی ۱۸-۳۰) به صورت در دسترس در این تحقیق شرکت کردند. پس از ایجاد خستگی ذهنی (تمرینات استروپ) و جسمی (پروتکل بروس) در هر مرحله از آنان ثبت الکتروآنسفالوگرافی در حین مشاهده کلیپ‌هایی از صحنه‌های واقعی فوتبال و تصمیم‌گیری خلاقانه در موقعیت‌های مسدود شده انجام گردید. داده‌ها از طریق تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری در سطح معنی‌داری $P\leq ۰/۰۵$ تحلیل شدند.

یافته ها: تصمیم‌گیری خلاقانه در زمان خستگی ذهنی و جسمی کمتر از زمان بدون خستگی و توان موج آلفا در زمان خستگی ذهنی نسبت به شرایط بدون خستگی کاهش و در خستگی جسمی نسبت به شرایط بدون خستگی افزایش یافته است.

نتیجه گیری: نظارت و توجه بر ادراک میزان خستگی ذهنی و جسمی و همچنین میزان اثرگذاری آن بر تصمیم‌گیری و فعالیت مغزی فوتبالیست‌ها توسط مربیان و محققان ورزشی باید در نظرگرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری خلاقانه، موج آلفا، خستگی، فوتبال.

* Corresponding Author: Mehdi Shahbazi, Tel: +98-9122096299, E-mail: shahbazimhdi@ut.ac.ir

How to Cite: Hojabrnia, R., Shahbazi, M., Arabameri, E., Tahmasebi Bourojeni, S., Nasrabadi, A. M. Effect of Mental and Physical Fatigue on The Electrical Brain Activity During of Creative Decision Making on Skilled Football Player. *Sports Psychology*, 2024; 16(1): 92-113.In Persian

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

ورزش فوتبال مجموعه ای از مهارت های باز است که با پویایی و غیرقابل پیش‌بینی بودن در محیط مشخص می‌شود (۱). در طول یک مسابقه فوتبال، ورزشکار باید توانایی پیش‌بینی و واکنش سریع به موقعیت‌های در حال تغییر (موقعیت هم تیمی‌ها و حریفان) را نشان داده تا بتواند بهترین تصمیم را بگیرد. ورزشکاران فوتبال تقاضای شناختی قابل توجهی را تجربه کرده، چرا که باید تمرکز خود را در دوره‌های طولانی مدت حفظ و تصمیم‌گیری سریع و دقیق را در یک محیط غیرقابل پیش‌بینی انجام دهند (۵-۲). از این رو می‌توان گفت تصمیم‌گیری یکی از عوامل کلیدی موفقیت در ورزش بویژه فوتبال است. ورزشکاران ماهر در دانستن اینکه چه کاری را باید در چه زمانی انجام دهند، مهارت دارند و از آنجایی که تصمیم‌گیری جزء مهمی از عملکرد ورزشی است، درک کامل فرآیندی که ورزشکاران برای تصمیم‌گیری از آن استفاده می‌کنند و عواملی که ممکن است بر این فرآیند تأثیر بگذارند، دارای اهمیت می‌باشد (۶). یکی از جنبه‌های مهمی که اغلب در تحقیقات پیشین در مورد تصمیم‌گیری در ورزش نادیده گرفته شده است، تصمیم‌گیری ورزشکاران در حال انجام فعالیت، تحت فشارهای روانی و جسمی مختلف است. برخی از عوامل استرس‌زا معمولاً شامل فشارهایی از سوی داوران و مربیان، سر و صدای جمعیت، درد و آسیب، خطاهای عملکردی، انتقاد مربی، خستگی و شرایط بد آب و هوا یا بازی هستند (۷). تحقیقات پیشین تصمیم‌گیری در ورزش، شواهدی غیرقطعی در مورد تأثیر خستگی بر تصمیم‌گیری را ارائه کرده است (۶). به همین دلیل درک میزان تأثیر خستگی بر ظرفیت پردازش شناختی و چگونگی تأثیر آن بر کنترل حرکت از اهمیت بسزایی برخوردار است، زیرا ورزشکاران اغلب در حالی که خسته هستند مجبور به انجام فعالیت می‌باشند. خستگی اغلب در سطح عضلانی تأثیرگذار است (۱۰-۸). با این حال، شواهدی وجود دارد که خستگی ناشی از ورزش شدید ممکن است منجر به کاهش در پردازش شناختی و در نتیجه تصمیم‌گیری شود (۱۷-۱۱). با توجه به نقش مهمی که پردازش شناختی کارآمد در کنترل حرکت در ورزش ایفا می‌کند، کاهش بالقوه در عملکرد شناختی مرتبط با خستگی می‌تواند توانایی ورزشکار را برای حرکت بدون آسیب به خطر بیندازد (۱۸).

اکستراند و همکاران، در مطالعه خود گزارش دادند که آسیب‌های تروماتیک، بیشتر در دقایق پایانی هر دو نیمه یک مسابقه فوتبال رخ می‌دهد (۱۹). بنابراین می‌توان بیان کرد که آسیب‌های غیر تماسی ناشی از خستگی در پانزده دقیقه پایانی بازی در هر دو نیمه اول و دوم بازی رخ می‌دهد. در آسیب‌های غیر تماسی، خستگی عصبی عضلانی به عنوان یک عامل خطر در نظر گرفته می‌شود (۲۲-۲۰). خستگی عصبی عضلانی با توجه به شدت و مدت ورزش به دو دسته خستگی سیستم عصبی محیطی و خستگی سیستم عصبی مرکزی تقسیم می‌شود. فعالیت‌های طولانی مدت سیستم عصبی مرکزی را تحت تأثیر قرار داده، در حالی که فعالیت‌های کوتاه مدت با شدت بالا باعث خستگی محیطی می‌شود (۲۳،۲۴). خستگی محیطی زمانی ایجاد می‌شود که با وجود افزایش نیاز به انرژی، انرژی کافی

برای ماهیچه‌ها تامین نشود (۲۴). خستگی در سیستم عصبی مرکزی که خستگی ذهنی شناخته می‌شود، یک حالت روان‌شناختی است که در طول یا به دنبال فعالیت‌های شناختی طولانی و چالش برانگیز، تجربه و به صورت خستگی، فرسودگی و کاهش انگیزه ظاهر می‌شود (۲۵). هنگامی که افراد از نظر ذهنی خسته می‌شوند، اغلب ادراک بالاتر از تلاش را در حین انجام تکالیف جسمانی (۲۶)، کاهش عملکرد هنگام انجام تکلیف در یک حجم کاری ثابت و در زمان کوتاه‌تر تا رسیدن به خستگی، افزایش زمان برای تکمیل یک تکلیف زمانی ثابت (۲۷) و کاهش توان در انتخاب‌های فردی در حین ورزش را گزارش می‌کنند (۲۸). علاوه بر این، نشان داده شده است که افراد در مطالعات مربوط به تمرینات هوازی، شدت تمرین مورد نظر خود را کاهش داده و نشان می‌دهند که آنها عمداً قصد دارند تلاش کمتری را در زمانی که احساس خستگی ذهنی دارند، صرف کنند (۲۸،۲۹). اسمیت و همکاران، اثرات خستگی ذهنی را بر بازیکنان فوتبال بررسی کردند. آنان دریافتند که خستگی ذهنی با استفاده از تجزیه و تحلیل مبتنی بر فیلم (یعنی دانش اخباری)، دقت و سرعت تصمیم‌گیری در ورزشکاران فوتبال را مختل می‌کند. با این حال، یک ارزیابی مبتنی بر فیلم اعتبار اکولوژیکی محدودی دارد، که می‌تواند تعمیم یافته‌های آنها را به‌ویژه برای ورزشکاران حرفه‌ای فوتبال به خطر بیندازد (۵). مطالعات پیشین نشان می‌دهد که ورزشکاران حرفه‌ای ممکن است نسبت به خستگی ذهنی انعطاف‌پذیرتر باشند (۵،۳۰). زیرا آنها تصمیم‌های سریع‌تر و دقیق‌تری می‌گیرند و عملکردهای اجرایی بالاتری نسبت به همتایان کم‌تجربه خود دارند (۳۱،۳۲). بنابراین، این احتمال وجود دارد که ورزشکاران حرفه‌ای فوتبال سطوح پایین‌تری از تلاش ذهنی را برای انجام خواسته‌های ادراکی-شناختی تجربه کنند (۴،۳۳). با این حال، تا به امروز هیچ مطالعه‌ای در مورد ورزشکاران فوتبال با ورزشکاران حرفه‌ای در طول یک مسابقه تمرینی کامل فوتبال (۹۰ دقیقه) انجام نشده است. تصمیم‌گیری فوتبال مستلزم توجه بازیکنان به شرایط سناریوی فوتبال (موقعیت هم تیمی‌ها و حریفان)، پیش‌بینی رفتار سایر بازیکنان (بازیکنانی که به طور غیر منتظره ظاهر می‌شوند) و تفکر در خصوص پاس‌های احتمالی و یا حرکاتی که بیشترین امیدواری را برای به ثمر رساندن گل دارند، است. تصور حرکات خلاقانه ممکن است شامل جست‌وجو و بازیابی اطلاعات مربوط به تکلیف ذخیره شده در حافظه، شامل قوانین خاص فوتبال، دانش فنی در مورد اجرای پاس یا حرکت، راه حل‌های معمول تکلیف باشد. به منظور ایجاد یک حرکت خلاقانه و مؤثر، شرکت‌کنندگان ملزم به ارزیابی اثربخشی و مناسب بودن حرکت تصور شده و جلوگیری از رویکردهای راه‌حل نامناسب یا روتین هستند. بنابراین راه‌حل‌های خلاقانه در موقعیت‌های تصمیم‌گیری فوتبال ممکن است به شدت با تکالیف تفکر واگرا همپوشانی داشته باشد. به نظر می‌رسد راه‌حل‌های خلاقانه در موقعیت‌های تصمیم‌گیری ورزشی، نواحی از شبکه مغزی را درگیر کرده و از عملکرد اجرایی و نیازهای حافظه معنایی حمایت می‌کنند (۳۴). شواهد موجود امکان شناسایی یک شبکه خلاقیت هسته‌ای را فراهم می‌کند که زیربنای طیف گسترده‌ای از نیازهای تفکر متفاوت است، از جمله مناطقی از قشر جلوی پیشانی جانبی، که

