Journal of Arak University of Medical Sciences
Volume 26, Issue 6
February & March 2024

Research Article

Investigating the Effect of the Post-activation Potentiation Method and Caffeine Supplementation on Performance and Peripheral Fatigue Factors of Wikstrom Fatigue Protocol in Male Volleyball Players

Hamid Rajabi [1,*], Marjan Sheidaee [1], Neda Khaledi [1]

[1] Department of Sport Physiology, School of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

*** Corresponding author:** Hamid Rajabi, Department of Sport Physiology, School of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: hrajabi@khu.ac.ir

DOI: 10.61186/jams.26.6.25

How to Cite this Article:
Rajabi H, Sheidaee Sh, Khaledi N. Investigating the Effect of the Post-activation Potentiation Method and Caffeine Supplementation on Performance and Peripheral Fatigue Factors of Wikstrom Fatigue Protocol in Male Volleyball Players. *J Arak Uni Med Sci.* 2024;**26**(6):25-33. DOI: 10.61186/jams.26.6.25

Received: 13 Jun 2023
Accepted: 15 Apr 2024
Keywords:
Conditioning Contraction
Post-activation Potentiation
Caffeine
Volleyball
Fatigue
Wikstrom Fatigue Protocol
© 2024 Arak University of Medical Sciences

Abstract

Introduction: Athletes use diverse strategies, including caffeine supplementation, to reduce fatigue and improve their performance. The aim of the present study was to evaluate the effect of the post-activation potentiation method and caffeine supplementation on peripheral fatigue after Wikstrom's fatigue protocol in young male volleyball players.

Methods: In this study, forty male volleyball players with an average age of 27.33 ± 1.78 years and an average weight of 76.5 ± 7.45 kg participated. They were divided into four experimental groups: a group that used only the PAP method (n=10), a group that consumed only caffeine (n=10), a group that both performed PAP and consumed caffeine (n=10), and a control group (n=10). For the groups receiving caffeine, a caffeine supplement was administered at a dose of 6 mg per kilogram of body weight, 15 minutes before starting the protocol. PAP exercises were performed at an intensity of 70% of the one-repetition maximum. Blood samples were taken one hour before and one hour after completing the Wikstrom six-station protocol. All subjects participated in this study voluntarily and they had no illness or injury at the start of the research.

Results: The results of the present study showed that the implementation of PAP along with caffeine showed a significant increase in the variables of time to exhaustion and the number of rounds ($p<0.05$), while the rate of ammonia showed a significant decrease ($p<0.05$). In contrast, uric acid showed no significant difference ($p>0.05$).

Conclusions: The results of the present study, showed that the use of caffeine reduces peripheral fatigue. Also, since the use of PAP did not have an adverse effect on the participant's performance, athletes can use this method concurrently with caffeine to improve their performance in endurance activities.

Copyright © *2024 The Author(s); Published by Journal of Arak University of Medical Sciences. This is an open access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses /by-nc/4.0/) which permits others to copy and redistribute material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.*

مجله دانشگاه علوم پزشکی اراک
دوره ۲۶، شماره ۶، بهمن و اسفند ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر روش نیرومند سازی پس فعالی و مکمل گیری کافئین بر عملکرد ورزشی و عوامل خستگی محیطی ناشی از پروتکل خستگی ویکستروم در مردان والیبالیست

حمید رجبی [۱،*]، مرجان شیدایی [۱]، ندا خالدی [۱]

[۱] گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
* نویسنده مسئول: حمید رجبی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ایمیل: hrajabi@khu.ac.ir

DOI: 10.61186/jams.26.6.25

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲
واژگان کلیدی:
انقباض آماده ساز
نیرو مند سازی پس فعالی
کافئین
والیبال
آمونیاک
خستگی
پروتکل خستگی ویکستروم

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی اراک محفوظ است.

چکیده

مقدمه: ورزشکاران از راهکارهای مختلفی از جمله مکمل گیری کافئین برای کاهش خستگی و بهبود عملکرد خود استفاده می‌کنند. هدف از پژوهش حاضر تعیین اثر روش نیرومندسازی پس فعالی (PAP) و مصرف مکمل کافئین بر میزان خستگی محیطی و عملکرد ورزشکاران پس از پروتکل خستگی ویکستروم در مردان جوان والیبالیست بود.

روش کار: تعداد ۴۰ نفر به آزمودنی با میانگین سنی ۱/۷۸±۲۷/۳۳ و وزن: ۷/۴۵±۷۶/۵ با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس و داوطلبانه در این پژوهش مشارکت نمودند. آزمودنی‌ها در سه گروه روش PAP (۱۰ نفر)، گروه فقط مصرف کافئین (۱۰ نفر)، گروه روش PAP + مصرف کافئین (۱۰ نفر)) و یک گروه کنترل (۱۰ نفر) قرار گرفتند. در گروهای کافئین، مکمل کافئین به میزان ۶ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن ۱۵ دقیقه قبل از پروتکل داده شد. همچنین آزمودنی‌ها PAP را با ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه اجرا کردند. از آزمودنی‌ها در دو نوبت یک ساعت قبل و یک ساعت بعد از اعمال پروتکل پروتکل ۶ ایستگاهی ویکستروم نمونه خون گرفته شد. همه آزمودنی‌ها به صورت داوطلبانه در این تحقیق شرکت کردند و هیچ یک از آنها دارای بیماری یا آسیب دیدگی نبودند.

یافته‌ها: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اجرای PAP به همراه کافئین سب افزایش معنادار در متغیرهای زمان رسیدن به واماندگی، تعداد دورها شد ($p<0.05$)، در حالی که میزان آمونیاک کاهش معنادار نشان دادند ($p<0.05$)، در مقابل اسید اوریک تفاوت معنادار نشان نداد ($p>0.05$).

نتیجه گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از کافئین سبب کاهش خستگی محیطی می‌شود. همچنین از آنجایی که استفاده از PAP اثر نامطلوبی بر عملکرد آزمودنی‌ها نداشت، ورزشکاران می‌توانند از این روش همراه با کافئین جهت بهبود عملکرد خود در فعالیت‌های استقامتی استفاده کنند.

مقدمه

والیبال ورزش تیمی است که در تمام سطوح مختلف مانند المپیک، جوانان و حرفه‌ای برگزار می‌شود. این ورزش بیشتر بر حرکات انفجاری همچون پرش، دفاع و اسپک تاکید دارد. از آنجایی که این رشته ورزشی بیشتر بر متابولیسم بی هوازی متکی است، خستگی جز جدایی ناپذیر این رشته ورزشی محسوب می‌شود(۱).به هر حال،خستگی واژه‌ای کلی است که به معنای عدم توانایی حفظ برون‌ده نیروی مورد نیاز در حین یک فعالیت و یا اختلال در توانایی کارهای بدنی اطلاق می‌شود(۲)، این پدیده به صورت کاهش توان انقباض‌پذیری یا تحریک‌پذیری عضله و یا کاهش توان فعال‌سازی ارادی به واسطه عوامل نخاعی و فوق نخاعی است(۳). خستگی عمدتاً به خستگی مرکزی(مغز و ذهن)، محیطی(عضله) و خستگی عفونی تقسیم می‌شود(۴).

