



Original Article

The Acute Effect of Caffeine Mouth Rinse on Fat Oxidation and Maximal Oxygen Consumption During Exercise in Female Athletes

Maryamm Eslami¹, Mohsen Ebrahimi^{2*} Mehdi Changizi³

1. Master's student in exercise physiology, Department of Exercise Science, Faculty of Humanities, Semnan University, Semnan, Iran
2. Associate Professor of Exercise Physiology, Department of Exercise Sciences, Faculty of Humanities, Semnan University, Semnan, Iran
3. Exercise Physiology, Department of Exercise Sciences, Faculty of Humanities, Semnan University, Semnan, Iran

Received: 5-May-2025 | Accepted: 20-Aug-2025 | Online Published: 14-Sep-2025

*Corresponding Author: Mohsen Ebrahimi, E-mail: mebrahimi@semnan.ac.ir

How to Cite: Eslami, M; Ebrahimi, M; Changizi, M. (2025). The Acute effect Caffeine Mouth Rinse on Fat Oxidation and Maximal Oxygen Consumption During Exercise in Female Athletes. *Sport Physiology*, 17(65):135-148. (In Persian). Doi: [10.22089/spj.2025.15850.2370](https://doi.org/10.22089/spj.2025.15850.2370)

Extended Abstract

Background and Purpose

Exercise is widely recognized as a key factor enhancing fat oxidation and positively regulating metabolic processes in the body. This is particularly relevant during sports activities where the body mobilizes fat stores to meet energy demands. Caffeine, a prevalent physiological stimulant among athletes, contributes by increasing alertness, mitigating fatigue, and improving cognitive and physical performance. Recently, a novel method of caffeine administration—gargling with a caffeine-containing solution—has gained attention. This delivery route facilitates rapid absorption through the oral mucosa, potentially offering faster ergogenic effects compared to conventional oral ingestion such as caffeinated beverages. Understanding this method's side effects, absorption kinetics, and interactions with other nutrients remains limited. Furthermore, the impact of caffeine mouth rinsing and its dosage on fat oxidation and maximal oxygen consumption (VO₂max) remains unclear amid conflicting evidence. Hence, this study aimed to examine the effects of caffeine mouth rinsing on fat oxidation and VO₂max during exercise in young female athletes.

Materials and Methods

Participants: In the present study, 14 young female athletes majoring in physical education who voluntarily expressed their readiness to participate in this study through a call at Semnan University completed a consent form. To carry out the initial stages of the study, a personal information questionnaire and a health form were distributed and completed. Subjects were screened for lack of disease (including cardiovascular, respiratory, and musculoskeletal diseases),



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND: No Derivatives) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

having a sports history (i.e., having at least three sessions of regular exercise per week for six months before the start of the study), and having a BMI less than 25.

Research Method: The research method was set up and implemented as a crossover and counterbalanced design. In the first phase of the study, a briefing session was held on a day other than the test day to educate and explain the procedure, and the subjects were familiarized with the procedure. They were asked not to consume caffeine 24 hours before the test and also not to have used steroid medications in the past two months. The exclusion criteria for subjects from the study were any physical or cognitive limitations (chronic illness, physical and mental disorders), use of energy supplements, and performance-enhancing substances. Participants were reminded of what foods and beverages were rich in caffeine and to avoid consuming them. Then, the subjects arrived at the laboratory at 7:30 AM on two different days, one week apart, after fasting for 12 hours. Seven of the subjects consumed caffeine and seven of them consumed placebo. One week later, the test was repeated, and participants who had received the caffeine the previous week were given a placebo, and those who had used the placebo were given a caffeine, and then the tests were repeated. The selection of supplement and placebo bottles was done and recorded by someone other than the researcher, and they were handed over to the researcher at the end of the study. The time of the subjects' attendance was determined based on the menstrual cycle in the luteal phase and according to the schedule specified for them.

Supplement consumption: Supplement consumption was carried out in a double-blind manner. People in the supplement group received an average dose of pure caffeine per kilogram of body weight (six milligrams per kilogram of body weight in 25 milliliters of water), on an empty stomach, one hour before exercise, as a mouth rinsing. The caffeine consumed in this study was Enercaff 200 caffeine capsules, with full observance of hygiene precautions and without any preservatives, and its manufacture was approved by the research ethics committee. The placebo group also received 25 ml of water. Also, 10 cc of peppermint extract was added to make the subjects unaware of the solutions they were consuming, which were similar in shape and color to the caffeine solution and water. In both conditions, they mouth rinsing their solutions for 20 seconds.

Exercise protocol: After a five-minute warm-up, the subjects were connected to a gas analyzer (Cortex, Germany, model MPU31-105) and they went on a treadmill. The activity began at a speed of 3.5 km/h and a 1% incline, and the treadmill speed was increased by 1 km/h every three minutes, until it reached a speed of 7.5 km/h. At this point, the speed remained constant and the incline of the device was increased by 2% every three minutes until the respiratory exchange ratio (RER) was equal to 1. Finally, the speed and incline were increased simultaneously until the fatigue threshold was reached (20). And the test data were displayed on the screen. The measurement was carried out by attaching a mouthpiece to the subject and recording the variables moment by moment using an open-circuit method and displayed on the computer screen. The pressure, temperature and humidity standardized with the variables were calculated by the device. The air and gas of the device were calibrated by a capsule containing standardized gases (O₂ 16% and CO₂ 4%) and the turbine of the device was calibrated by a three-liter syringe. Calibration was repeated at the beginning of each month. The temperature of the laboratory room was also measured by a gas analyzer (mean and standard deviation of ambient temperature: 27.46±1.18 and mean and standard deviation of ambient humidity: 45.91±1.17).

The aim of the final part of the test was to measure VO₂max. The criteria for achieving VO₂max were reaching a heart rate equal to or greater than 10 beats below maximum heart rate (calculated by age-220), no increase in oxygen consumption despite increasing activity intensity, and RER greater than 1.05. The average carbon dioxide exhaled (Vco₂) and oxygen consumed (Vo₂) in the

last two minutes of each stage were calculated, and the rate of carbohydrate and fat oxidation was calculated using elemental equations, assuming negligible urinary nitrogen. Then, the MFO, FATmax, and crossover points (the point of relative activity intensity at which the relative contribution of carbohydrate exceeds that of fat) were determined.