به عنوان پشتیبانی از فرآیندهای اجرایی مرتبه بالاتر شناخته شده است. علاوه بر این، شبکه‌ای از نواحی مغز که شامل منطقه آهیانه تحتانی چپ، شکنج گیجگاهی فوقانی و شکنج پیشانی تحتانی می‌شود را درگیر می‌کند؛ که با فرآیندهای معنایی مانند فعال‌سازی و بازیابی بازنمایی‌های حافظه داخلی مرتبط است (۳۵).

فینک و همکاران (۳۶)، تکلیف تصمیم‌گیری فوتبال را در نمونه‌ای از سرگرمی برای بازیکنان فوتبال مبتدی به کار گرفتند و تغییرات قدرت مربوط به تکلیف در باند آلفای EEG مورد ارزیابی قرار دادند. مطالعه آنان نشان داد که تکلیف فوتبال به طور کلی باعث کاهش قدرت موج آلفا در نواحی قشری و پس سری می‌شود که نشان‌دهنده نیازهای پردازش بینایی-فضایی بالا در طول پردازش سناریوهای پیچیده فوتبال است. علاوه بر این، عملکرد خلاقانه‌تر در تکلیف فوتبال با همگام‌سازی قوی‌تر قدرت موج آلفا در قسمت‌هایی از قشر چپ، عمدتاً شامل مناطق مرتبط با حرکت است. این یافته نشان می‌دهد که افرادی که حرکات خلاقانه‌تری ایجاد می‌کنند، به شدت درگیر فرآیندهای مربوط به تصویرسازی حرکتی هستند.

اندازه‌گیری‌های EEG به عنوان یک روش قابل اعتماد برای ارزیابی خستگی ذهنی و جسمی به طور مکرر گزارش شده است (۳۷). تحقیقات نشان داده‌اند که خستگی ذهنی در طول تکالیف فیزیکی- ذهنی سریع‌تر افزایش می‌یابد. در مطالعه فان و همکاران، تحلیل طیف قدرت EEG نشان داد که در پایان تکلیف جستجوی بصری طولانی، فعالیت آلفا در مناطق پیشانی، مرکزی، گیجگاهی خلفی، جداری و پس سری به طور قابل توجهی افزایش یافته و فعالیت بتا در مناطق پیش فرونتال، فرونتال تحتانی کاهش پیدا کرد. با توجه به تطابق این نتایج با مطالعات لیم و ابستین (۳۸) و کاکلند واکرستدت (۳۹) افزایش فعالیت آلفا و کاهش فعالیت بتا در حالت خستگی را تأیید می‌کند. بیلیاوین و رایت (۴۰) اشاره کردند که مفیدترین شاخص برای کاهش هوشیاری کاهش واضح در فعالیت موج بتا بود ۰، در حالی که افزایش فعالیت موج آلفا برای خستگی به عنوان حساس‌ترین شاخص توسط تورسوال و آکرستد (۴۱) پیشنهاد شده است. علاوه بر این، لال و کریگ (۴۲) افزایش قابل توجهی در فعالیت‌های دلتا و تتا در طول خستگی را گزارش دادند.

EEG و مطالعات تصویربرداری عملکردی در مورد تصمیم‌گیری تا حد زیادی به این تصور رایج کمک کرده است که تصمیم‌گیری یک ساختار چندوجهی است که با عملکردهای شناختی مانند توجه و کنترل شناختی مرتبط است (۳۶). همچنین مطالعات اخیر نشان داده‌اند که خستگی ذهنی و جسمی می‌تواند بر بسیاری از جنبه‌های عملکرد فوتبال، از جمله دویدن مخصوص فوتبال (۱۷،۴۳)، تکنیک‌های فنی/مهارتی (۵،۴۴) و عملکرد تصمیم‌گیری (۱۷) تاثیرگذار باشد. در پژوهش حاضر براساس مطالعات پیشین (۳۶،۴۵) از فعالیت موج آلفا استفاده گردید که یک دلیل آن می‌تواند کم بودن مطالعات در خصوص تغییرات فعالیت‌های امواج دلتا و تتا ناشی از خستگی ذهنی و جسمی باشد. از آنجایی که ورزشکاران تحت خستگی‌های ذهنی و جسمی تصمیم می‌گیرند و خستگی ممکن است بر تصمیم‌گیری اثرگذار

باشد، درک بهتر این رابطه در ورزش از اهمیت بسزایی برخوردار است. بر این اساس، هدف کلی این پژوهش بررسی تأثیر خستگی ذهنی و جسمی حین تصمیم‌گیری خلاقانه بر فعالیت مغزی ورزشکاران ماهر در فوتبال بود.

روش پژوهش

طرح تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی و به لحاظ هدف کاربردی و به صورت سری زمانی اجرا شد.

جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری این پژوهش بازیکنان فوتبال مرد که به صورت حرفه‌ای بازی فوتبال را با سابقه حداقل ۵ سال (حداقل تمرین ۱ بار در هفته) (۳۶) انجام می‌دادند؛ و نمونه آماری ۱۸ نفر از بین بازیکنان فوتبال با دامنه سنی (۱۸—۳۰ سال) شهر تهران حاضر در لیگ برتر تهران، به صورت در دسترس انتخاب شدند که این تعداد نمونه با استفاده از نرم‌افزار G-power با توان آزمون ۰/۹۵، اندازه اثر ۰/۷ و سطح خطای ۰/۰۵ انتخاب شد. از معیارهای ورود شرکت‌کنندگان به پژوهش می‌توان به عدم ابتلا به بیماری‌های روانی و شناختی، عدم سابقه و مصرف دارو (داروهایی که بر توان شناختی افراد اثر سوء دارند)، راست دست و راست پا بودن و از معیارهای خروج به عدم رضایت آزمودنی از ادامه شرکت در آزمون و آشنایی قبلی آزمودنی با شرایط آزمایش نام برد.

ابزار گردآوری داده‌ها

ابزار مورد استفاده در این پژوهش، پرسش‌نامه اضطراب رقابتی جهت سنجیدن میزان اضطراب ورزشکاران، پرسش‌نامه خلاقیت عابدی برای سنجش میزان خلاقیت آزمودنی‌ها، پرسش‌نامه دست برتری ادینبورگ[1] و نیمکره برتری کلی ولز و رادلف واگنر[2]، به عنوان متغیرهای کنترل، نمایش کلیپ‌هایی از صحنه‌های واقعی فوتبال برای سنجش میزان خلاقیت در تصمیم‌گیری، استفاده از آزمون بروس برای ایجاد خستگی جسمی و آزمون استروپ برای ایجاد خستگی ذهنی و دستگاه الکتروآنسفالوگرافی برای سنجش فعالیت مغز بود.