خستگی محیطی به دلیل محرک‌های ناشی از یک فعالیت طولانی مدت که عملکرد جسمانی را کاهش می‌دهد، ایجاد می‌شود و به طور خاص به خستگی در عضلات فعال اشاره دارد(۵). عوامل مؤثر بر خستگی محیطی عبارت از: اختلال در تأمین انرژی توسط دستگاه‌های انرژی (فسفاژن، گلیکولیز، اکسیداسیون هوازی)، کم‌آبی و به هم خوردن الکترولیت‌ها، تجمع فرآورده‌های جانبی سوخت و ساز و اختلال در سازوکار انقباضی تار عضلانی می‌باشد(۶-۹). حذف سریع مواد مرتبط با خستگی از جریان خون بسیار مهم است، زیرا کاهش عملکرد ورزشی را به تأخیر می‌اندازد. آمونیاک و اسید اوریک به عنوان شاخص‌هایی برای سنجش خستگی محیطی به کار گرفته شده‌اند(۵).در خلال انقباض عضلانی اسید اوریک عمدتاً از طریق باز تولید Adenosine triphosphate ATP از پورین نوکلئوتید یا گزانتین ساخته می‌شود. فعالیت ورزشی از طریق افزایش کاتابولیسم پورین نوکلوتید سبب افزایش آن می‌شود (۱۰). مطالعات قبلی نیز گزارش کرده‌اند که در طی فعالیت‌های شدید، اسیدی شدن عضلانی منجر به آزاد شدن آمونیاک می‌شود(۵).

از آنجایی که ورزشکاران تقریباً هر روز فعالیت دارند، برای افزایش عملکرد جلسه بعدی نیاز به ریکاوری مناسب دارند. کافئین مکملی است که بدین منظور مورد توجه ورزشکاران قرار می‌گیرد(۱۰, ۱۱). از

Copyright © 2024 The Author(s); Published by Journal of Arak University of Medical Sciences. This is an open access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses /by-nc/4.0/) which permits others to copy and redistribute material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

سال ۲۰۰۴ که این ماده از لیست سازمان ضد دوپینگ جهانی خارج شد، مصرف آن افزایش پیدا کرد. کافئین به عنوان آنتاگونیست گیرنده آدنوزین بر روی سیستم عصبی مرکزی عمل می‌کند.همچنین کافئین تحریک پذیری نورون‌ها را حفظ کرده و خستگی مرکزی را خنثی می کند. کافئین همچنین می‌تواند درک درد را در خلال فعالیت کاهش دهد(۱۱). کافئین همچنین سبب افزایش رهایش کلسیم و دریافت آن، و افزایش فعالیت پمپ کلسیمی پتاسیمی می‌شود. در مجموع، نقش مکمل کافئین بر به تأخیر افتادن خستگی ناشی از اثر این ماده بر سیستم عصبی مرکزی و محیطی است(۱۲). کاردو سو همکاران(۲۰۲۰) در پژوهش خود بیان کردند که کافئین خستگی عصبی و عضلانی را کاهش می‌دهد(۱۳). این کاهش خستگی از طریق تعدیل سیستم عصبی مرکزی در پژوهش پریرا و همکاران(۲۰۱۶)نیز نشان داده شده بود (۱۰).

تأخیر در خستگی و یا کاهش اندازه آن در رشته‌های ورزشی با مدت زمان اجرای طولانی مانند والیبال به ویژه در دقایق پایانی مسابقه اثر قابل توجهی بر عملکرد جسمانی و مهارتی فرد، دارد. از طرفی نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن است که سرعت، قدرت و توان، عوامل تعیین کننده عملکرد ورزشی در تمرین و مسابقه، می‌توانند توسط گرم کردن مناسب افزایش یابند(۱۴, ۱۵) و خستگی را کاهش دهند. پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که اجرای انقباض‌های ارادی بیشینه و زیربیشینه در گرم کردن باعث بهبود موقت توان عضلانی و عملکرد در انقباضات بعدی می‌شوند که به آن توانمندسازی پس‌فعالی (Post activation potentiation PAP)می‌گویند. PAP به عنوان یک پدیده تسهیل کننده عصبی-عضلانی بعد از اجرای فعالیت با شدت بالا تعریف شده است(۱۶). محققان بر این باورند که PAP می‌تواند نقش جبرانی در اختلال جفت شدن تحریک–انقباض که در خلال خستگی رخ می دهد، ایفا کند و با افزایش میزان توسعه نیرو، عملکرد را در فعالیت‌هایی مانند پریدن، ضربه زدن و پرتاب‌ها افزایش دهد(۱۷). به این دلیل است که برخی مطالعات بیان داشتند که خستگی غالب می‌شود، اگر PAP وجود نداشته باشد(۱۸). PAP به افزایش در نیروی تولیدی، سرعت توسعه نیرو و بهبود عملکرد که ناشی از انقباض قبلی است اطلاق می‌گردد(۱۹). مکانیسم‌های مختلفی برای توجیه پدیده نیرومند سازی بیان شده است که مهمترین دلیل برای این پدیده از دیدگاه عضلانی، فسفوریلاسیون زنجیره سبک میوزینی(MLC Myosin-light-chain) و افزایش حساسیت کلسیمی است(۲۰). از دیدگاه عصبی می‌توان فراخوانی واحدهای حرکتی از طریق افزایش قدرت سیناپسی و نورون‌های با فراخوانی بالاتر افزایش داد(۱۵, ۱۸, ۲۱). استفاده از یک انقباض آماده ساز همانند گرم کردن قبل یک مسابقه می‌تواند سبب آمادگی کل واحدهای حرکتی شود. از آنجایی که این امر بی شباهت به گرم کردن نیست، و اثرات گرم کردن بر به تاخیرافتادن خستگی مشخص شده است به نظر می‌رسد بتواند همانند گرم کردن مؤثر باشد. گاردیو و همکاران(۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی اثر PAP بر خستگی تکواندوکاران پرداختند(۲۰). نتایج این پژوهش نشان داد که PAP اثر معناداری بر میزان خستگی تکواندوکاران نداشت. با این وجود این نوع فعالیت اثر مخربی بر عملکرد تکواندوکاران بر جای نگذاشت، در مقابل در مطالعه دیگری اندرز و همکاران(۲۰۱۶) در پژوهش خود نشان دادند که نیرومند سازی پس فعالی می‌تواند بر خستگی غلبه کند(۲۲).