Statistical analysis: In the present study, the Kolmogorov-Smirnov test was used to examine the normality of the data distribution. Also, the paired t-test was used to compare the variables. Statistical calculations were performed using SPSS version 24 software at a significance level of $P \leq 0.05$.

Findings

The Kolmogorov-Smirnov test confirmed data normality. Paired t-tests (SPSS v24) compared metrics between caffeine and placebo conditions at a significance threshold of $P \leq 0.05$. Results indicated no significant differences in MFO ($P=0.729$) and VO2max ($P=0.150$) between conditions. FATmax approached significance ($P=0.052$) under caffeine gargling condition. Crucially, time to exhaustion significantly improved with caffeine gargling ($P=0.012$). While fat oxidation rates showed a nonsignificant elevation in the caffeine condition, carbohydrate oxidation remained stable. These trends suggest a favorable influence of caffeine gargling on fat utilization.

Conclusion

This study demonstrates that gargling with caffeine solution does not significantly alter MFO, VO2max, or FATmax in young female athletes but does significantly prolong time to exhaustion. The ergogenic effect on endurance likely arises from central nervous system adenosine receptor inhibition and diminished perception of fatigue.

These findings highlight the potential utility of caffeine gargling for enhancing short-term endurance and neuromuscular efficiency. To elicit more pronounced metabolic effects, future research should explore optimal dosing and timing strategies. Accordingly, caffeine gargling may serve as a practical adjunct in athletes' training regimens, particularly for individuals engaged in fasted training, those unable to ingest caffeine orally, or when time constraints limit intake options.

Keywords: Caffeinated Mouthwash, Fatigue, Maximal Fat Oxidation, Female Athletes.

Article Message

Gargling caffeine solution significantly enhances time to exhaustion without altering key metabolic markers of fat oxidation in female athletes. The ergogenic benefits likely stem from central nervous system modulation independent of peripheral metabolic changes. Differences in absorption dynamics between gargling and oral intake may account for observed effects.

Authors' Contributions

All authors contributed to study design, implementation, data analysis, and manuscript drafting.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest regarding publication.

Acknowledgment

This research was self-funded. The authors extend sincere thanks to all participants for their cooperation.



تأثیر حاد غرغره کردن محلول کافئینی بر اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیژن مصرفی در هنگام فعالیت ورزشی در دختران ورزشکار

مریم اسلامی^۱ ID، محسن ابراهیمی^{۲*} ID، مهدی چنگیزی^۳ ID

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۲. دانشیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۳. گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹ | تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

*نویسنده مسئول: محسن ابراهیمی، ایمیل: mebrahimi@semnan.ac.ir

نحوه ارجاع دهی: اسلامی، مریم، ابراهیمی، محسن و چنگیزی، مهدی. (۱۴۰۴). تأثیر حاد غرغره کردن محلول کافئینی بر اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیژن مصرفی در هنگام فعالیت ورزشی در دختران ورزشکار. فیزیولوژی ورزشی، ۱۷(۶۵): ۱۳۵-۱۴۸.

چکیده

هدف: غرغره کردن کافئین روشی جدید برای استفاده از کافئین بدون بلعیدن آن است. هدف این مطالعه، بررسی تأثیر غرغره کردن محلول کافئینی بر اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیژن مصرفی هنگام فعالیت ورزشی در دختران جوان ورزشکار بود. روش ها: دوازده زن جوان ورزشکار (سن: $21/42 \pm 1/73$ سال، وزن: $58/48 \pm 7/15$ کیلوگرم، قد: $163/50 \pm 4/74$ سانتی متر و شاخص توده بدن: $21/93 \pm 2/89$ کیلوگرم بر مترمربع) با حداقل شش ماه سابقه تمرین، یکبار ۲۵۰ میلی لیتر آب و یکبار ۲۵۰ میلی لیتر محلول کافئینی را با فاصله یک هفته از هم در حالت ناشتا غرغره کردند. پس از غرغره کردن محلول کافئینی، در حالی که دستگاه گاز آنالایزر به آن ها وصل بود، فعالیت فزاینده ای را تا حد واماندگی روی نوار گردان انجام دادند. برای هر فرد، زمان رسیدن به واماندگی، میزان حداکثر اکسیداسیون چربی (MFO) و شدتی از فعالیت که MFO در آن روی می دهد (FAT_{max}) محاسبه و ثبت شد. برای تحلیل داده ها از آزمون تی همبسته استفاده شد. نتایج: تفاوت معناداری در MFO ($P=0/729$)، $\dot{V}O_{2max}$ ($P=0/150$) و FAT_{max} ($P=0/052$) بین دو شرایط غرغره کردن محلول کافئینی و کنترل وجود نداشت، اما زمان رسیدن به واماندگی به طور معناداری ($P=0/012$) با غرغره کردن محلول کافئینی بیشتر از آب بود. نتیجه گیری: به نظر می رسد، غرغره کردن محلول کافئینی در دختران ورزشکار زمان رسیدن به واماندگی را افزایش می دهد، اما بر متابولیسم چربی و ظرفیت هوازی تأثیر معنادار ندارد.

واژگان کلیدی: غرغره کردن کافئینی، خستگی، حداکثر اکسیداسیون چربی، دختران ورزشکار.



مقدمه

بهبود عملکرد ورزشی و به تعویق انداختن خستگی از جمله اهداف اصلی ورزشکاران و محققان در حوزه علوم ورزشی است. اکسیداسیون چربی^۱ یکی از فرایندهای متابولیکی کلیدی در تأمین انرژی طی فعالیت‌های ورزشی است که نقش مهمی در مدیریت وزن ورزشکار دارد و در صورت زیاد بودن اکسیداسیون چربی، ورزشکار می‌تواند در مصرف ذخایر کربوهیدرات خود صرفه‌جویی کند و مدت‌زمان بیشتری تا رسیدن به واماندگی دوام آورد (۲، ۱).