پرسشنامه اضطراب رقابتی: پرسشنامه اضطراب رقابت در ورزش شامل ۱۵ سوال است که در واقع ۱۰ عبارت آزمون نمره‌گذاری می‌شود و ۵ عبارت دیگر جعلی است. عبارات در یک پیوستار سه نقطه‌ای به ندرت، گاهی اوقات پاسخ داده می‌شود و مجموع نمرات از ۱۰ تا ۳۰ محاسبه می‌شود. پایایی درونی این پرسشنامه در تحقیق مارتنز و همکاران، برای سنجش اضطراب ورزشکاران ۰/۷۷ گزارش شده است.

پرسشنامه خلاقیت عابدی: این پرسش‌نامه دارای ۶۰ سوال سه گزینه‌ای می‌باشد و در این آزمون پاسخ غلط وجود ندارد؛ بلکه یکی از سه پاسخ به نظر هر فرد نزدیک‌تر است. پاسخ‌ها ارزش کمی نداشته بلکه ارزش کیفی دارند؛ یعنی نظر و دیدگاه آزمودنی‌ها در هر یک از سؤالات برای آزمون‌گیرنده ارزش و اهمیت دارد که ممکن است متفاوت از نظر دیگران باشد. نمره‌های خام در هر مقوله، نشان‌دهنده کمترین تا بیشترین نمره‌ای است که هر فرد می‌تواند در آن مقوله کسب نماید (به شرط که به همه سوالات پاسخ داده باشد). دامنه نمرات در مقوله سیالی از ۲۲ تا ۶۶، در مقوله بسط از ۱۱ تا ۳۳، در مقوله ابتکار ۱۶ تا ۲۸ و در مقوله انعطاف‌پذیری از ۱۱ تا ۳۳ می‌باشد.

پرسشنامه دست برتری ادینبورگ: این پرسش‌نامه ۱۰ گویه دارد که عبارتند از: ۱) نوشتن ۲) رسم کردن

۳) پرتاب کردن ۴) قیچی کردن ۵) مسواک زدن ۶) استفاده از کارد (بدون چنگال) ۷) استفاده از قاشق ۸) جارو زدن ۹) کبریت زدن (گرفتن چوب کبریت) و ۱۰) بازکردن درب جعبه(پیوست شماره ۶). همچنین برای محاسبهٔ نمره دست برتری از فرمول زیر استفاده می‌شود. علی پور و هریس (۱۳۸۶) ضریب همسانی درونی گویه-های این پرسش‌نامه را برابر با ۰/۹۷ گزارش کردند.

پرسشنامه نیمکره برتری کلی ولز و رادلف واگنر: این آزمون به طور کلی برتری یکی از نیمکره‌ها را نسبت به دیگری نشان می‌دهد و دارای ۱۲ موضوع نوشته شده که هر یک دارای ۴ گزینه است. نحوه تفسیر و نمره-گذاری آن جمع نمره‌های الف و ب امتیاز نیمکره چپ و با جمع نمره‌های ج و د امتیاز نیمکره راست به دست می‌آید. واگنر و ولز خاطر نشان کردند که دست کم ۳ امتیاز باید بین راست و چپ تفاوت وجود داشته باشد تا اختلاف شایان توجهی را میان دو نیمکره راست و چپ نشان دهد. در غیر این صورت هر دو یکسان و برابر هستند. قابلیت اعتماد یا پایایی این پرسشنامه با آزمون آلفای کرونباخ ۰/۸۷ بدست آمده است.

به منظور ایجاد خستگی جسمی از پروتکل خستگی بروس استفاده شد. این آزمون ابتدا توسط رابرت بروس، متخصص قلب، در سال ۱۹۶۳ به عنوان تست غیر تهاجمی طراحی شد. تست تردمیل بروس یک آزمون غیرمستقیم است که VO2 max را با استفاده از یک فرمول و توانایی ورزشکار برای تمرین در یک تردمیل به کار می‌گیرد (۴۶). مقیاس بورگ از نوع مقیاس‌های نرخ-گذاری تصویری است. این نوع مقیاس‌ها شامل یک خط افقی یا عمودی با لنگرهایی است که در طول محور خود دارای اعداد یا صفاتی می‌باشد (۴۷). در این مطالعه، مقیاس بورگ از یک خط عمود تشکیل شده که در طول محور خود از عدد ۱ تا ۱۰ درجه‌بندی شده است (متناظر با حداقل و حداکثر ضربان قلب یعنی ۶۰ تا ۲۰۰ ضربه در دقیقه) و برای اندازه‌گیری ذهنی تلاش جسمانی استفاده شد (۴۸). به منظور ایجاد خستگی ذهنی ادراک شده از تمرینات استروپ به مدت ۲۰ دقیقه (۳۳) استفاده شد.

روش اجرا

پس از کسب رضایت و اعلام آمادگی کامل آزمودنی‌ها جهت شرکت در پژوهش، پرسش‌نامه اطلاعات فردی به آنان داده شد. پس از تکمیل پرسش‌نامه‌ها آزمودنی‌ها وارد روند اصلی اجرای آزمون شدند. متغیرهایی همچون خلاقیت اولیه بازیکنان، میزان اضطراب ورزشکاران، نیمکره برتری و دست برتری بازیکنان به عنوان متغیرهای کنترل تحقیق بودند. برای سنجش میزان خلاقیت اولیه بازیکنان از آنها آزمون خلاقیت عابدی گرفته شد. پس از اجرای مقدمات فوق کلاه (کپ) ویژه ثبت امواج جهت الکترودگذاری در نواحی (FP1, FP2, F7, F3, FZ, F4, F8, T7, C3, CZ, C4, T8, P7, P3, PZ, P4, P8, O1, O2) جهت گرفتن فعالیت مغز برای آزمودنی آماده سازی و نصب شد. کل آزمایش به چهار بلوک تقسیم شد که شامل یک بلوک آشنایی و سه بلوک آزمون بود. ابتدا کلیپ‌هایی از صحنه‌های واقعی فوتبال مرحله آشنایی شامل ۱۰ کوشش (کلیپ) ارائه شد سپس در بلوک دوم کلیپ‌ها در ۱۰ کوشش (کلیپ) بدون وجود خستگی ارائه شد. قبل از اجرای هر یک از بلوک‌های بعدی مداخلات مورد نظر جهت ایجاد

خستگی اجرا شد و آزمودنی‌ها در بلوک سوم در ۱۰ کوشش در شرایط خستگی ذهنی و در بلوک چهارم ۱۰ کوشش (کلیپ) در شرایط خستگی جسمی انجام دادند. جهت از بین بردن اثر ترتیب، نیمی از آزمودنی‌ها ابتدا در شرایط خستگی ذهنی و نیم دیگر ابتدا در شرایط خستگی جسمی قرار گرفتند. بدین صورت که ۹ نفر از شرکت‌کنندگان ابتدا در شرایط خستگی ذهنی و پس از آن در شرایط خستگی جسمی کلیپ‌ها را مشاهده کردند و سنجش EEG از آنها انجام شد و ۹ نفر ابتدا در شرایط خستگی جسمی و پس از آن در شرایط خستگی ذهنی کلیپ‌ها را مشاهده کردند. برای از بین بردن اثر خستگی‌ها در یک روز، هر آزمودنی آزمون خستگی ذهنی و جسمی را در دو روز متوالی انجام دادند. بدین صورت که اگر آزمون اول خستگی ذهنی بود، آزمون خستگی جسمی را در فردای آن روز انجام می‌دادند. جهت ایجاد خستگی ذهنی از تمرینات استروپ به مدت ۲۰ دقیقه (۳۳) و جهت ایجاد خستگی جسمی از پروتکل بروس استفاده شد و میزان خستگی افراد با استفاده از آزمون بورگ (حداقل خستگی ادراک شده ۷) سنجیده شد. شرکت کنندگان پس از مشاهده کلیپ‌ها باید پاسخ‌های خود را که شامل پاس، دریبل و شوت به سمت دروازه بود به صورت کلامی بیان می‌کردند. پاسخ-های آنان ثبت شده و با پاسخ‌هایی که توسط ۴ داور سطح A فوتبال جمع‌آوری شده مقایسه و به آنان نمراتی بین ۰ تا ۵ (۰ تا ۲ خلاقیت پایین در تصمیم-گیری، ۳ خلاقیت متوسط در تصمیم‌گیری و ۰۲۲ و ۵ خلاقیت بالا در تصمیم‌گیری) داده می‌شد (۳۶). ثبت سیگنال EEG به وسیلهٔ دستگاه ثبت سیگنال مدلNCC مدل Z2N-F-24 که دارای ۱۹ کانال می‌باشد، انجام شد. برای پردازش‌های تفاضلی از الکترودهای نصب شده در نقاط مختلف سر و الکترود مرجع در گوش چپ استفاده شد. مدت زمان ثبت سیگنال EEG در حین اجرا در هر بلوک به مدت حداکثر ۳۰ دقیقه بود. دستگاه ثبت سیگنال EEG داده‌ها را به صورت خام ثبت می‌کند، نرم‌افزاری مربوط به آن که روی کامپیوتر نصب می‌شود قابلیت‌های پردازشی را دارا می‌باشد که برای پردازش به عنوان داده ورودی یک سری داده نویزی بدون هیچ پردازش و شامل همه فرکانس‌ها به ما تحویل می‌دهد. از همین رو به منظور استفاده از داده برای نشان دادن وضعیت فرد به یک سری پیش پردازش‌ها نیاز می‌باشد، برای این کار از نرم‌افزار متلب استفاده شد. داده‌های مربوط به ثبت سیگنال EEG به صورت اولیه به فرمت NEDذخیره می‌شوند، در متلب فراخوانی شده و توسط برنامه‌ای که از قبل آماده شده است، تبدیل به یک سری عدد قابل پردازش می‌شوند. این اعداد همان دامنهٔ سیگنال مغزی ثبت شده از افراد می‌باشند. دامنهٔ ثبت شده از هر کانال، طبق فرمت نوشته شده فایل در یک ستون قرار می‌گیرند، بدین ترتیب برای هر کانال یک ستون ایجاد می‌شود.