به نظر می‌رسد همراهی مکمل کافئین با روش PAP بتواند در یک پروتکل خستگی پذیر بتواند خستگی محیطی را به تعویق بیاندازد و اثرات PAP بر عملکرد بیشتر نمود پیدا بکند. از آنجایی که تاکنون پژوهشی در این زمینه صورت نگرفته است، پژوهش حاضر طراحی گردید که به این سؤال پاسخ دهد که آیا ترکیب مکمل کافئین و PAP می‌تواند خستگی محیطی ناشی از پروتکل خستگی را کاهش و سبب بهبود عملکرد ورزشی شود؟

روش کار

آزمودنی‌های پژوهش

روش پژوهش حاضر از نوع کاربردی با روش نیمه تجربی، با طرح پیش‌آزمون- پس‌آزمون، با سه گروه آزمایش (گروه روش PAP، گروه فقط مصرف کافئین، گروه روش PAP و مصرف کافئین) و یک گروه کنترل بود. آزمودنی‌های این پژوهش ۴۰ نفر از بازیکنان حاضر در لیگ والیبال بودند که به صورت نمونه‌گیری در دسترس و به طور داوطلبانه در این پژوهش مشارکت نمودند. معیارهای ورود به مطالعه عدم مصرف مکمل، ویتامین‌ها، مواد مخدر، عدم داشتن آسیب و بیماری خاص به همراه سوابق تمرینی حرفه‌ای، حداقل ۳ روز در هفته به مدت ۴ سال و بازی در لیگ استان تهران یا کشور بود. کلیه مراحل و روش کار برای آزمودنی‌ها توضیح داده شد و سپس فرم سلامت پزشکی و رضایت نامه شرکت در تحقیق گرفته شد و مشخصات کلی بازیکنان از جمله سن، قد، وزن و شاخص توده بدن (مقدار وزن بر مجذور قد به متر) ثبت شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات آزمودنی‌های پژوهش

گروه	سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتی متر)	شاخص توده بدنی(Kg/m^2)
کنترل	۲۸/۵±۱/۶۵	۷۳/۰۱±۷/۱۵	۱۸۵/۰±۴/۷۹	۲۱/۴۴±۳/۲۱
PAP	۲۶/۳±۱/۸۰	۷۵/۷۳±۱۱/۲۴	۱۸۶/۴±۵/۵۷	۲۱/۷۴±۲/۶۲
کافئین	۲۸/۲۲±۱/۷۱	۸۱/۴۴±۸/۰۵	۱۸۷/۵±۳/۳۵	۲۳/۲۳±۲/۹۹
کافئین + PAP	۲۶/۳±۲/۰۰	۷۵/۹۲±۳/۶۰	۱۸۵/۴±۲/۵۰	۲۲/۱۱±۱/۴۴

چگونگی اجرای پژوهش

در ابتدا، از باشگاه‌های تهرانی حاضر در لیگ تکواندو استان تهران دعوت گردید تا در پژوهش شرکت کنند. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار G*Power (دوسلدورف، آلمان) برآورد شد. برای سنجش اندازه نمونه از برنامه G-Power ورژن ۳,۱ ر اساس اندازه اثر ۰/۲۵، سطح آلفا کمتر از ۰/۰۵ و توان آماری ۳۰ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد که برای هر گروه ۸ نفر لازم بود که در تحقیق حاضر ۲۰ درصد بالاتر گرفته

شد (۱۰ نفر برای هر گروه). تمامی آزمودنی‌های پژوهش (نفر ۴۰) تا پایان این پژوهش ما را یاری نمودند. بعد از یک جلسه هماهنگی و توجیه آزمودنی‌ها، و اخذ رضایت‌نامه کتبی از آنان طی یک جلسه دیگر قد و وزن و ترکیب بدن و یک تکرار بیشینه (1RM) حرکت اسکوات آزمودنی‌ها جهت اجرای PAP محاسبه شد و بر اساس اطلاعات اولیه آزمودنی‌ها بطور تصادفی در سه گروه آزمایش (گروه روش PAP، گروه فقط مصرف کافئین، گروه روش PAP و مصرف کافئین) و یک گروه کنترل جای داده شدند. مکمل کافئین به میزان ۶ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن ۱۵ دقیقه قبل از پروتکل به گروه‌های مکمل کافئین داده شد(۱۰). در گروهایی که PAP را اجرا نمودند، PAP را با ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه اجرا کردند. به آزمودنی‌ها نحوه انجام آزمون دقیق شرح داده شد و نکات لازم در خصوص نحوه تغذیه و فعالیت بدنی در ۴۸ ساعت قبل از نمونه‌گیری و اعمال مداخله گوشزد شد و با هماهنگی آزمودنی‌ها یک روز برای نمونه‌گیری و اعمال پروتکل تعیین شد. از آزمودنی‌ها در دو نوبت؛ یک ساعت قبل و یک ساعت بعد از اعمال پروتکل نمونه خونی گرفته شد(۲۳)، نمونه‌های خون برای تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در آزمایشگاه میزان اسید اوریک و آمونیاک قبل و بعد از اعمال پروتکل (پروتکل ۶ ایستگاهی ویکستروم و همکاران، ۲۰۰۴) اندازه‌گیری و مورد مقایسه قرار گرفت(۲۴).

این نوع پروتکل‌های خستگی نسبت به دیگر پروتکل‌ها شباهت بیشتری به فعالیت‌های ورزشی (والیبال) و مسابقه دارند، بنابراین قابلیت تعمیم‌پذیری آنها به خستگی ناشی از تمرینات ورزشی و مسابقه بیشتر است(۲۵).