کافئین به عنوان محرک فیزیولوژیک رایج بین ورزشکاران، می‌تواند با افزایش اکسیداسیون چربی موجب بهبود عملکردهای استقامتی شود (۹). کافئین به طور طبیعی در برگ چای، کاکائو، دانه قهوه و شکلات یافت می‌شود. کافئین علاوه بر بافت چربی، بر سیستم عصبی، سیستم قلبی-عروقی و عضلات اسکلتی نیز اثر می‌گذارد (۱۱، ۱۰) که همه این آثار می‌تواند برای بهبود عملکرد ورزشی مفید باشد. بسته به دوز کافئین، تقریباً یک تا دو ساعت پس از مصرف در پلاسما به اوج خود می‌رسد (۱)؛ در حالی که نیمه عمر کافئین در گردش حدود سه تا شش ساعت است (۲). پس از جذب، هنگامی که کافئین به بافت‌های هدف خود می‌رسد، به طور غیرانتخابی با گیرنده‌های آدنوزین مخالفت کرده و از دستیابی به اثرات آن جلوگیری می‌کند (۳). هنگامی که کافئین به این گیرنده‌ها در سلول‌های ماهیچه‌ای متصل می‌شود، کاهش جذب گلوکز رخ می‌دهد (۴). با افزایش هم‌زمان اکسیداسیون چربی، همچنین باعث آزاد شدن کلسیم از شبکه آندوپلاسمی^۲ به داخل سارکوپلاسم^۳ می‌شود که می‌تواند انقباض عضلانی را کارآمدتر کند (۵). همچنین آدنوزین دارای اثرات گشادکنندگی عروق است که از بافت‌ها در برابر شرایط ایسکمی از طریق افزایش تأمین اکسیژن و سوپسترای انرژی محافظت می‌کند (۶). کافئین این اثر را هم به صورت موضعی خنثی می‌کند و هم از طریق آدرنالین^۴ و نورآدرنالین^۵ اثرات افزایش‌دهنده‌ای را بر غدد فوق‌کلیوی و سیستم عصبی مرکزی آزاد می‌کند (۷). وقتی کافئین به گیرنده‌های سیستم عصبی مرکزی متصل می‌شود، فعال شدن گیرنده‌های دوپامین را افزایش می‌دهد و برانگیختگی و فعال‌سازی رفتاری را افزایش می‌دهد که منجر به تشدید اراده می‌شود (۸).

روش‌های مختلفی برای مصرف مکمل کافئین وجود دارد؛ از جمله نوشیدنی‌ها، قرص‌ها، آدامس‌ها و محلول‌های غرغره. سرعت جذب کافئین در هریک از این روش‌ها متفاوت است. سرعت دقیق رسیدن آن به جریان خون به روش مصرف بستگی دارد؛ برای مثال، آدامس کافئینی به دلیل جذب در حفره دهان، سریع‌تر از کافئین موجود در کپسول وارد گردش خون می‌شود. یکی از روش‌های نوین مصرف کافئین، استفاده از غرغره کردن محلول حاوی کافئین است که به سرعت از طریق مخاط دهان جذب می‌شود و ممکن است اثرات سریع‌تری در مقایسه با روش‌های سنتی مانند نوشیدنی‌های کافئین‌دار داشته باشد (۱۲)؛ اما درباره مقدار جذب از طریق غرغره کردن اطلاعات کافی در دست نیست. غرغره کردن با محلول کافئینی بدون اینکه کافئین مصرف و جذب شود، باعث بالا رفتن سطح عملکرد فیزیکی و شناختی می‌شود (۹). مکانیسم‌های دخیل در اثر ارگوژنیک غرغره کردن با کافئین کاملاً شناخته‌شده نیست، اما دو مکانیسم احتمالی پیشنهاد شده است: اولین مکانیسم، اتصال کافئین به گیرنده‌های آدنوزین واقع در حفره دهان است که باعث افزایش آزاد شدن انتقال‌دهنده‌های عصبی و سرعت انقباض عضلات می‌شود (۱۰). این گیرنده‌ها هنگام قرار گرفتن در معرض کافئین فعال می‌شوند و هوشیاری ذهنی را از طریق فعال‌سازی نوروهای حسی موجود در دهان بهبود می‌بخشند (۱۱)؛ مکانیسم

1. Fat oxidation
2. Endoplasmic reticulum
3. Sarcoplasm
4. Adrenaline
5. Noradrenaline

دوم این اثر، فعال شدن گیرنده‌های طعم تلخ در دهان است که به طور مستقیم با قسمتی از مغز که مرتبط با پردازش اطلاعات و پاداش است، ارتباط دارد (۱۲). این گیرنده‌ها نیز هنگام قرار گرفتن در معرض کافئین فعال می‌شوند و عملی مشابه با مکانیسم اول دارند (۱۱).

پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که غرغره کردن کافئین می‌تواند جایگزین مصرف یا خوردن کافئین شود تا از اثرات منفی کافئین بکاهد و از اثرات مثبت آن بهره گرفته شود (۱۳). در این راستا، ملو و همکاران نشان دادند، غرغره کردن کافئین در مقایسه با دارونما، زمان رسیدن به خستگی را در دوچرخه‌سواری با شدت متوسط تا ۱۷ درصد افزایش می‌دهد (۱۳). مارینو و همکاران دریافتند که ترکیب غرغره کردن کافئین و مصرف آن در یک آزمایش دوچرخه‌سواری ۱۰ کیلومتری، به اتمام سریع‌تر و توان خروجی بیشتر در مقایسه با فقط غرغره کردن منجر می‌شود (۱۴). فرمانی و همکاران نیز نشان دادند که هم آدامس کافئین‌دار و هم غرغره کردن، زمان رسیدن به خستگی و ظرفیت هوازی را در ورزشکاران به طور چشمگیری بهبود می‌بخشد؛ بدون اینکه تفاوت در خوروتوجهی بین این دو روش وجود داشته باشد (۱۵).