شکل ۱. تصاویر مربوط به اجرای پروتکل خستگی جسمی و ذهنی و ثبت داده‌های الکتروآنسفالوگرافی

پس از استخراج اعداد قابل پردازش از فایل ذخیره شده سیگنال EEG توسط نرم‌افزارِ متلب، مراحل اولیه پردازش انجام می‌گردد. در ابتدا حذف نمونه‌های اضافی سیگنال و پس از آن جداسازی سیگنال تریگر و سیگنال EEG و رفرنس انجام می‌شود. فیلتر سیگنال در رنج ۰،۵ تا ۴۵ هرتز در نظر گرفته شد. پس از آن ادیت تریگرها انجام گردید. اجرای الگوریتم ASR برای تمیزسازی اولیه سیگنال با step (size=3) و trial rejection در نوع آنالیز with trial rejection انجام شد. سپس حذف کانال‌های نویزی و انجام Ica و حذف کامپونت‌های نویزی و بازسازی سیگنال و در ادامه حذف مجدد کانال-های نویزی و انجام مجدد trial rejection در نوع آنالیز with trial rejection می‌باشد. پس از آن بازسازی (interpolate) کانال‌های حذف گردیده انجام شد. پس از فیلترینگ داده‌ها توان طیفی فوریه برای تبدیل سیگنال به باندهای فرکانسی سازنده استفاده شد توان مربوط به عملکرد به عنوان توان مطلق در طول اجرای تکلیف تعریف شد و به فرکانس‌های مختلف تقسیم شد. دامنه فعالیت موج آلفا از زمان نمایش ویدیو در صفحه تا لحظه تصمیم‌گیری (زدن کلید مربوط به هر پاسخ) به عنوان ملاک تغییرات فعالیت مغز مشخص شد. دامنه موج آلفا ۸ تا ۱۲ هرتز بود.

تحلیل آماری

جهت تحلیل داده‌ها از روش آماری در دو سطح آمار توصیفی و آمار استنباطی شامل تحلیل واریانس با اندازه های تکراری برای بررسی تأثیر سه شرایط بدون خستگی، خستگی ذهنی و جسمی و در صورت دیدن تفاوت بین میانگین‌ها از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. تحلیل داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه تهران برای مطالعه روی انسان‌ها با شماره IR.UT.SPORT.REC.1399.017 قرار گرفت. جنبه‌های اخلاقی که در این پژوهش رعایت شد، شامل دادن اختیار همکاری در مطالعه به شرکت‌کنندگان و کسب رضایت آگاهانه از آنها و هم‌چنین محفوظ نگه داشتن اطلاعات افراد شرکت‌کننده در مطالعه و دادن اطمینان به آنان در خصوص محرمانه بودن اطلاعات بود.

یافته‌ها

برای ارزیابی تأثیر خستگی ذهنی و جسمی بر تصمیم-گیری خلاقانه بر فعالیت مغزی، از آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. نتایج این آزمون توزیع طبیعی داده‌ها را نشان داد ($P\geq ۰/۰۵$). جدول ۲ نتایج آزمون توصیفی را نشان می-دهد.

جدول ۱. مراحل انجام پژوهش

ثبت خروجی	روز دوم جهت از بین بردن اثر ترتیب: بلوک ۴ (پس از ایجاد خستگی ذهنی)	روز اول جهت از بین بردن اثر ترتیب: بلوک آزمون ۲ (پس از ایجاد خستگی جسمی)	بلوک آزمون ۱ (شرایط بدون خستگی)	بلوک آشنایی (۱۰ کوشش از صحنه‌های واقعی فوتبال)	ثبت EEG	تکمیل کردن پرسشنامه‌ها	تکمیل کردن فرم رضایت‌نامه فردی و اطلاعات عمومی

پاسخ کلامی (۱۰ ثانیه) مرحله تصمیم گیری خلاقانه (۵ ثانیه) صحنه های فوتبال (۸ تا ۱۲ ثانیه) تثبیت اولیه (۱۰ ثانیه)

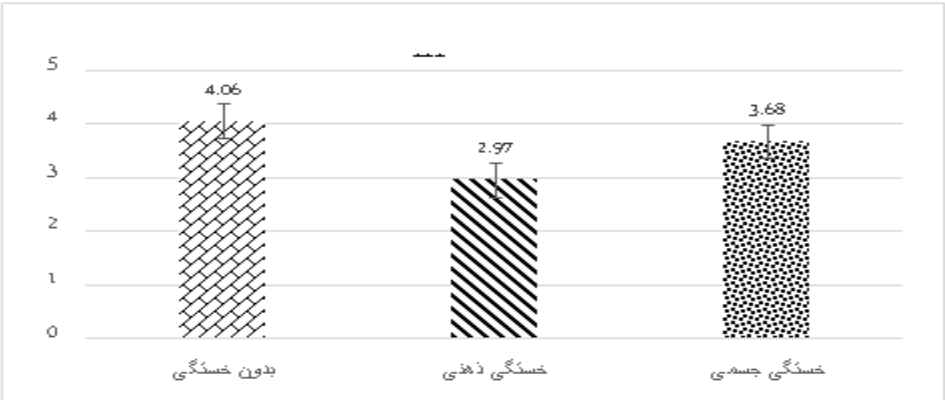
شکل ۲. طرحواره دوره‌های زمانی کوشش‌هایی از تکلیف تصمیم‌گیری خلاقانه فوتبال در طول ارزیابی الکتروآنسفالوگرافی

جدول ۲ یافته‌های توصیفی سن و سابقهٔ بازی بازیکنان فوتبال

	میانگین	انحراف استاندارد	کمترین	بیشترین
سن (سال)	۱۹/۷۲	۰/۷۵	۱۸	۲۱
سابقهٔ بازی (سال)	۷/۵	۲/۶۶	۴	۱۳

جدول ۳. داده‌های توصیفی چهار خرده مقیاس خلاقیت بازیکنان فوتبال

خلاقیت	میانگین	انحراف معیار
انعطاف	۲۵/۰۵	۴/۱۶
بسط	۲۵/۳۳	۲/۵۸
ابتکار	۳۹/۱۶	۴/۲۴
سیالی	۵۲/۴۴	۵/۹۳



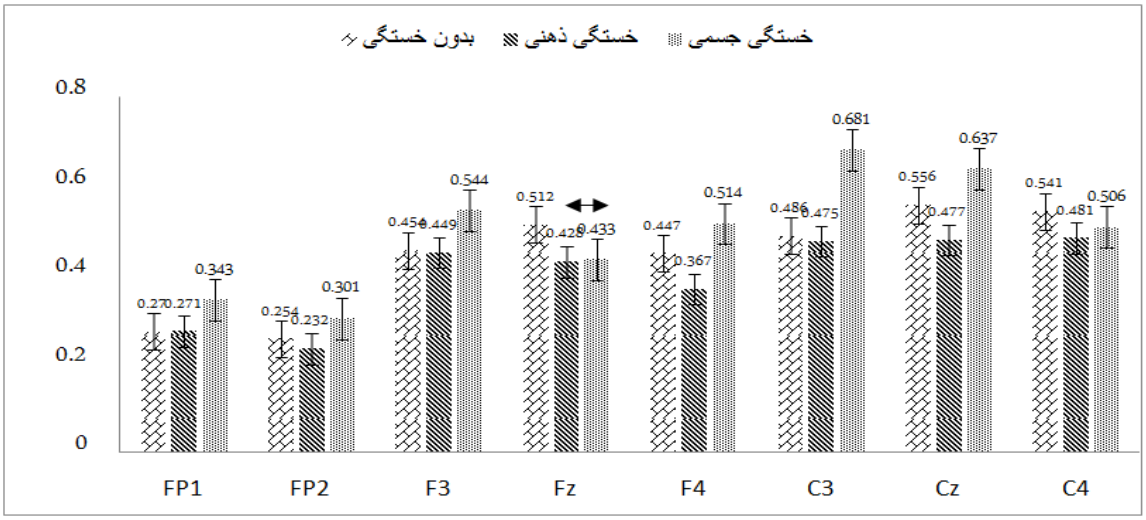
نمودار ۱. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازهٔ تکراری در سه شرایط خستگی مختلف