این ۶ ایستگاه شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. تمرین چابکی میسوری: این تمرین شامل مجموعه‌ای از حرکات دو سرعت روبه جلو، دویدن قطری به سمت عقب و حرکت کردن به صورت عرضی (پا بوکسی) است که با تکرار در زمینی به ابعاد ۳/۵ در ۳/۵ انجام شد؛

۲. پرش‌های پلایومتریک از روی جعبه: شامل مجموعه‌ای از انقباضات سریع و قدرتمند در عضلات اندام تحتانی است که جهت پرش، فرود، پایداری و پرش مجدد روی جعبه‌های ۳۱، ۴۶ و ۶۱ سانتیمتری که در فاصله ۶۱ سانتیمتری از هم قرار گرفته‌اند انجام شد؛

۳. جهش‌های جانبی: شامل ۳۰ پرش جانبی است که به طور متناوب به طرف راست و چپ انجام شده و فاصله‌ای به اندازه ۶۰ سانتیمتر را پوشش داد؛

۴. پرش مینی‌ترامپ: مجموعه‌ای از ۳۰ پرش کوتاه روی ترامپلین و سپس روی زمین است که شامل حرکات عمودی و افقی می‌شود؛

۵. قوس هم‌انقباضی: مجموعه‌ای از ۱۰ حرکت روی قوس ۱۸۰ درجه است که با اعمال مقاومت از سوی طناب الاستیک انجام می‌شود. جهت ثابت نگه داشتن شعاع قوس از افراد خواسته شد تا کشیدگی طناب را حفظ کند؛

۶. لی لی متوالی با دو پا :در این ایستگاه از علامت‌هایی استفاده شد که به صورت تصادفی و در فضایی به طول ۳۰۴/۸ سانتیمتر روی زمین قرار داده شده‌اند. افراد از یک علامت روی علامت دیگر جهش خواهند کرد. علامت‌ها طوری قرار داده خواهند شد که جهش‌ها به صورت ۳ تکرار چندجهته انجام گیرد.

قبل از اجرای پروتکل خستگی عملکردی، توضیح و تمرین درباره هر بخش به آنان داده شد. برای تعیین زمان مبنا، هر فرد پس از گرم کردن با حداکثر تلاش یک نوبت اجرا انجام داد و زمان انجام یک دور و مقدار درک فشار (Rate of perceived exertion RPE) با استفاده از مقیاس بورک برای هر فرد ثبت گردید. پس از ۱ دقیقه استراحت از فرد خواسته شد تا فعالیت‌های ۶ ایستگاه (۱ دور) را به ترتیب و با حداکثر سرعت انجام دهد و زمان هر دور برای او ثبت شد. فرد تا زمان رسیدن به خستگی این دورها را بارها انجام داد، و برای به دست آوردن زمان واماندگی، زمان این دورها با هم جمع شد. معیار تعیین خستگی برای هر فرد هنگامی بود که زمان اتمام هر دور نسبت به زمان مبنا (اجرا با حداکثر تلاش) ۵۰ درصد افزایش پیدا کند.

روش‌های آزمایشگاهی اندازه گیری متغیرها

نمونه‌های خون قبل و بعد از فعالیت توسط متخصص آزمایشگاهی در لوله حاوی مواد ضد انعقادی ریخته شد و بلافاصله در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه سانترفیوژ با دور ۳۰۰۰ و به مدت ۱۰ دقیقه پلاسما نمونه‌ها جدا شد و متغیرهای تحقیق با کیت‌های مختص به خود سنجیده شد.

روش تجزیه و تحلیل آماری

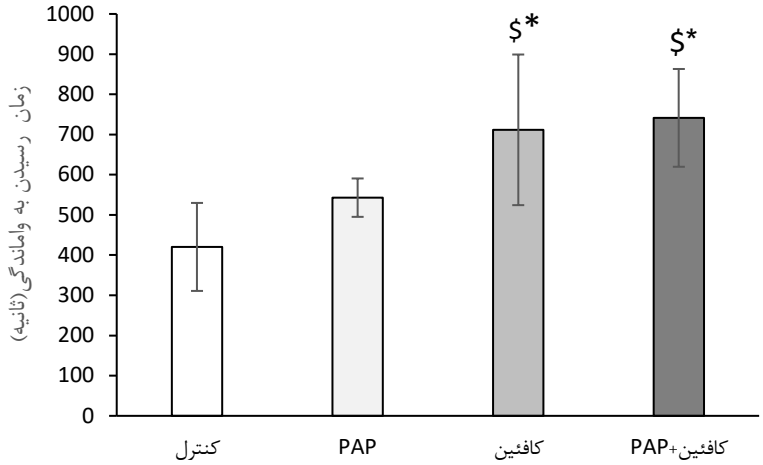
به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی و رسم نمودارها استفاده شد. از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. از آزمون لون برای بررسی برابری واریانس متغیرهای مورد نظر استفاده شد. در بخش آمار استنباطی، برای مقایسه گروه‌ها در متغیرهای زمان واماندگی، RPE و RPE به تعداد دورها از تحلیل واریانس یکراهه و در صورت نرمال نبودن از آزمون کروس کال والیس و به دنبال آن آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. همچنین برای بررسی سایر متغیرهای پژوهش از آزمون آنوای مکرر با عامل بین گروهی استفاده شد و از آزمون تعقیبی توکی برای برای مقایسه گروه‌ها استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام گردید.

ملاحظات اخلاقی

شرکت در این تحقیق داوطلبانه بود و آزمودنی‌های تحقیق می‌توانستند آزادانه از تحقیق خارج شوند. در ضمن این پژوهش دارای کد اخلاق از پژوهشگاه تربیت بدنی به شماره IR/SSRI.REC.2023.14436.2118 می‌باشد.

یافته‌ها

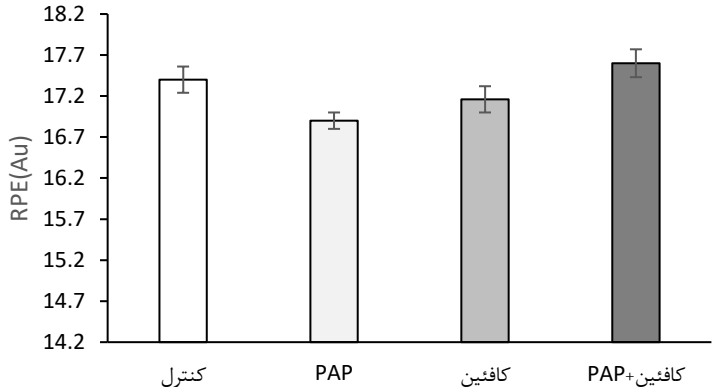
نتایج آزمون آنوای یک راهه نشان داد که تفاوت معنادار ($F_{(3,39)}$ =14.64,P<0.05, η_p^2=0.549) بین گروه‌ها در زمان رسیدن به واماندگی وجود دارد. همچنین، نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد که زمان رسیدن به واماندگی در گروه کافیئن+PAP و گروه کافیئن به ترتیب ۷۶ و ۶۹ درصد نسبت به گروه کنترل و ۳۶ و ۳۱ درصد نسبت به گروهPAP افزایش معنادار نشان داد (p<0.05) (تصویر ۱). نتایج آزمون ناپارامتریک کروس کال والیس نشان داد که تفاوت معنادار بین گروه‌ها در RPE زمان رسیدن به واماندگی وجود ندارد (جدول ۲ و تصویر ۲).