در حالی که کافئین برای افزایش اکسیداسیون چربی شناخته شده است، مطالعات محدود وجود دارد که به طور خاص این اثر را با غرغره کردن اندازه‌گیری کرده باشند؛ با این حال، افزایش استقامت نشان‌دهنده پتانسیل بهبود استفاده از چربی در طول تمرینات طولانی‌مدت است. برخی مطالعات نشان دادند، غرغره کردن با کافئین ممکن است به طور درخور توجهی بر معیارهای عملکرد بی‌هوازی مانند حداکثر توان خروجی تأثیر نگذارد و مزایای آن بیشتر در زمینه‌های هوازی مشهود باشد (۱۶، ۱۳). کرمی و همکاران دریافتند که غرغره کردن مکرر با قهوه در بازیکنان فوتسال، عملکرد استقامتی خاص و عملکرد پرش را بهبود می‌بخشد و دوزهای بالاتر اثرات درخور توجه‌تری را نشان می‌دهد (۱۷). همچنین میریگانه و همکاران با بررسی تأثیر غرغره کردن کافئین بر عملکرد جسمانی مردان کاراته‌کا نشان دادند، محلول غرغره کردن کافئینی حاوی ۲۵ میلی‌لیتر مایع بدون شیرین‌کننده و ۶۰۰ میلی‌گرم کافئین بر میزان چابکی و نیز شاخص خستگی تأثیر معنادار دارد، ولی بر شاخص توان بی‌هوازی و توان هوازی مردان کاراته‌کا تأثیر معنادار ندارد (۱۹، ۱۸)؛ البته شایان ذکر است که شواهد در این زمینه یکسان نیست و نتایج متفاوت ممکن است به علت تفاوت در طراحی مطالعه، غلظت کافئین و پاسخ‌های فردی باشد؛ به همین دلیل، انجام تحقیقات بیشتری برای درک کامل مکانیسم‌ها و کاربردهای بالقوه غرغره کردن کافئین‌دار در محیط‌های مختلف ورزشی نیاز است.

مطالعات مستقیمی درباره تأثیر غرغره کردن کافئینی بر اکسیداسیون چربی و شاخص خستگی وجود ندارد، اما تحقیقات متعدد نشان می‌دهند که کافئین می‌تواند با بهبود متابولیسم چربی و افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب، به کاهش تجمع چربی و بهبود نشانگرهای متابولیکی کمک کند. با توجه به نبود شواهد علمی کافی و ادبیات تحقیق محدود، بررسی دقیق اثرات غرغره کردن محلول کافئینی بر فعالیت‌های ورزشی هنوز به طور کامل صورت نگرفته است؛ بر این اساس، تحقیق حاضر انجام شد تا تأثیر غرغره کردن محلول کافئینی بر اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیژن مصرفی^۱ هنگام فعالیت ورزشی در دختران ورزشکار بررسی شود.

روش پژوهش

شرکت‌کنندگان

در پژوهش حاضر، ۱۴ نفر از دختران جوان ورزشکار رشته تربیت‌بدنی که از طریق اعلام فراخوان در دانشگاه سمنان، داوطلبانه آمادگی خود را برای شرکت در این پژوهش اعلام کردند، رضایت‌نامه همکاری را تکمیل کردند. برای انجام

1. VO2max

مراحل اولیه پژوهش، پرسشنامه اطلاعات فردی و فرم سلامت توزیع و تکمیل شد. آزمودنی‌ها با توجه به نداشتن بیماری (از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و اسکلتی-عضلانی)، داشتن سابقه ورزشی (یعنی داشتن حداقل سه جلسه در هفته تمرین منظم در مدت شش ماه قبل از شروع مطالعه) و داشتن BMI کمتر از ۲۵، از طریق محاسبه وزن فرد (برحسب کیلوگرم) تقسیم بر مربع قد (برحسب متر)، وزن و درصد چربی بدن با استفاده از دستگاه Inbody، بررسی شدند. هنگام اجرای پروتکل دو آزمودنی به علت خطا در اجرای پروتکل حذف شدند.

روش انجام پژوهش

روش انجام تحقیق به صورت متقاطع^۱ و متعادل^۲ تنظیم و اجرا شد. در مرحله اول تحقیق، جلسه توجیهی با هدف آموزش و توضیح روش کار، در روزی به غیر از روز آزمون برگزار شد و آزمودنی‌ها با نحوه کار آشنا شدند. از آن‌ها خواسته شد تا ۲۴ ساعت پیش از آزمون کافئین مصرف نکنند و همچنین در طول دو ماه اخیر نمی‌بایست از داروهای استروئیدی استفاده می‌کردند. معیار خروج آزمودنی‌ها از تحقیق، هرگونه محدودیت بدنی و شناختی (بیماری مزمن، اختلالات جسمی و روانی)، استفاده از مکمل‌های انرژی‌زا و مواد افزایش‌دهنده عملکرد بود. به شرکت‌کنندگان یادآوری شد که چه مواد غذایی و نوشیدنی‌هایی غنی از کافئین است تا از مصرف آن خودداری کنند. سپس آزمودنی‌ها در حالت ۱۲ ساعت ناشتایی در دو روز متفاوت با فاصله یک هفته رأس ساعت ۷:۳۰ صبح در محل آزمایشگاه حضور یافتند. هفت نفر از آزمودنی‌ها کافئین و هفت نفر از آن‌ها دارونما مصرف کردند. یک هفته بعد، مجدد این آزمون برگزار شد و به شرکت‌کنندگانی که هفته گذشته غرغره کردن کافئین دریافت کردند، دارونما داده شد و کسانی که دارونما استفاده کرده بودند، غرغره کردن کافئین دریافت کردند و سپس آزمون‌ها تکرار شد. انتخاب بطری‌های مکمل و دارونما توسط فردی غیر از محقق انجام و ثبت شد و در پایان پژوهش به محقق تحویل داده شد. زمان حضور افراد براساس چرخه قاعدگی در فاز لوتئال و طبق زمان‌بندی مشخص‌شده برای آن‌ها تعیین شد.

مصرف مکمل

مصرف مکمل به روش دوسوکور انجام شد. افرادی که در گروه مکمل بودند، دوز متوسطی از کافئین خالص را به ازای هر کیلوگرم وزن بدن (شش میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در ۲۵ میلی‌لیتر آب)، به صورت ناشتا یک ساعت قبل از تمرین ورزشی به صورت غرغره دریافت کردند. کافئین مصرفی در این پژوهش از نوع کپسول کافئین Enercaff 200 با رعایت کامل نکات بهداشتی و بدون هیچ ماده نگه‌دارنده بود که ساخت آن به تأیید کمیته اخلاق در پژوهش رسید. گروه دارونما نیز ۲۵ میلی‌لیتر آب دریافت کردند. همچنین ۱۰ سی سی عرق نعناع برای آگاهی نداشتن آزمودنی‌ها درباره مصرف محلول‌ها اضافه شد که از لحاظ شکل و رنگ محلول کافئینی و آب مشابه بودند. در هر دو شرایط، به مدت ۲۰ ثانیه محلول‌های خود را غرغره کردند (۱۴). گفتنی است، پیش از شروع مداخله، توصیه‌های لازم برای پرهیز از مصرف مکمل‌های غذایی و داروهایمانند آنتی‌بیوتیک‌ها، استروئیدها و سایر مواد حاوی کافئین، ۲۴ ساعت قبل از شروع پژوهش ارائه شد.