نتایج آزمون کرویت موخلی، فرض کرویت برای توزیع میزان تصمیم‌گیری خلاقانه (P = ۰/۸۷) را تأیید کرد. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازهٔ تکراری نشان داد میانگین تصمیم‌گیری خلاقانه (η^2=۰/۸۰، P =۰<۰۰۱ ، $F_{(۲, ۳۴)}$ = ۶۸/۲۰۵) در هر سه شرایط بدون خستگی، خستگی ذهنی و خستگی جسمی تفاوت معنی‌داری دارند. با بررسی دقیق‌تر، نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد میانگین تصمیم‌گیری خلاقانه در دو شرایط خستگی ذهنی (۲/۹۷±۰/۲۷۵) و خستگی جسمی (۳/۶۸±۰/۳۴۳) نسبت به شرایط بدون خستگی (۴/۰۶±۰/۲۶۳) کاهش معنی‌داری پیدا کرده است و بازیکنان در دو شرایط خستگی خلاقیت کمتری در تصمیم‌گیری درست دارند (به ترتیب P <۰/۰۰۱، P=۰/۰۰۴).

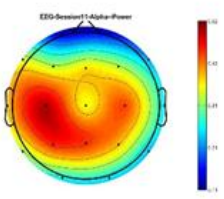
جدول ۴. نتایج آزمون تحلیل واریانس عاملی برای مقایسهٔ میانگین توان موج مغزی آلفا در سه شرایط خستگی مختلف

عامل	درجه آزادی	F	سطح معنی‌داری	ضریب تاثیر
خستگی	(۳۴،۲)	۷/۸۱۳	۰/۰۰۲**	۰/۳۱۵
منطقه مغزی	(۱۱۹ ،۷)	۶۴/۱۶۸	۰/۰۰۱***	۰/۷۹۱
تعامل خستگی * منطقه مغزی	(۲۳۸ ،۱۴)	۴/۸۴۸	۰/۰۰۱***	۰/۲۲۲

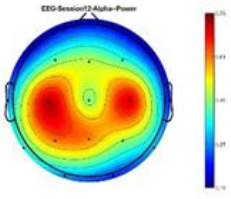
***معنی‌داری در سطح P ≤ ۰/۰۵



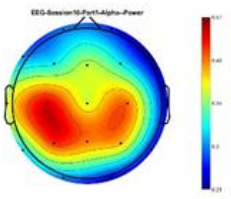
نمودار ۲. نتایج آزمون توصیفی برای مقایسهٔ میانگین توان موج مغزی آلفا در مناطق مختلف مغز بازیکنان فوتبال در سه شرایط خستگی مختلف



شکل ۳. نقشه مغزی در شرایط بدون خستگی



شکل ۴. نقشه مغزی در شرایط خستگی جسمی



شرایط ۵. نقشه مغزی در شرایط خستگی ذهنی

نتایج آزمون کرویت موخلی، فرض کرویت برای توزیع میانگین توان موج مغزی آلفا در سه شرایط خستگی و در مناطق مختلف مغز (P >۰/۰۰۵) را تأیید کرد. نتایج آزمون تحلیل عاملی نشان داد اثر اصلی خستگی با (η^2 = ۰/۳۱۵، $F_{(۲,۳۴)}$ = ۷/۸۱۳، P < ۰/۰۰۲)، اثر اصلی منطقه مغزی با ($F_{(۷,۱۱۹)}$ = ۶۴/۱۶۸، P < ۰/۰۰۱، η^2 = ۰/۷۹۱) معنی‌دار بودند. همچنین اثر تعاملی خستگی و منطقه مغزی (۰/۲۲۲ = η^2 ،P <۰/۰۰۱ ،$F_{(۱۴,۲۳۸)}$ = ۴/۸۴۸) تفاوت معنی‌داری داشتند. با توجه به معنی‌داری اثر تعاملی شرایط خستگی و مناطق مغزی از گزارش مقایسه‌های زوجی در شرایط دیگر صرف نظر نموده و مقایسه زوجی گزارش می‌شود.

نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه‌های زوجی توان موج آلفا در سه شرایط خستگی در نمودار با نشان داد که توان موج آلفا در مناطق C3, Cz و F4 در شرایط مختلف خستگی تفاوت معنی‌داری داشته‌اند و این تفاوت در منطقه F4 توان موج آلفا در شرایط خستگی جسمی (۰/۵۱۸±۰/۱۳۷) بالاتر از خستگی ذهنی (۰/۳۶۷±۰/۱۰۳)، در منطقه C3 توان موج آلفا در شرایط خستگی جسمی (۰/۶۸۱±۰/۱۵۶) بالاتر از شرایط بدون خستگی (۰/۴۸۶±۰/۰۶۴) و بالاتر از شرایط خستگی ذهنی (۰/۴۷۵±۰/۱۵۳) و همچنین در منطقه Cz توان موج در شرایط خستگی جسمی، بالاتر از خستگی ذهنی بود (به ترتیب: P=۰/۰۰۱، P=۰/۰۰۱، P=۰/۰۰۱، P=۰/۰۰۵) و توان موج آلفا در مناطقFz, C4 در شرایط خستگی جسمی نسبت به شرایط بدون خستگی کاهش داشته است اما در مناطق F3 و FP1 و FP2 تفاوت معنی‌داری نداشته‌اند (P>۰/۰۵). همچنین نتایج نشان می‌دهد که توان موج آلفا در مناطق C4 و Cz و C3 و F4 و Fz و F3 و FP2 در شرایط خستگی ذهنی کاهش یافته است و در مناطق C3 و F3 و FP2 نسبت به شرایط بدون خستگی کاهش داشته در حالی که این کاهش معنی‌دار نبوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر خستگی ذهنی و جسمی بر فعالیت مغزی حین تصمیم‌گیری خلاقانه فوتبالیست‌های ماهر مرد بود. نتایج نشان داد که تصمیم-گیری خلاقانه در زمان خستگی ذهنی و جسمی کمتر از زمان بدون خستگی می‌باشد. همچنین توان موج آلفا در زمان خستگی ذهنی در مناطق مغزی C4 و Cz و C3 و F4 و Fz و F3 و FP2 و در زمان خستگی جسمی در مناطق Fz, C4کاهش یافته است. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که خستگی ذهنی و جسمی بر تصمیم‌گیری خلاقانه فوتبالیست‌ها اثر منفی دارد. این نتایج با یافته‌های فینک و همکاران (۳۶)، هپلر و همکاران (۶)، کینراد و همکاران (۵۰)، هریس و همکاران (۵۱)، گانتیوس و همکاران (۵۲)، بادین و همکاران (۴۴)، اسمیت و همکاران (۱۷)، آلمونرودر و همکاران (۱۸)، ممرت و همکاران (۳)، و تامپسون و همکاران (۵۶) همخوانی دارد.