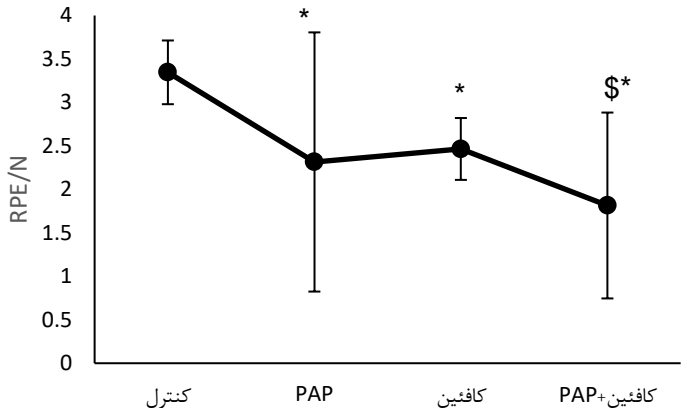
نمودار ۱. میانگین و انحراف استاندارد زمان رسیدن به خستگی. علامت * نشان دهنده تفاوت معنادار با گروه کنترل و علامت $ نشان دهنده تفاوت معنادار با گروه نیرومندسازی است.

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد شاخص RPE در زمان رسیدن به واماندگی

	میانگین و انحراف استاندارد	df	Chi-quare	P
RPE (Au)		۳	۵/۹۰۷	۰/۱۱۶
کنترل	۱۷/۴۰±۰/۱۶			
PAP	۱۶/۹۰±۰/۱			
کافئین	۱۷/۱۶±۰/۱۶			
کافئین+ PAP	۱۷/۶۰±۰/۱۷			



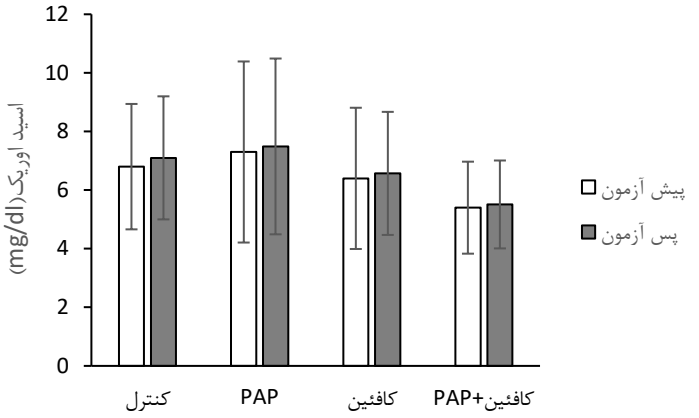
نمودار ۲. میانگین و انحراف استاندارد درک فشار در زمان واماندگی.



نمودار ۳. میانگین و انحراف استاندارد نسبت RPE به تعداد دورهای انجام شده در پروتکل خستگی ویکستروم. علامت * نشان دهنده تفاوت معنادار با گروه کنترل و علامت$ نشان تفاوت معنادار با گروه کافئین است.

آنجایی که تعداد دورهای گروها در زمان واماندگی با هم برابر نبود، بنابراین با تقسیم RPE به تعداد دورها، نسبتی به دست آمد که نتایج آزمون آنوای آن نشان داد که تفاوت معناداری در این نسبت بین گروه ها وجود دارد ($F_{(3,36)}$=16.48, P<0.001). همچنین نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که بجزگروه PAP با کافئین و PAP با کافئین PAP+ (P>0.05) سایر مقایسه‌ها تفاوت معنادار نشان دادند (P<0.05)(نمودار ۳). نتایج آزمون آنوای مکرر با عامل بین گروهی نشان داد که تفاوت معنادار بین گروه‌ها در میزان اسید اوریک وجود ندارد ($F_{(3,36)}$ =0.195,P=0.899, η_p^2=0.016) (نمودار ۴).

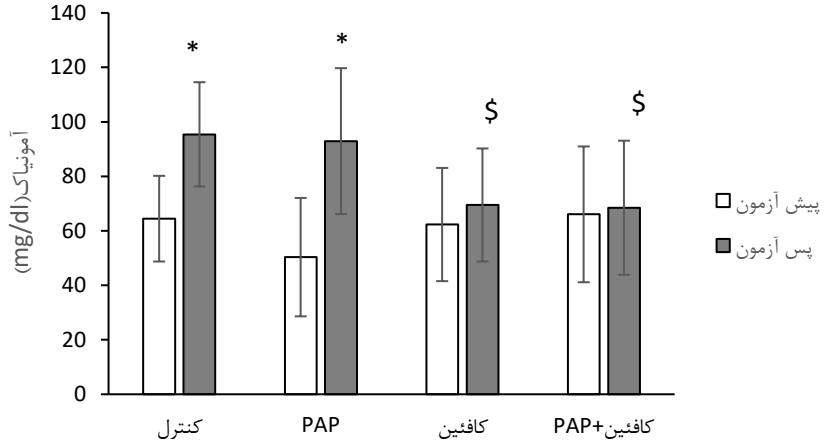
نتایج آنالیز آماری نشان داد که گروه‌ها در پیش آزمون تفاوت معناداری در شاخص آمونیاک با هم ندارند (p>0.05). نتایج آزمون آنوای مکرر با عامل بین گروهی نشان داد که تفاوت معنادار بین گروه‌ها در میزان آمونیاک وجود دارد. همچنین، نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد که میزان آمونیاک در گروه کافئین+PAP و گروه کافئین به ترتیب ۲۸/۵ و ۲۷ درصد نسبت به گروه کنترل PAP کاهش معنادار نشان داد (جدول ۳ و نمودار ۵).



نمودار ۴. میانگین و انحراف استاندارد اسید اوریک پلاسما.

جدول ۳. نتایج آزمون آنوا مکرر استاندارد آمونیاک، دوپامین (نانوگرم بر میلی لیتر)

ANOVA(4×2)			میانگین مربعات	df	F	P	η^2
پیش و پس آزمون درون گروهی			۸۴۴۳/۳۷	(۱,۳۶)	۷۴/۳۱	٭۰/۰۰۰	۰/۶۷۴
پیش و پس آزمون بین گروهی			۱۹۶۶/۷۸	(۳,۳۶)	۱۷/۳۱	٭۰/۰۰۰	۰/۲۶۰
گروها	پیش آزمون	پس آزمون	P	نتایج آزمون تعقیبی توکی در پس آزمون			
				کنترل	PAP	کافئین	کافئین+PAP
کنترل	۶۴/۴۷±۱۵/۷	۹۵/۴۳±۱۹/۱	۰/۰۰۰	-	۱/۰۰	۰/۰۳۹	۰/۰۵
PAP	۵۰/۴±۲۱/۷	۹۲/۹۴±۲۶/۷	۰/۰۰۰	۰/۶۰۲	-	۰/۰۹۲	۰/۱۱۵
کافئین	۶۲/۳۱±۲۰/۷	۶۹/۵±۲۰/۷	۰/۲۸۴	۱/۰۰	۱/۰۰	-	۰/۹۹۹
کافئین+ PAP	۶۶/۰۵±۲۴/۶	۶۸/۵±۱۴/۶	۰/۶۱۱	۱/۰۰۰	۰/۴۸۲	۰/۹۹۹	-
نتایج آزمون تعقیبی توکی در پیش آزمون							



نمودار ۵. میانگین و انحراف استاندارد آمونیاک پلاسما. علامت * نشان دهنده تفاوت معنادار با پیش آزمون و علامت $ نشان دهنده تفاوت معنادار با گروه کنترل است.