پروتکل تمرینی

پس از پنج دقیقه گرم کردن، دستگاه گاز آنالایزر (شرکت Cortex ساخت آلمان مدل MPU31-105) به آزمودنی‌ها وصل شد و روی نوار گردان رفتند. فعالیت با سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و با شیب یک درصد آغاز شد و سرعت نوار گردان، هر سه دقیقه به میزان یک کیلومتر بر ساعت افزوده می‌شد، تا حدی که به سرعت ۷/۵ کیلومتر بر ساعت برسد.

1. Crossover
2. Counterbalance

در این نقطه، سرعت ثابت ماند و شیب دستگاه هر سه دقیقه به اندازه دو درصد افزوده می‌شد، تا زمانی که نسبت تبادل تنفسی^۱ (RER) برابر با ۱ شود. در نهایت، سرعت و شیب تا رسیدن به سرحد خستگی، به طور همزمان افزوده می‌شد (۲۰). و داده‌های آزمون روی نمایشگر نمایش داده می‌شد. اندازه‌گیری به این صورت بود که دهان‌بند به آزمودنی وصل می‌شد و به روش مدار باز، متغیرها لحظه به لحظه ثبت و روی نمایشگر کامپیوتر نشان داده می‌شد. فشار، دما و رطوبت استاندارد شده با متغیرها توسط دستگاه محاسبه می‌شد. هوا و گاز دستگاه به وسیله کپسول حاوی گازهای استاندارد شده (O₂ ۱۶ درصد و CO₂ ۴ درصد) و توربین دستگاه نیز به وسیله سرنگ سه لیتری کالیبره می‌شد. کالیبراسیون در ابتدای همراه تکرار می‌شد. همچنین دمای اتاق آزمایشگاه توسط گاز آنالایزر اندازه‌گیری می‌شد (میانگین و انحراف استاندارد دمای محیط: ۲۷/۴۶±۱/۱۸ و میانگین و انحراف استاندارد رطوبت محیط: ۴۵/۹۱±۱/۱۷).

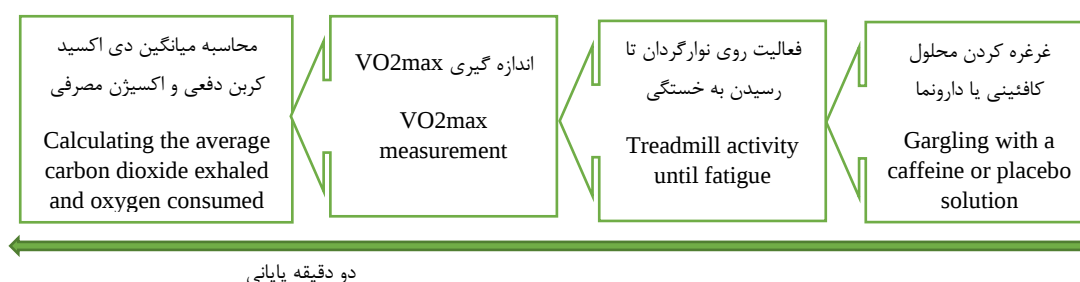
هدف بخش پایانی آزمون، اندازه‌گیری VO_{2max} بود. معیارهای رسیدن به VO_{2max}، رسیدن ضربان قلب معادل با ۱۰ ضربه کمتر یا بیشتر از ضربان قلب بیشینه (محاسبه از طریق سن - ۲۲۰)، افزایش نیافتن اکسیژن مصرفی با وجود افزایش شدت فعالیت و RER بزرگ‌تر از ۱/۰۵ بود (۲۱). میانگین دی اکسیدکربن دفعی (Vco₂) و اکسیژن مصرفی (Vo₂) در دو دقیقه پایانی هر مرحله، محاسبه شد و با استفاده از معادلات عنصرسنجی، با فرض ناچیز بودن نیتروژن ادراری (۲۲، ۲۳)، میزان اکسیداسیون کربوهیدرات و چربی محاسبه شد. سپس شاخص‌های MFO^۲، FAT_{max} و نقطه تقاطع (نقطه‌ای از شدت نسبی فعالیت که در آن سهم نسبی کربوهیدرات از چربی پیشی می‌گیرد) تعیین شد (۲۳).

$$\text{محاسبه میانگین دی اکسید کربن دفعی و اکسیژن مصرفی} = 1/695 \times \text{Vo}_2 - 1/70 \times \text{Vco}_2$$

معادله ۱

$$\text{محاسبه اکسیداسیون کربوهیدرات} = 4/210 \times \text{Vo}_2 - 2/9621 \times \text{Vco}_2$$

معادله ۱



شکل ۱- نمای شماتیک پروتکل تمرین

Figure 1- Schematic view of the exercise protocol

تجزیه و تحلیل آماری

در مطالعه حاضر برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. همچنین برای مقایسه متغیرها آزمون آماری تی همبسته به کار رفت. محاسبات آماری به وسیله نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ در سطح معناداری $P \leq 0.05$ انجام گرفت.