هپلر و همکاران (۶)، اظهار نمودند تفاوت معنی‌داری در کیفیت تصمیم‌گیری بازیکنان در سه شرایط فشار ذهنی و جسمی و بدون فشار ایجاد نشد. اما بازیکنان در شرایط فشار جسمی و شرایط بدون فشار نسبت به شرایط فشار ذهنی عملکرد بهتری داشتند. هریس و همکاران (۵۱) به این نتیجه رسیدند که خستگی ذهنی بر تصمیم‌گیری ورزشی تأثیر منفی دارد. گانتیوس و همکاران، دریافتند که خستگی ذهنی موجب کاهش در دقت تصمیم‌گیری می‌شود و درنتیجه ورزشکاران می‌بایست از انجام تکالیف شناختی قبل از مسابقات فوتبال خودداری کنند (۵۲). مایکل و همکاران، دریافتند که در شرایط خستگی ذهنی، دقت تصمیم‌گیری بسیار کاهش و زمان تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد و در نتیجه خستگی ذهنی باعث اختلال در سرعت و دقت تصمیم‌گیری فوتبالیست‌ها می‌شود (۱۷). همچنین فینک و همکاران، تحقیقی با عنوان "مغز و فوتبال: الگوی عملکردی

فعالیت مغزی در طول تصمیم‌گیری خلاقانه در موقعیت‌های واقعی فوتبال" انجام دادند. آنان نشان دادند که با افزایش خلاقیت در فوتبال، پردازش اطلاعات چندگانه ارائه شده توسط سناریوهای مختلف فوتبال افزایش یافته و افراد با پتانسیل خلاقیت بالا این فرآیندها را تا حدودی به کار می‌برند. مطالعات آنان نشان داد که تکالیف خلاق در فوتبال، سطوح فعال‌سازی قشری را در شبکه‌هایی از مغز تعدیل کرده و از عملکردهایی همچون پردازش اطلاعات معنایی، تصویرسازی حرکتی و بصری و پردازش اطلاعات حسی حرکتی حمایت می‌کند (۴۵). تامپسون و همکاران، نشان دادند که تصمیم‌های نادرست، برنامه‌ریزی آن در نواحی مربوط به قشر OFC (Fp_1 و Fp_2) و سمت چپ DLPFC (F_3 و C_3) بوده و انتخاب عمل مربوط به قشر ACC (F_z و C_z) بوده تصمیم‌های درست برنامه‌ریزی شده و آماده سازی عمل مربوط به سمت راست DLPFC (F_4 و C_4) می‌باشد. طبق سیستم جهانی۱۰-۲۰ الکترودگذاری نواحی Fp_1، Fp_2، F_3، F_z، F_4، C_3، C_z، C_4 دربرگیرنده سه بخش اصلی تصمیم‌گیری در قشر مغز یعنی قشرهای OFC، DLPFC و ACC هستند که در تعامل با هم، نقش مهمی در فرایند تصمیم‌گیری ایفا می‌کنند. بنابراین طبق نتیجه مطالعه ما، فعالیت موج آلفا در OFC، DLPFC و ACC در شرایط خستگی ذهنی کاهش معنی‌داری پیدا کرده است و بر خلاف آن فعالیت مغز افزایش یافته است. در این پژوهش نشان داده شد خستگی ذهنی باعث شده که فعالیت موج آلفا در نواحی مرکزی و قشر راست کاهش یافته که با یافته‌های پژوهش‌های پیشین همسو می‌باشد. افزایش قدرت موج آلفا در طول تصمیم‌گیری خلاق، نشان‌دهنده‌ی وضعیتی از نیازهای پردازش داخلی و از بالا به پایین است (۵۹)، که ممکن است فرآیندهای درون‌گرا از جمله تخیل و جستجوی مؤثر و بازیابی بازنمایی‌های حافظه در طول تولید ایده‌های بدیع را تسهیل کند. با این وجود، یافته‌های فینک و همکاران، به وضوح نشان می‌دهد که خلاقیت و نشانه‌های عصبی آن مختص یک حوزه خاص است (۳۶) که از این تصور رایج پشتیبانی می‌کند که خلاقیت یک فرآیند یکنواخت نیست، بلکه شامل فرآیندهای عصبی شناختی متعدد بسته به حوزه خلاقیت مربوطه است. محققان بیان کرده‌اند که افزایش نسبی قدرت آلفا در شرایط تصمیم‌گیری خللاقانه در مقایسه با شرایط خلاقانه کمتر در مکان‌های قشر خلفی ممکن است نشان‌دهنده یک وضعیت درون‌گرا از پردازش اطلاعات در طول ایده‌پردازی خلاق باشد که کمتر به نیازهای پردازش پایین به بالا مبتنی بر محرک خاص توجه دارد.

علاوه بر این، کاهش در کمیت و کیفیت عملکرد فنی در طول بازی نیز به دلیل "خستگی مربوط به مسابقه" بیان شده است. با این حال، به استثنای نبرد نظامی، پیشنهاد شده است که ورزش‌های تیمی مانند فوتبال بیش از هر فعالیت دیگری بر مغز استرس وارد می‌کند. در واقع، بازیکنان فوتبال باید برای مدت طولانی قبل و در طول مسابقات هوشیار باشند، به استراتژی‌های تاکتیکی پایبند بوده و دائماً خود را با تغییرات در بازی حریف و هم تیمی‌های خود تطبیق دهند. همچنین بازیکنان ملزم به تصمیم‌گیری سریع و دقیق برای این عوامل هستند و دائماً اطلاعات را در یک محیط پویا بازیابی و پردازش می‌کنند. علاوه بر این، آنان باید با استرس‌های روانی ناشی از انتظارات مربیان، طرفداران، حامیان مالی و رسانه‌ها کنار بیایند. بنابراین، این احتمال وجود دارد که در محیط روزانه خود دچار خستگی ذهنی شوند و این بر عملکرد تأثیر منفی می‌گذارد.

از آنجایی که میزان فعالیت مغز رابطه معکوسی با میزان فعالیت موج آلفا دارد؛ تحقیقات بسیاری نشان داده‌اند که خستگی باعث اختلال در پردازش‌های شناختی و در نتیجه تصمیم‌گیری خاص فوتبال می‌شود. در نتیجه همانطور که

نتایج تحقیق حاضر نشان داد، خستگی جسمی رابطه معکوسی با تصمیم‌گیری خلاقانه داشت و در نتیجه موجب افت فعالیت مغزی و در نتیجه افزایش فعالیت موج آلفا در نواحی Cz و C3 و F4 و F3 و FP2 و FP1 نسبت به شرایط بدون خستگی شد و در شرایط خستگی ذهنی به دلیل تلاش شناختی و فعالیت زیاد مغز موجب کاهش موج آلفا در مناطق Cz و C4 و F4 و Fz و FP2 به طور کلی در نواحی مرکزی و راست قشر مغزی بود که با نتایج تحقیقات ذکر شده همسو می‌باشد. می‌توان گفت یکی از تفسیرهای احتمالی این تفاوت‌ها این است که خستگی ذهنی تغییرات شناختی بیشتری (حافظه کاری، توجه) نسبت به خستگی جسمی ایجاد می‌کند. خستگی ذهنی تمایل افراد به صرف تلاش را کاهش می‌دهد (۴۳). در خستگی ذهنی، تصمیم گیری با افزایش توجه به محرک‌های نامربوط، کاهش پیش بینی و ناتوانی در درک اطلاعات محیطی مناسب همراه است. که به دنبال آن موجب کاهش عملکردهای شناختی مرتبه بالاتر می‌شود و ورزشکاران حتی اگر هنوز از نظر فنی ماهر باشند، ممکن است بهترین تصمیمات را در یک محیط پویا نگیرند. تحقیقات نشان داده‌اند که بازیکنان حرفه‌ای فوتبال نسبت به اثرات منفی خستگی ذهنی انعطاف‌پذیرتر می‌باشند، زیرا عملکرد شناختی/اجرایی بالاتری نسبت به همتایان کم‌تجربه خود دارند (۳۱،۳۳). با این حال، داده‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ۲۰ دقیقه تکلیف استروپ باعث خستگی ذهنی و اختلال در مهارت تصمیم‌گیری خلاقانه ورزشکاران حرفه‌ای فوتبال می‌شود. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کنترل بازدارندگی بالاتری از خود نشان می‌دهند و نسبت به همتایان تفریحی خود نسبت به اثرات منفی خستگی ذهنی انعطاف‌پذیرتر بودند (۳۰). این نتایج متفاوت ممکن است با ماهیت باز (یعنی ورزش‌های تیمی) در مقابل مهارت‌های بسته (یعنی دوچرخه سواری) توضیح داده شود، یک مسابقه فوتبال ممکن است به دلیل تعداد بیشتر محرک‌های نامربوط و محیط پویا/غیرقابل پیش‌بینی (۵). از یک محیط پایدار/قابل پیش‌بینی در دوچرخه سواری، از نظر شناختی درگیری بیشتری نیاز داشته باشند (۱).