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مصرف کافئین به تنهایی و همچنین به همراه PAP قبل از فعالیت، سب افزایش زمان رسیدن به واماندگی در آزمودنی‌ها شد. علاوه بر این، اگرچه میزان RPE در زمان واماندگی بین گروه‌های مختلف تفاوت معنادار نشان نداد، ولی با وجود این، نسبت RPE/N در گروه PAP، کافئین و کافئین+PAP نسبت به گروه کنترل بهتر بود که این نشان دهنده آن است که در شرایط RPE برابر تعداد دورهای انجام شده در این گروه‌ها بیشتر بود و به عبارتی هم PAP و هم کافئین سبب بهبود عملکرد نسبت به گروه کنترل شده است. اگرچه گروه PAP نتوانست زمان واماندگی خود را به اندازه گروه های دیگر نسبت به گروه کنترل، افزایش دهد، با وجود این، PAP تعداد دورهای پروتکل خستگی ویکستروم را نسبت به گروه کنترل افزایش داد.

مطالعات گذشته نشان داده‌اند که عملکرد ورزشی بعد از مصرف کافئین(۱۲, ۲۶-۲۹) و هم چنین بعد انجام انقباض آماده ساز(۱, ۱۴, ۱۶) بهبود می‌یابد. افزایش عملکرد بعد از مصرف کافئین می‌تواند به دلیل اثر نیروزایی کافئین در کاهش احساس درد(۳۰, ۳۱) کاهش RPE، و در نتیجه تأخیر در شروع خستگی باشد(۳۲). مولت و همکاران(۲۰۱۱) نشان دادند که مصرف کافئین سبب کاهش درد در آزمودنی‌ها در حین اجرا پروتکل تحقیق شده است. همچنین گلاستر و همکاران(۲۰۱۶) نشان دادند که مصرف کافئین سبب کاهش RPE به نسبت گروه کنترل شده است(۳۰). همسو با نتایج پژوهش حاضر دزبرو و همکاران(۲۰۱۱) نشان دادند که مصرف کافئین سبب بهبود زمان رسیدن به واماندگی شده است(۳۳). همچنین، کاسو و همکاران(۲۰۱۲) در پژوهش خود نشان دادند که مسافت دویدن و همچنین تعداد دورهای سرعت بعد از مصرف کافئین افزایش یافت(۳۴). در مقابل نتایج تحقیق ولمن و همکاران(۲۰۱۰) با نتایج پژوهش حاضر ناهمسو بود، این محققین نشان دادند که میزان عملکرد بعد از مصرف ۶ میلی گرم کافئین تغییری نداشت(۳۱)، که این می تواند ناشی از تفاوت در آزمودنی‌ها و پروتکل تحقیق باشد. چرا که در تحقیق ولمن و همکاران(۲۰۱۰) پروتکل تحقیق شامل ۱۵ دقیقه دوچرخه با ۶۵ درصد ضربان قلب بود. به نظر می‌رسد مصرف کافئین سبب کاهش احساس درد و تأخیر در خستگی شود. کاهش احساس درد می‌تواند به دلیل افزایش مواد بتا آندروفینی در بدن آزمودنی‌ها باشد، اگر چه در مطالعه حاضر میزان بتاآندروفین اندازه گیری نشده است، اما مطالعات گذشته نشان داده‌اند که میزان آندروفین بعد از مصرف کافئین افزایش می‌یابد(۳۵). از طرفی استفاده بیشتر از چربی به جای قند بعد از مصرف کافئین، به نظر می‌رسد در کاهش خستگی مؤثر باشد. این امر به دلیل افزایش AMP سلولی به واسطه مهار آنزیم فسفودی استراز با کافئین است که منجر به تولید ATP و تحریک لیپولیز بافت چربی می‌شود(۳۶). این فرایند سبب استفاده بیشتر از اسیدهای چرب به جای گلیکوژن عضلانی می‌شود و همین سبب تأخیر در زمان رسیدن به خستگی خواهد شد(۳۷).

همچنین تحقیق حاضر نشان داد که انجام PAP به تنهایی سبب افزایش غیر معنادار زمان رسیدن به واماندگی نسبت به گروه کنترل شد (۲۹ درصد). این افزایش غیر معنادار در مدت زمان واماندگی و همچنین افزایش معنادار در تعداد دورهای انجام آزمون خستگی ویکستروم نشان دهنده آن است که انجام PAP در دوره گرم کردن می‌تواند سب بهبود نسبی در عملکرد شود. مطالعات مختلفی نشان داده اند که عملکرد ورزشی بعد از فعالیت آماده ساز بهبود می‌یابد(۱, ۱۴, ۱۶). به طور مثال، ساریکا و همکاران(۲۰۱۹) در مطالعه خود نشان دادند که میزان پرش عمودی در والیبالیست‌های زن و مرد بعد از انقباض آماده ساز افزایش یافت. از دیدگاه این محققین ورزشکاران تمرین کرده می‌توانند بیشتر از اثرات مفید PAP برای بهبود عملکرد خود بهره ببرند(۱). با وجود این خستگی و PAP با هم وجود دارند و نوع تقابل این دو مشخص کننده کاهش یا افزایش عملکرد ورزشی است. به طور مثال بولوسا و همکاران(۲۰۱۸) در مقاله مروری خود به بررسی اثر PAP در فعالیت‌های استقامتی پرداختند و نشان دادند که در صورتی که خستگی مرکزی و محیطی کاهش یابد یا اینکه توانمند سازی(PAP) بتواند بر خستگی غلبه کند می‌تواند در فعالیت‌های استقامتی به کار برده شود(۳۸). با وجود این، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان خستگی مرکزی و محیطی در بعد از پروتکل خستگی ویکستروم در گروه کنترل و PAP افزایش یافته است. از طرفی در گروه PAP + کافئین که میزان خستگی کمتر بوده است عملکرد ورزشی بهبود یافته است. از آنجایی که بر اساس مطالعات صورت گرفته، مکانیسم‌های PAP به دو بخش رویکرد عملکردی و مکانیسمی تقسیم می‌شوند، به نظر می‌رسد که در فعالیت‌های استقامتی(بالاتر از ۱ دقیقه) مکانیسم‌های رویکرد عملکردی شامل افزایش جریان خون، دمای عضله و انگیزه بتواند نقش موثری تری در بهبود عملکرد در فعالیت‌های استقامتی داشته باشد(۳۹).