نتایج

اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

1. Respiratory Exchange Ratio
2. Maximal Fat Oxidation

جدول ۱- اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها

Table 1- Characteristics of Subjects

سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	چربی بدن (درصد)	BMI (کیلوگرم بر مترمربع)
Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat (%)	(kg/m ²)
21.42±1.73	163.50±4.74	58.48±7.15	28.97±4.76	21.93±2.89

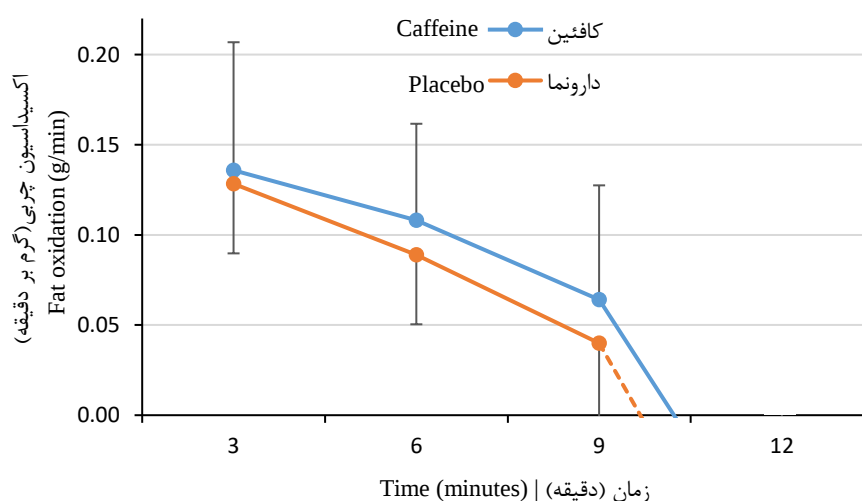
نتایج آزمون تی همبسته نشان می‌دهد، MFO ($P=0/729$)، VO2MAX ($P=0/150$) و FATmax ($P=0/052$) با غرغره کردن محلول کافئینی در مقایسه با دارونما تفاوت معناداری در دو شرایط مشاهده نشد. در مقابل، زمان رسیدن به واماندگی با غرغره کردن محلول کافئینی به طور معناداری بیشتر بود ($P=0/012$).

جدول ۲- میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای پژوهش در شرایط غرغره کردن محلول کافئینی و آب

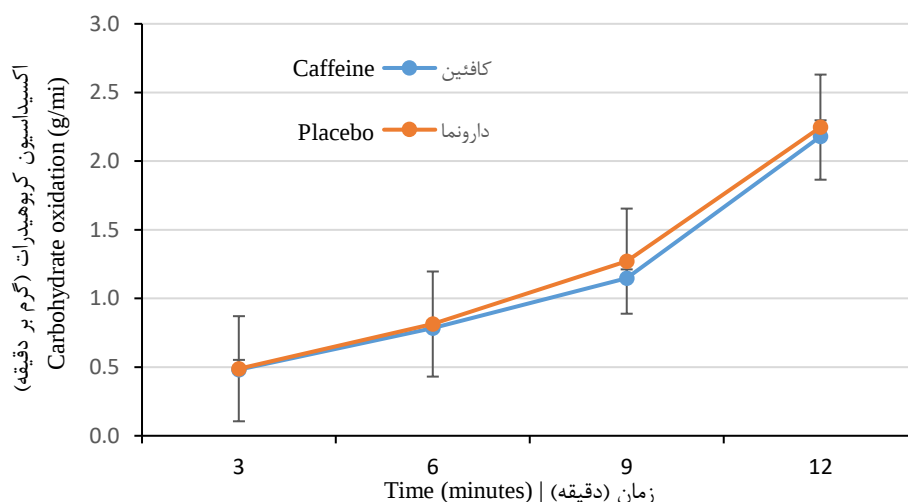
Table 2- Mean and standard deviation of research variables in the conditions of gargling caffeine solution and water

متغیر	دارونما	کافئین	تی	معناداری
Variable	Placebo	Caffeine	T-test	P-value
MFO حداکثر اکسیداسیون چربی (گرم در دقیقه) Maximal Fat Oxidation (grams per minute)	0.24±0.07	0.25±0.09	-0.355	0.729
حداکثر اکسیداسیون چربی FATmax (%VO2max)	37.54±8.79	32.88±6.57	2.17	0.052
حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه) VO2max (ml/kg/min)	40.16±6.82	42.08±7.15	-1.54	0.150
زمان رسیدن به واماندگی (دقیقه) Time to exhaustion (min)	19.89±4.41	20.82±4.26	-3.00	0.012

با توجه به شکل‌های (۲) و (۳)، میانگین دو دقیقه آخر در هر مرحله گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد، تغییرات اکسیداسیون چربی در گروه کافئینی در مقایسه با گروه کنترل بیشتر بود، اما این تفاوت از نظر آماری معنادار نبود ($P>0/05$).



شکل ۲- نمودار اکسیداسیون چربی | Figure 2- Fat oxidation diagram



شکل ۳- نمودار اکسیداسیون کربوهیدرات | Figure 3- Carbohydrate oxidation diagram

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر در راستای بررسی تأثیر غرغره کردن محلول کافئینی بر اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیژن مصرفی هنگام فعالیت ورزشی در دختران جوان ورزشکار، بیانگر تغییر معنادار نداشتن غرغره کردن محلول کافئینی بر MFO و VO_{2MAX} و FAT_{max} است؛ در حالی که زمان رسیدن به واماندگی افزایش معناداری را نشان داد. مشاهده نشدن تغییر معنادار MFO و VO_{2MAX} و FAT_{max} با یافته‌های مطالعات مصرف خوراکی کافئین (۲۴-۲۶) در تضاد نسبی قرار می‌گیرد. این ناهمخوانی احتمالاً ناشی از تفاوت در مسیرهای جذب و غلظت پلاسمایی کافئین در روش غرغره کردن نسبت به اشکال خوراکی است. مطالعات نشان می‌دهند، فعال‌سازی گیرنده‌های β_3 آدرنژیک در بافت چربی که نقش کلیدی در لیپولیز ایفا می‌کنند، نیازمند غلظت پلاسمایی حداقل چهار تا پنج میکرومول/لیتر کافئین است (۱۶). در پروتکل غرغره کردن، جذب مخاطی تنها ۳۰ تا ۳۵ درصد از دوز مصرفی را وارد گردش سیستمیک می‌کند که ممکن است برای رسیدن به آستانه تحریک لیپولیز کافی نباشد (۲۷). نزدیکی به آستانه معناداری در FAT_{max} ممکن است با فعال‌سازی گیرنده‌های در سلول‌های چشایی مرتبط باشد که از طریق مسیر واگ-هیپوتالاموس موجب افزایش ترشح نوراپی نفرین می‌شود (۱۲). مطالعات نشان می‌دهند، تحریک این گیرنده‌ها می‌تواند اکسیداسیون چربی را تا ۱۸ درصد در شرایط ناشتا افزایش دهد، اما اثرات آن وابسته به هم‌زمانی با فعالیت سمپاتیک ناشی از ورزش است (۲۷). ناهم‌زمانی بین اوج غلظت پلاسمایی کافئین و زمان رسیدن به FAT_{max} ممکن است بخشی از نبود معناداری آماری را توضیح دهد. یکی دیگر از فرضیه‌ها ممکن است در شرایط ناشتای پژوهش حاضر، کاهش ۳۵ تا ۴۰ درصدی ذخایر گلیکوژن ممکن است اولویت متابولیک را به سمت اکسیداسیون چربی سوق داده باشد، اما محدودیت در دسترسی به IMTG^۱ (نیاز به فعال‌سازی HSL^2 توسط کاتکول‌آمین‌ها) احتمالاً اثرات کافئین را خنثی کرده است (۲۸). از سوی دیگر، نتایج با پژوهش‌های ملو و همکاران (۱۳)، مارینو و همکاران (۱۴) و فرمانی همکاران (۱۵) همسوست.