از سوی دیگر، در این پژوهش نشان داده شده است که پس از خستگی جسمی فعالیت موج آلفا در مناطق Cz و C3 و F4 و F3 و FP2 و FP1 افزایش یافته است که می‌توان چنین گفت، افزایش قدرت موج آلفا در طول تصمیم‌گیری خلاق به‌عنوان منعکس‌کننده نیازهای پردازش داخلی بالا تفسیر شده است، که با محافظت از فرآیندهای شناختی مداوم از اطلاعات بالقوه تداخل‌کننده و نامربوط به تکلیف، مشخص می‌شود، در نتیجه از فرآیندهایی مانند بازیابی موثر حافظه، فرآیندهای ذهنی و شبیه‌سازی حمایت می‌کند (۵۹). بادین و همکاران، در مطالعه خود عملکرد فنی ضعیفی را در بازی-های کوچک نشان دادند. با توجه به رفتار تاکتیکی، خستگی ذهنی باعث کاهش حرکت هماهنگ بین هم‌تیمی‌ها شد. در این مطالعات، پیشنهاد شد که کاهش عملکرد فنی و تاکتیکی ممکن است به کاهش توجه به محرک‌های مربوط، پیش‌بینی و توانایی درک اطلاعات محیطی مناسب مرتبط باشد. در نتیجه این احتمال وجود دارد که ورزشکاران نیز در طول مسابقه فوتبال بهترین تصمیم را نگیرند زیرا خستگی ذهنی عملکردهای شناختی درجه بالایی را به خطر می-اندازد. شواهد نشان می‌دهد کاهش فعالیت موج آلفا نشان-دهندۀ افت عملکرد در فرآیندهای شناختی حین یک تکلیف معین است. بنابراین مشخص کردن ارتباط بین فرکانس‌های ویژه و پردازش شناختی در افراد، به متخصصان رفتارحرکتی و عصب‌شناسان کمک می‌کند تا تفاوت الگوهای فعالیت مغزی را در شرایط مختلف اجرا از قبیل پیش و پس از تکلیف و حین عملکرد ضعیف و خوب بشناسند، تا نهایتاً بتوان از این مقادیر برای بهتر شدن عملکرد افراد به‌ویژه برای ورزشکاران و استفاده از الگوهای محیطی مؤثر استفاده

کنند (۵۳). از طرفی، اثرات مربوط به تصمیم‌گیری خلاقانه فقط به باند فرکانسی موج آلفا محدود نمی‌شود. شواهد زیادی مبنی بر فعالیت نوسانی مغز در باندهای فرکانسی دیگر در شناخت خلاقیت در تصمیم‌گیری وجود دارد. در مطالعه‌ای افزایش در روانی و اصالت فکری در نتیجه آموزش سریع نوروفیدبک در موج فرکانسی بتا نشان داده شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود، تحقیقات آینده به ویژه برای تکمیل شواهد موجود در مورد موج آلفا و خلاقیت با سایر پارامترهای EEG و باندهای فرکانسی به چالش کشیده شود. همچنین، در این مطالعه به شرکت‌کنندگان به صراحت آموزش داده شد که به یک حرکت آشکار یا خلاقانه فکر کنند و به صورت کلامی آن را بیان کنند. تحقیقات بیشتری از به نمایش گذاشتن صحنه‌های فوتبال جهت مقایسه‌ای قابل اعتماد به الگوهای فعالیت مغز در پاسخ به تغییرات در تصمیم‌گیری خلاقانه پاسخ‌های فردی مورد نیاز است. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده موقعیت بازیکنان در بازی فوتبال را نیز در نظر گرفته شود (به عنوان مثال، فوروارد، هافبک، عقب، دروازه بان، و غیره) که ارزیابی این سوال هیجان انگیز تحقیقاتی را تسهیل می‌کند که آیا الگوهای فعالیت مغز مرتبط با خلاقیت در حین انجام بازی فوتبال به عنوان تابعی از موقعیت بازیکن متفاوت است یا خیر. از سوی دیگر، اگر خستگی توانایی ورزشکار برای انجام پردازش‌های شناختی مورد نیاز برای تصمیم‌گیری را مختل کند، آموزش ورزشکاران برای بهبود مقاومت در برابر این اثرات خستگی ضروری است. با این حال، اگر این امر در زمینه مشارکت ورزشی معمولی نادر است، ممکن است تمرین برای بهبود توانایی‌های پردازش شناختی پایه ورزشکار کافی باشد باز هم، در این زمان به نظر می‌رسد درک ما از اینکه چگونه خستگی بر تأثیرات تصمیم‌گیری تأثیر می‌گذارد، ابتدایی است. همچنین، در حالی که این مطالعات با استفاده از روش‌هایی با اعتبار زیست‌محیطی پایین (مانند تست‌های استروپ) باعث ایجاد خستگی ذهنی شده‌اند، اما به وضوح نشان داده‌اند که هنگام آماده‌سازی فوتبالیست‌ها برای رقابت باید خستگی ذهنی در نظر گرفته شود. در واقع، از آنجایی که گزارش شده است که هم خستگی ذهنی و هم جسمی بر عملکرد فیزیکی و فنی تأثیر منفی می‌گذارد و خطرات آسیب را افزایش می‌دهد، مدیریت خستگی اکنون بخش عمده‌ای از کار محققان در ورزش فوتبال است. در این زمینه، نظارت بر ادراک خستگی ذهنی و خستگی جسمانی یک عمل رایج درک بهترین راه‌ها برای نزدیک شدن به خستگی ذهنی کمک کند. شواهد نشان می‌دهد کاهش فعالیت موج آلفا نشان دهندهٔ افت عملکرد در فرآیندهای شناختی حین یک تکلیف معین است .بنابراین مشخص کردن ارتباط بین فرکانس‌های ویژه و پردازش شناختی در افراد، به متخصصان رفتارحرکتی و عصب‌شناسان کمک می‌کند تا تفاوت الگوهای فعالیت مغزی را در شرایط مختلف اجرا از قبیل پیش و پس از تکلیف و حین عملکرد ضعیف و خوب بشناسند، تا نهایتاً بتوان از این مقادیر برای بهتر شدن عملکرد افراد به‌ویژه برای ورزشکاران و استفاده از الگوهای محیطی مؤثر استفاده کنند.

تشکر و قدردانی

پژوهشگران این تحقیق از کلیه شرکت کنندگان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

پانویس‌ها

1. Edinburgh
2. Rudolf Wagner and Kelly Wells

References

1. Wang CH, Chang CC, Liang YM, Shih CM, Chiu WS, Tseng P, Hung DL, Tzeng OJ, Muggleton NG, Juan CH. Open vs. closed skill sports and the modulation of inhibitory control. PLoS One. 2013;8(2):e55773. 10.1371/journal.pone.0055773.
2. Romeas T, Guldner A, Faubert J. 3D-Multiple Object Tracking training task improves passing decision-making accuracy in soccer players. Psychology of Sport and Exercise. 2016. 22: 1-9. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.06.002
3. Memmert D. Testing of tactical performance in youth elite soccer. Journal of sports science & medicie. 2010, 9(2): 199-205.
4. Huijgen BC, Leemhuis S, Kok NM, Verburgh L, Oosterlaan J, Elferink-Gemser MT, Visscher C. Cognitive Functions in Elite and Sub-Elite Youth Soccer Players Aged 13 to 17 Years. PLoS One. 2015 11; 10(12): e0144580. 10.1371/journal.pone.0144580
5. Smith MR, Zeuwts L, Lenoir M, Hens N, De Jong LM, Coutts AJ. Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. Journal of sports sciences. 2016. 34(14): 1297-1304. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1156241
6. Hepler T.J. Decision-making in sport under mental and physical stress. International Journal of Kinesiology and Sports Science. 2015. 3(4): 79-83.
7. Gan Q, Anshel MH, Kim JK. Sources and cognitive appraisals of acute stress as predictors of coping style among male and female Chinese athletes. International Journal of Sport and Exercise Psychology. 2009. 7(1): 68-88. 10.1080/1612197X.2009.9671893
8. Ament W, Verkerke GJ. Exercise and fatigue. Sports Medicine. 2009. 39(5): 389-422.
9. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. Physiological Reviews. 2001, 81(4):1725-89. https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725
10. Knicker AJ, Renshaw I, Oldham AR, Cairns SP. Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. Sports medicine. 2011. 41(4): 307-328. https://doi.org/10.2165/11586070-000000000-00000
11. Covassin T, Weiss L, Powell J, Womack C. Effects of a maximal exercise test on neurocognitive function. British journal of sports medicine. 2007. 41(6): 370-374. https://doi.org/10.1136%2Fbjsm.2006.032334
12. Del Giorno JM, Hall EE, O'Leary KC, Bixby WR, Miller PC. Cognitive function during acute exercise: a test of the transient hypofrontality theory. Journal of Sport and Exercise Psychology. 2010. 32(3): 12-323. https://doi.org/10.1123/jsep.32.3.312
13. Konishi K, et al. Effect of sustained high-intensity exercise on executive function. The Journal of Physical Fitness and Sports Medicin. 2017. 6(2): 111-117. https://doi.org/10.7600/jpfsm.6.111
14. Lo Bue-Estes C, Willer B, Burton H, Leddy JJ, Wilding GE, Horvath PJ. Short-term exercise to exhaustion and its effects on cognitive function in young women. Perceptual and motor skills. 2008. 107(3): 933-945. https://doi.org/10.2466/pms.107.3.933-945
15. Lorist MM, Kernell D, Meijman TF, Zijdewind I. Motor fatigue and cognitive task performance in humans. The Journal of Physiology. 2002. 545(1): 313-319. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.027938