اسید اوریک و آمونیاک به عنوان مارکرهای خستگی محیطی در مطالعات مختلف استفاده شده است(۵, ۴۰). در مطالعه حاضر، در شاخص اسید اوریک تفاوت معنادار بین گروه‌ها یافت نشد، این در حالی است که شاخص دیگر خستگی محیطی یعنی آمونیاک در گروه کافئین+PAP و گروه کافئین به ترتیب ۲۸/۵ و ۲۷ درصد نسبت به گروه کنترل PAP کاهش معنادار داشت. حذف سریع مواد مرتبط با خستگی از جریان خون بسیار مهم است چرا که کاهش عملکرد ورزشی را به تأخیر می‌اندازد و تداوم فعالیت را تسهیل می‌کند. مطالعات قبلی گزارش کردند که در طی فعالیت شدید، اسیدی شدن عضلانی منجر به آزاد شدن آمونیاک می‌شود(۴۱). در مطالعه حاضر نیز نشان داده شد که میزان آمونیاک در دو گروه PAP و کنترل افزایش معنادار نسبت به پیش آزمون نشان داد. با توجه به اینکه مطالعه حاضر تا سر حد خستگی اجرا شده است به نظر می‌رسد، افزایش لاکتات سبب افزایش بیشتر آمونیاک در این گروه‌ها شده است. با وجود این در گروه‌های دیگر که کافئین مصرف کرده بودند، میزان آموناک کاهش یافت که این می‌تواند به دلیل اثر ارگوژنیک کافئین باشد. پژوهش حاضر دارای محدودیت‌های است که تحقیقات آتی می‌توانند این محدودیت‌ها را در نظر بگیرند از جمله اینکه می‌توان به عدم اندازه گیری لاکتات اشاره کرد. از آنجایی که در طی فعالیت شدید، اسیدی شدن عضلانی منجر به آزاد شدن آمونیاک می‌شود، بنابراین سنجش آن می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری ارائه دهد و همچنین متغیرهای تحقیق حاضر را می‌توان در

حین و بلافاصله بعد از فعالیت سنجید که این امکان در تحقیق حاضر میسر نشد.

نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر همانند تحقیقات گذشته نشان داد که استفاده از کافئین سبب کاهش خستگی محیطی می‌شود. همچنین از آنجایی که استفاده از PAP اثر نامطلوبی بر عملکرد آزمودنی‌ها نداشت، ورزشکاران می‌توانند از این روش همراه با کافئین جهت بهبود عملکرد خود استفاده کنند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از تمامی افرادی که ما را در اجرای این تحقیق یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

این مطالعه هیچ گونه تعارض منافعی ندارد.