1. Intramuscular Triacylglycerol
2. Hormone Sensitive Lipase

از سوی دیگر، افزایش معنادار در زمان رسیدن به واماندگی، احتمالاً از طریق مهار گیرنده‌های آدنوزین و کاهش درک خستگی مرکزی توجیه‌شدنی است. این مکانیسم مستقل از مسیرهای متابولیک محیطی، توضیح‌دهنده تفکیک اثرات استقامتی از تغییرات اکسیداسیون چربی است. نتایج مطالعه حاضر با نتایج پژوهش ملو و همکاران همسوست. آن‌ها به بررسی تأثیر غرغره کردن حاوی کافئین بر عملکرد ورزشکاران در ورزش‌های استقامتی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از غرغره کردن کافئینی به افزایش تحمل خستگی در بین ورزشکاران کمک می‌کند. همچنین نتایج مطالعه حاضر با مطالعات مارینو و همکاران (۱۴)، فرمانی و همکاران (۱۵) و همتیان فر و همکاران (۱۷) همسوست.

در پژوهش حاضر، افزایش معنادار زمان رسیدن به واماندگی با مکانیسم‌های احتمالی عصبی-عضلانی توجیه‌شدنی است. ممکن است تحریک گیرنده‌های چشایی توسط کافئین موجب افزایش فعالیت نورون‌های حرکتی نخاعی و بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی می‌شود. این فرضیه با مطالعات تصویربرداری MRI که افزایش فعالیت قشر حسی حرکتی پس از غرغره کردن محلول کافئینی را نشان می‌دهند، تقویت می‌شود. همچنین مهار موضعی گیرنده‌های آدنوزین در مخاط دهان ممکن است پیام‌های خستگی مرکزی را بدون تداخل با متابولیسم محیطی تعدیل کند (۱۷)؛ بنابراین ممکن است نشان‌دهنده پتانسیل استفاده از غرغره کردن محلول کافئینی به عنوان مداخله ارگوژنیک در مسابقات استقامتی کوتاه‌مدت (۱۵ تا ۲۰ دقیقه) باشد؛ با این حال، ناکارایی در بهبود MFO پیشنهاد می‌کند که در ورزش‌های با شدت زیربیشینه و مدت طولانی‌تر (> ۶۰ دقیقه)، شکل‌های خوراکی کافئین ارجحیت دارند (۲۸). ترکیب غرغره کردن محلول کافئینی با مقادیر کم کافئین خوراکی می‌تواند اثرات تقویتی داشته باشد، بدون اینکه عوارض ناخواسته ناشی از دوزهای بالاتر را ایجاد کند.

نتیجه‌گیری

غرغره کردن کافئینی در ورزشکاران زن نتوانست اکسیداسیون چربی یا VO_{2MAX} را به طور معنادار تغییر دهد، اما زمان رسیدن به واماندگی را افزایش داد. این یافته‌ها نشان‌دهنده پتانسیل احتمالی این روش در بهبود استقامت کوتاه‌مدت و کارایی عصبی-عضلانی است، اما برای دستیابی به اثرات متابولیک بیشتر، بهینه‌سازی دوز و زمان‌بندی مصرف ضروری است. درنهایت، این استراتژی ممکن است به عنوان مداخله‌ای مکمل در برنامه‌های تمرینی ورزشکاران به کار رود. به طور کلی، استفاده از محلول غرغره کردن کافئینی می‌تواند برای ورزشکارانی که در شرایط خاص قرار دارند، مانند تمرین در شرایط روزه‌داری یا ناشتا، نبود امکان مصرف خوراکی کافئین و زمان محدود برای مصرف کافئین، گزینه مناسب و مؤثری باشد.

پیام مقاله

مطالعه حاضر نشان می‌دهد، غرغره محلول کافئینی در دختران ورزشکار باعث افزایش معنادار زمان رسیدن به واماندگی، بدون تغییر چمشگیر در شاخص‌های متابولیکی اکسیداسیون چربی (FAT_{MAX} ، MFO) می‌شود. این یافته‌ها نشان می‌دهد، احتمالاً اثرات بهبود عملکرد ناشی از مکانیسم‌های عصبی مرکزی و مهار گیرنده‌های آدنوزین بوده و مستقل از تغییرات متابولیکی محیطی است. تفاوت در مسیر جذب و غلظت پلاسمایی کافئین غرغره کردن نسبت به مصرف خوراکی از عوامل مهم در تبیین نتایج است.

ملاحظات اخلاقی

این تحقیق با شناسه IR.SEMUMS.REC.1403.025 در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی سمنان تأیید شد.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، اجرا، تحلیل یافته‌ها و نگارش مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله هیچ نفع متقابلی از انتشار آن ندارند.