16. Moore RD, Romine MW, O'connor PJ, Tomporowski PD. The influence of exercise-induced fatigue on cognitive function. Journal of sports sciences. 2012. 30(9): 841-850. https://doi.org/10.1080/02640414.2012.675083
17. Smith MR, Coutts AJ, Merlini M, Deprez D, Lenoir M, Marcora SM. Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2016. 48(2): 267-276. https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000762
18. Almonroeder TG, Tighe SM, Miller TM, Lanning CR. The influence of fatigue on decision-making in athletes: a systematic review. Sports Biomechanics. 2020, 19(1):76-89. https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1472798
19. Ekstrand J, M. Hägglund and M. Waldén. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). The American Journal of Sports Medicine. 2011, 39(6): 1226-1232. https://doi.org/10.1177/0363546510395879
20. Yu B, Kirkendall DT, Taft TN, Garrett WE Jr. Lower extremity motor control-related and other risk factors for noncontact anterior cruciate ligament injuries. Instructional course lectures. 2002, 51: 315-324.
21. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lázaro-Haro C, Cugat R. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy. 2009, 17: 705-729. https://doi.org/10.1007/s00167-009-0813-1
22. Verschueren J, Tassignon B, De Pauw K, Proost M, Teugels A, Van Cutsem J, Roelands B, Verhagen E, Meeusen R. Does acute fatigue negatively affect intrinsic risk factors of the lower extremity injury risk profile? A systematic and critical review. Sports Medicine. 2020, 50: 767-784. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01235-1
23. Millet GY, Lepers R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. Sports Medicine. 2004, 34: 105-116. https://doi.org/10.2165/00007256-200434020-00004
24. Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. Sports Medicine. 2005, 35: 757-777. https://doi.org/10.2165/00007256-200535090-00003
25. Boksem MA, Tops M. Mental fatigue: costs and benefits. Brain Research Reviews. 2008. 59(1): 125-139. https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001
26. Marcora SM, Staiano W, Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. Journal of Applied Physiology. 2009, 106(3): 857-64. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.91324.2008
27. MacMahon C, Schücker L, Hagemann N, Strauss B. Cognitive fatigue effects on physical performance during running. Journal of Sport and Exercise Psychology. 2014, 36(4): 375-381. https://doi.org/10.1123/jsep.2013-0249
28. Brownsberger J, Edwards A, Crowther R, Cottrell D. Impact of mental fatigue on self-paced exercise. International Journal of Sports Medicine. 2013, 34(12): 1029-1036. https://doi.org/10.1055/s-0033-1343402
29. Martin Ginis KA, Bray SR. Application of the limited strength model of self-regulation to understanding exercise effort, planning and adherence. Psychology and Health. 2010,

25(10): 1147-1160. https://doi.org/10.1080/08870440903111696
30. Martin K, et al. Superior inhibitory control and resistance to mental fatigue in professional road cyclists. PloS one. 2016, 11 (7):e0159907. 10.1371/journal.pone.0159907
31. Vestberg T, et al. Executive functions predict the success of top-soccer players. PloS one. 2012, 7(4): e34731. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034731
32. Vaughan R, Laborde S, McConville C. The effect of athletic expertise and trait emotional intelligence on decision-making. European Journal of Sport Science. 2019, 19(2): 225-233. 10.1080/17461391.2018.1510037
33. Smith MR, Thompson C, Marcora SM, Skorski S, Meyer T, Coutts AJ. Mental fatigue and soccer: current knowledge and future directions. Sports Medicine. 2018, 48(7): 1525-1532. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0908-2
34. Gonen-Yaacovi G, de Souza LC, Levy R, Urbanski M, Josse G and Volle E. Rostral and caudal prefrontal contribution to creativity: a meta-analysis of functional imaging data .Frontiers in Human Neuroscience. 2013, 7: 465. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00465
35. Binder JR, Desai RH, Graves WW, Conant LL. Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. Cerebral Cortex. 2009, 19(12): 2767-2796. https://doi.org/10.1093/cercor/bhp055
36. Fink A, Rominger C, Benedek M, Perchtold CM, Papousek I, Weiss EM, Seidel A, Memmert D. EEG alpha activity during imagining creative moves in soccer decision-making situations. Neuropsychologia. 2018, 114: 118-124. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.025
37. Trejo LJ, et al., EEG-based estimation and classification of mental fatigue. Psychology, 2015. 6(05): 572. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73216-7_23
38. Lim J, et al. Dopaminergic polymorphisms associated with time-on-task declines and fatigue in the Psychomotor Vigilance Test. PloS one, 2012. 7(3): e33767. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033767
39. Kecklund G, Åkerstedt T. Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving. Ergonomics, 1993. 36(9): 1007-1017. https://doi.org/10.1080/00140139308967973
40. Belyavin A, Wright NA. Changes in electrical ac tivity of the brain with vigilance. Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 1987, 66(2): 137-144. https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90183-0
41. Torsvall L. Sleepiness on the job: continuously measured EEG changes in train drivers. Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 1987, 66(6): 502-511. https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90096-4
42. Lal SK, Craig A, Boord P, Kirkup L, Nguyen H. Development of an algorithm for an EEG-based driver fatigue countermeasure. Journal of safety Research, 2003, 34(3): 321-328. https://doi.org/10.1016/s0022-4375(03)00027-6
43. Smith MR, Marcora SM, Coutts AJ. Mental fatigue impairs intermittent running performance. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2015, 47(8): 1682-1690. https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000592
44. Badin O, Smith MR, Conte D, Coutts AJ. Mental fatigue: impairment of technical performance in small-sided soccer games. International journal of sports physiology and performance, 2016, 11(8): 1100-1105. https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0710

45. Fink A, Bay JU, Koschutnig K, Prettenthaler K, Rominger C, Benedek M, Papousek I, Weiss EM, Seidel A, Memmert D. Brain and soccer: Functional patterns of brain activity during the generation of creative moves in real soccer decision-making situations. Human Brain Mapping, 2019, 40(3): 755-764. https://doi.org/10.1002%2Fhbm.24408
46. Serajian A, NorShahi M, Lavavi E, Eliaspour D, Rajabi H, Zakeri Kundlji R. Investigation of central and peripheral fatigue after Bruce's modified stimulant protocol in young men using tms and m-wave methods. Physiology of exercise and physical activity, 2019, 21 (12): 45-59. In Persian
47. Straker L. Body discomfort assessment tools. The occupational ergonomics handbook. Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC, 1999, 1239-1252.
48. Alimoradi M, Hosseini E, Sahebozamani M, Dos'Santos T, Sheikhbahaie S, Bigtashkhani R, Kabiri A. The effects of two different fatigue protocols on movement quality during anticipated and unanticipated change of directions in female soccer players. PLoS One. 2024 19(5):e0302144. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302144
49. Abdoli B, Namazizade M, Moenirad S. Comparison of anticipation skills and visual search behavios of skilled and novice basketball players in different positions attack (1 on 1, 3 on 3). Motor Behaviour. 2015, 7(19): 15-32. In Persian
50. Kinrade NP, Jackson RC, Ashford KJ. Reinvestment, task complexity and decision making under pressure in basketball. Psychology of Sport and Exercise. 2015, 20(15): 11-19. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.03.007
51. Harris S, Bray SR. Effects of mental fatigue on exercise decision-making. Psychology of Sport and Exercise. 2019, 44: 1-8. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.04.005
52. Gantois P, Caputo Ferreira ME, Lima-Junior D, Nakamura FY, Batista GR, Fonseca FS, Fortes L. Effects of mental fatigue on passing decision-making performance in professional soccer athletes. European Journal of Sport Science. 2019: 20(4), 534–543. https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1656781
53. Coutinho D, Gonçalves B, Wong DP, Travassos B, Coutts AJ, Sampaio J. Exploring the effects of mental and muscular fatigue in soccer players' performance. Human Movement Science. 2018, 58: 287-296. 10.1016/j.humov.2018.03.004
54. Memmert D, Hüttermann S, Orliczek J. Decide like Lionel Messi! The impact of regulatory focus on divergent thinking in sports. Journal of Applied Social Psychology. 2013, 43(10): 2163-2167. https://psycnet.apa.org/doi/10.1111/jasp.12159
55. Rominger C, Papousek I, Perchtold CM, Weber B, Weiss EM, Fink A. The creative brain in the figural domain: Distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration. Neuropsychologia. 2018, 118: 13-19. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.013
56. Thompson T, Steffert T, Ros T, Leach J, Gruzelier J. EEG applications for sport and performance. Methods. 2008, 45(4): 279-288. https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2008.07.006