References

1. Sarika S, Kaur MB, Shenoy S. Analyzing the effect of post activation potentiation on vertical jump height in volleyball players. European Journal of Physical Education and Sport Science. 2019.
2. McMorris T, Barwood M, Corbett J. Central fatigue theory and endurance exercise: Toward an interoceptive model. Neurosci Biobehav Rev. 2018;93:93-107. **doi:** 10.1016/j.neubiorev.2018.03.024 **pmid:** 29608992
3. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. Physiol Rev. 2001;81(4):1725-89. **doi:** 10.1152/physrev.2001.81.4.1725 **pmid:** 11581501
4. Yamashita M. Potential Role of Neuroactive Tryptophan Metabolites in Central Fatigue: Establishment of the Fatigue Circuit. Int J Tryptophan Res. 2020;13:1178646920936279. **doi:** 10.1177/1178646920936279 **pmid:** 32647476
5. Kwak JJ, Yook JS, Ha MS. Potential Biomarkers of Peripheral and Central Fatigue in High-Intensity Trained Athletes at High-Temperature: A Pilot Study with Momordica charantia (Bitter Melon). J Immunol Res. 2020;2020:4768390. **doi:** 10.1155/2020/4768390 **pmid:** 32587872
6. Davis MP, Walsh D. Mechanisms of fatigue. J Support Oncol. 2010;8(4):164-74. **pmid:** 20822034
7. Ament W, Verkerke GJ. Exercise and fatigue. Sports Med. 2009;39(5):389-422. **doi:** 10.2165/00007256-200939050-00005 **pmid:** 19402743
8. Blomstrand E. A role for branched-chain amino acids in reducing central fatigue. J Nutr. 2006;136(2):544S-7S. **doi:** 10.1093/jn/136.2.544S **pmid:** 16424144
9. Khoramipour K, Dehghan P, Saboory M, Shahed A, Basereh A. Acute effects of submaximal cycling activity with blood flow restriction on superoxide dismutase and plasma glutathione peroxidase enzymes in healthy men: a pilot study. Medicina dello Sport. 2017;70(2):000-. **doi:** 10.23736/s0025-7826.16.02871-4
10. Pereira PE, Motoyama Y, Esteves GJ, Oliveira JC, Pereira R, Pandeló D, et al. Caffeine supplementation delays the fatigue through central nervous system modulation. Sport Sciences for Health. 2016;12(2):239-45.
11. Santos-Mariano AC, Tomazini F, Felippe LC, Boari D, Bertuzzi R, De-Oliveira FR, et al. Effect of caffeine on neuromuscular function following eccentric-based exercise. PLoS One. 2019;14(11):e0224794. **doi:** 10.1371/journal.pone.0224794 **pmid:** 31697729
12. Ganio MS, Klau JF, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. J Strength Cond Res. 2009;23(1):315-24. **doi:** 10.1519/JSC.0b013e31818b979a **pmid:** 19077738
13. Cardoso L, Nery T, Gonçalves M, Carolina Speck M, de Bem Alves AC, Bristot V, et al. Caffeine decreases neuromuscular fatigue in the lumbar muscles–a randomized blind study. Muscle Ligaments and Tendons Journal. 2020. **doi:** 10.1101/2020.06.08.20122531
14. Till KA, Cooke C. The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. J Strength Cond Res. 2009;23(7):1960-7. **doi:** 10.1519/JSC.0b013e3181b8666e **pmid:** 19855319
15. Bassereh A, Ebrahim K, Hovanloo F, Dehghan P. The Effect of Different Pressures of Blood Flow Restriction with Isometric Exercise on EMG Changes. Sport Physiology & Management Investigations. 2016;8(3):119-29.
16. Gossen ER, Sale DG. Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. Eur J Appl Physiol. 2000;83(6):524-30. **doi:** 10.1007/s004210000304 **pmid:** 11192060
17. Sale D. Postactivation potentiation: role in performance. Br J Sports Med. 2004;38(4):386-7. **doi:** 10.1136/bjsm.2002.003392 **pmid:** 15273166
18. Meidinger RL. Post-Activation Potentiation: Decay or Fatigue Delay: All NMU; 2017.
19. Behm DG, Button DC, Barbour G, Butt JC, Young WB. Conflicting effects of fatigue and potentiation on voluntary force. J Strength Cond Res. 2004;18(2):365-72. **doi:** 10.1519/R-12982.1 **pmid:** 15141999
20. Castro-Garrido N, Valderas-Maldonado C, Herrera-Valenzuela T, Ferreira Da Silva J, Guzmán-Muñoz E, Vásquez-Gómez J, et al. Effects of post-activation potentiation exercises on kicking frequency, fatigue rate and jump performance in taekwondo athletes: a case study: Universidad Católica del Maule; 2020.
21. Basereh A, Rajabi H, Gharibzadeh S, Jaberzadeh S. Adaptations of cortical-spinal excitatory and inhibitory pathways in strength changes caused by resistance training in untrained individuals Based on Transcranial Magnetic Stimulation. Sport Physiology & Management Investigations. 2022;14(1):81-97.
22. Andrews SK, Horodyski JM, MacLeod DA, Whitten J, Behm DG. The Interaction of Fatigue and Potentiation Following an Acute Bout of Unilateral Squats. J Sports Sci Med. 2016;15(4):625-32. **pmid:** 27928208
23. Lee J-B, Kim T-W. Ingestion of caffeine links dopamine and 5-hydroxytryptamine release during half immersion in 42° C hot water in a humans. Journal of exercise rehabilitation. 2019;15(4):571.
24. Wikstrom EA, Powers ME, Tillman MD. Dynamic Stabilization Time After Isokinetic and Functional Fatigue. J Athl Train. 2004;39(3):247-53. **pmid:** 15496994
25. Mirkarimpour SH, Falah Mohamaddi M, Alizadeh MH. Effect of Functional Fatigue on Landing Mechanics using Landing Error Scoring System (LESS). Research in Sport Medicine and Technology. 2015;13(9):24-36. **doi:** 10.18869/acadpub.jsmt.13.9.24
26. Felippe LC, Ferreira GA, Learsi SK, Boari D, Bertuzzi R, Lima-Silva AE. Caffeine increases both total work performed above critical power and peripheral fatigue during a 4-km cycling time trial. Journal of Applied Physiology. 2018;124(6):1491-501.
27. Bowtell JL, Mohr M, Fulford J, Jackman SR, Ermidis G, Krustrup P, et al. Improved Exercise Tolerance with Caffeine Is Associated with Modulation of both Peripheral and Central Neural Processes in Human Participants. Front Nutr. 2018;5:6. **doi:** 10.3389/fnut.2018.00006 **pmid:** 29484298
28. Kashef M, Moonikh KU, Kashef A. The effects of different doses of caffeine on time to exhaustion, resting levels and hemodynamic parameters response in young male athletes. Pajouhan Scientific Journal. 2017;15(4):56-65.
29. Couto PG, Silva-Cavalcante MD, Mezencio B, Azevedo RA, Cruz R, Bertuzzi R, et al. Effects of caffeine on central and peripheral fatigue following closed- and open-loop cycling exercises. Braz J

Med Biol Res. 2022;55:e11901. **doi:** 10.1590/1414-431X2021e11901 **pmid:** 35239783
30. Glaister M, Muniz-Pumares D, Patterson SD, Foley P, McInnes G. Caffeine supplementation and peak anaerobic power output. Eur J Sport Sci. 2015;15(5):400-6. **doi:** 10.1080/17461391.2014.962619 **pmid:** 25275888
31. Wallman KE, Goh JW, Guelfi KJ. Effects of caffeine on exercise performance in sedentary females. J Sports Sci Med. 2010;9(2):183-9. **pmid:** 24149684
32. Gonzalez AM, Hoffman JR, Wells AJ, Mangine GT, Townsend JR, Jajtner AR, et al. Effects of time-release caffeine containing supplement on metabolic rate, glycerol concentration and performance. J Sports Sci Med. 2015;14(2):322-32. **pmid:** 25983581
33. Desbrow B, Biddulph C, Devlin B, Grant GD, Anoopkumar-Dukie S, Leveritt MD. The effects of different doses of caffeine on endurance cycling time trial performance. J Sports Sci. 2012;30(2):115-20. **doi:** 10.1080/02640414.2011.632431 **pmid:** 22142020
34. Del Coso J, Munoz-Fernandez VE, Munoz G, Fernandez-Elias VE, Ortega JF, Hamouti N, et al. Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. PLoS One. 2012;7(2):e31380. **doi:** 10.1371/journal.pone.0031380 **pmid:** 22348079
35. Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. J Int Soc Sports Nutr. 2010;7(1):5. **doi:** 10.1186/1550-2783-7-5 **pmid:** 20205813
36. Tarnopolsky MA. Caffeine and creatine use in sport. Ann Nutr Metab. 2010;57 Suppl 2(Suppl. 2):1-8. **doi:** 10.1159/000322696 **pmid:** 21346331
37. Spriet LL. Exercise and sport performance with low doses of caffeine. Sports Med. 2014;44 Suppl 2(Suppl 2):S175-84. **doi:** 10.1007/s40279-014-0257-8 **pmid:** 25355191
38. Boullosa D, Del Rosso S, Behm DG, Foster C. Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. Eur J Sport Sci. 2018;18(5):595-610. **doi:** 10.1080/17461391.2018.1438519 **pmid:** 29490594
39. Basereh A, Rajabi D. Application of Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) in Exercise Respons and Exercise Adaptations. Sport Physiology. 2022;14(53):60-17.
40. Carvalho-Peixoto J, Alves RC, Cameron LC. Glutamine and carbohydrate supplements reduce ammonemia increase during endurance field exercise. Appl Physiol Nutr Metab. 2007;32(6):1186-90. **doi:** 10.1139/H07-091 **pmid:** 18059593
41. Bassini-Cameron A, Monteiro A, Gomes A, Werneck-de-Castro JP, Cameron L. Glutamine protects against increases in blood ammonia in football players in an exercise intensity-dependent way. Br J Sports Med. 2008;42(4):260-6. **doi:** 10.1136/bjsm.2007.040378 **pmid:** 17984189