تشکر و قدردانی

منابع مالی این تحقیق توسط نویسندگان تأمین شده است. از تمام کسانی که در اجرای این پژوهش مشارکت و همکاری کردند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

1. Chávez-Guevara IA, Amaro-Gahete FJ, Ramos-Jiménez A, Brun JF. Toward exercise guidelines for optimizing fat oxidation during exercise in obesity: a systematic review and meta-regression. *Sport Med.* 2023;53(12):2399–416. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01897>
2. Hofstaetter F, Rausch L, Niedermeier M, Kopp M, Lawley J. Effects of 8-weeks of daily time restricted feeding and aerobic exercise on fat oxidation—A randomized controlled trial. *Curr Issues Sport Sci.* 2024;9(4):5. <https://doi.org/10.36950/2024.4ciss005>
3. Muscella A, Stefàno E, Lunetti P, Capobianco L, Marsigliante S. The regulation of fat metabolism during aerobic exercise. *Biomolecules.* 2020;10(12):1699. <https://doi.org/10.3390/biom10121699>
4. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol Metab.* 1993;265(3):E380–91. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380>
5. Van Loon LJC. The effects of exercise and nutrition on muscle fuel selection. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Datawyse/Universitaire Pers Maastricht; 2001. <https://doi.org/10.26481/dis.200104201>
6. Jeukendrup AE, Wallis GA. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med.* 2005;26(S1):S28–37. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830512>
7. Kurobe K, Nakao S, Nishiwaki M, Matsumoto N. Combined effect of coffee ingestion and repeated bouts of low-intensity exercise on fat oxidation. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2017;37(2):148–54. <https://doi.org/10.1111/cpf.12279>
8. Naderi L, Sharifi GH. Comparison of the effect of 8 weeks concurrent training and green coffee supplementation on serum adipon and insulin resistance in obese women. *Armaghane Danesh.* 2017;22(5):623–36. [In Persian]. Available at: <https://armaghanej.yums.ac.ir/article-1-1721-en.html>
9. Grgic J, Mikulic P. Acute effects of caffeine supplementation on resistance exercise, jumping, and Wingate performance: no influence of habitual caffeine intake. *Eur J Sport Sci.* 2021;21(8):1165–75. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1817155>
10. Heckman MA, Weil J, De Mejia EG. Caffeine (1, 3, 7-trimethylxanthine) in foods: a comprehensive review on consumption, functionality, safety, and regulatory matters. *J Food Sci.* 2010; 75(3):R77–87. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01561.x>
11. Clarkson PM. Nutrition for improved sports performance: current issues on ergogenic aids. *Sport Med.* 1996;21:393–401 <https://doi.org/10.2165/00007256-199621060-00001>
12. da Silva WF, Lopes-Silva JP, Camati Felipe LJ, Ferreira GA, Lima-Silva AE, Silva-Cavalcante MD. Is caffeine mouth rinsing an effective strategy to improve physical and cognitive performance? A systematic review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2023;63(3):438–46. <https://doi.org/10.2165/00007256-199621060-00001>

13. de Albuquerque Melo A, Bastos-Silva VJ, Moura FA, Bini RR, Lima-Silva AE, De Araujo GG. Caffeine mouth rinse enhances performance, fatigue tolerance and reduces muscle activity during moderate-intensity cycling. *Biol Sport*. 2021;38(4):517–23. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.100147>
14. Marinho AH, da Silva JM, Brandão VF do N, Jatobá SG, Júnior PB, Ataíde-Silva T, et al. Caffeine mouth rinse plus ingestion improves the 10-km time trial compared to caffeine mouth rinse alone. *Res Q Exerc Sport*. 2024;95(3):617–24. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.100147>
15. Farmani A, Hemmatinafar M, Koushkie Jahromi M, Pirmohammadi S, Imanian B, Jahan Z. The effect of repeated coffee mouth rinsing and caffeinated gum consumption on aerobic capacity and explosive power of table tennis players: a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study. *J Int Soc Sports Nutr*. 2024;21(1):2340556. <https://doi.org/10.1080/15502783.2024.2340556> [In Persian].
16. Ehlert AM, Twiddy HM, Wilson PB. The effects of caffeine mouth rinsing on exercise performance: A systematic review. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2020;30(5):362–73. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2020-0083>
17. Taheri Karami G, Hemmatinafar M, Koushkie Jahromi M, Nemati J, Niknam A. Repeated mouth rinsing of coffee improves the specific-endurance performance and jump performance of young male futsal players. *J Int Soc Sports Nutr*. 2023;20(1):2214108. <https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2214108> [In Persian].
18. Telyari M, Ebrahimi M. The effect of caffeine mouth rinsing on agility, jump height and service and spike accuracy in male volleyball players. *Res Exerc Nutr*. 2022;1(3):1–9. <https://doi.org/10.22034/ren.2023.139961.1021> [In Persian].
19. Miryeganeh, Ebrahim. The effect of Caffeine Mouth Rinsing on physical performance in male karateka. *J Sport Exerc Physiol*. 2025;18(1):76-86. <https://doi.org/10.48308/joeppa.2024.237256.1305> [In Persian].
20. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(1):92–7. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00015>
21. Achten J, Jeukendrup AE. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int J Sports Med*. 2003;24(08):603–8. <https://doi.org/10.1055/s-2003-43265>
22. Stookey JD, Hamer J, Espinoza G, Higa A, Ng V, Tinajero-Deck L, et al. Orange juice limits postprandial fat oxidation after breakfast in normal-weight adolescents and adults. *Adv Nutr*. 2012;3(4):629S-635S. <https://doi.org/10.3945/an.112.001990>
23. Ahmadi Hekmatikar AH, Ebrahimi M. Substrate Oxidation Changes During Exercise After White Tea Consumption in Obese Men. *Sport Physiol*. 2019;11(43):141–50. <https://doi.org/10.22089/spj.2019.7601.1933> [In Persian].
24. Burke LM. Caffeine and sports performance. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33(6):1319–34. <https://doi.org/10.1139/H08-130>
25. Collado-Mateo D, Lavín-Pérez AM, Merellano-Navarro E, Coso J Del. Effect of acute caffeine intake on the fat oxidation rate during exercise: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2020;12(12):3603. <https://doi.org/10.3390/nu12123603>
26. Damirchi A, Rahmani-nia F, Mirzaei B, Hasan-Nia S, Ebrahimi M. Effect of caffeine on blood pressure during exercise and at rest in overweight men. *Iran J Endocrinol Metab*. 2009;10:623–8. [In Persian]. Available at: <https://www.sid.ir/paper/27236/en>
27. Karayigit R, Koz M, Sánchez-Gómez A, Naderi A, Yildirim UC, Domínguez R, et al. High dose of caffeine mouth rinse increases resistance training performance in men. *Nutrients*. 2021;13(11):3800. <https://doi.org/10.3390/nu13113800>

28. Conger SA, Tuthill LM, Millard-Stafford ML. Does caffeine increase fat metabolism? A systematic review and meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2022;33(2):112–20. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2022-0131>