

## *The Effect of Magnesium Supplementation on EMG Indices of Muscle Fatigue Following a Period of Acute Anaerobic Exercise*

Zia Falah Mohammadi<sup>1</sup>, Vahid Talebi<sup>1\*</sup>, Normohammad Delavari Banitak<sup>1</sup>, Abazar Shirazi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Sport Physiology & Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

\*Corresponding Author:  
Vahid Talebi, Department of Sport Physiology & Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Email:  
v.talebi@umz.ac.ir

Received: 30 Feb, 2016

Accepted: 23 Jul, 2016

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Magnesium is a cofactor with more than 300 enzymes, which affect energy production and the nervous system. This research aimed to investigate the effect of magnesium intake on musculoskeletal fatigue electromyography indices following intense anaerobic exercise.

**Methods:** Sixteen active male students voluntarily participated in this semi-experimental study. The subjects were randomly divided into two groups of supplement and placebo. EMG electrodes were placed on muscles based on SENIAM instructions. Test was performed on a bicycle ergometer (Iode, Netherland) and at the same time, the right leg muscles activity, was recorded using an EMG device. Data were analyzed by paired and independent t-tests. The significance level was considered to be 0.05.

**Results:** Magnesium supplementation reduces intragroup RMS of vastus medialis, vastus lateralis, and gastrocnemius lateralis muscles ( $p=0.001$ ,  $p=0.05$ ,  $p=0.001$ , respectively), but between-group values had no significant difference. Magnesium intake also increased MPF in vastus medialis, vastus lateralis, and gastrocnemius lateralis muscles ( $p=0.001$ ,  $p=0.05$ ,  $p=0.05$ , respectively), and also between-group comparison showed increase in vastus lateralis in supplement group ( $p=0.026$ ).

**Conclusion:** Based on the findings of this study, magnesium sulfate supplementation improves the performance of healthy active subjects in a short period of intense activity, such as Wingate test.

**Keywords:** Magnesium sulfate; Electromyography; Fatigue.

## اثر مکمل گیری منیزیم بر شاخص های الکترومیوگرافی خستگی عضلانی در پی یک وهله فعالیت بدنی شدید بی هوازی

ضیاءفلاح محمدی<sup>۱</sup>، وحید طالبی<sup>۱\*</sup>، نورمحمد دلآوری بنی تاک<sup>۱</sup>، اباذر شیرازی<sup>۱</sup>

### چکیده

**زمینه و هدف:** منیزیم، کوفاکتوری با بیش از ۳۰۰ آنزیم است که در تولید انرژی و سیستم عصبی تأثیرگذار می باشد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مصرف منیزیم بر شاخص های الکترومیوگرافی خستگی عضلانی در پی فعالیت بدنی شدید بی هوازی انجام شد.

**روش بررسی:** در این مطالعه نیمه تجربی، ۱۶ دانشجوی فعال مرد به صورت داوطلبانه شرکت کردند. آزمودنی ها به طور تصادفی به دو گروه مکمل و دارونما تقسیم شدند. محل قرارگیری الکترودهای الکترومیوگرافی برای عضلات، براساس دستورالعمل SENIAM مشخص گردید. آزمون روی دوچرخه ارگومتر (لوده ساخت هلند) انجام شد و همزمان با آن، فعالیت عضلات پای راست به وسیله دستگاه EMG ثبت گردید. داده ها با استفاده از آزمون تی زوجی و تی مستقل تحلیل شدند. سطح معنی داری، ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

**یافته ها:** مصرف مکمل منیزیم موجب کاهش درون گروهی RMS عضلات پهن داخلی، پهن خارجی، عضله دوقلو داخلی (به ترتیب  $p=0/001$ ،  $p=0/05$ ،  $p=0/001$ ) شد، اما مقادیر بین گروهی تفاوت معنی داری نداشت. همچنین MPF پهن داخلی، پهن خارجی و عضله دوقلو در پی مصرف مکمل (به ترتیب  $p=0/001$ ،  $p=0/05$ ،  $p=0/05$ ) و نیز در مقایسه بین گروه ها تنها در عضله پهن خارجی گروه مکمل، افزایش ( $p=0/026$ ) نشان داد.

**نتیجه گیری:** براساس یافته های مطالعه حاضر، مصرف مکمل منیزیم سولفات، عملکرد افراد سالم فعال را در یک دوره کوتاه فعالیت های شدید همچون آزمون وینگیت بهبود می بخشد.

**کلید واژه ها:** منیزیم سولفات؛ الکترومیو کاردیوگرافی؛ خستگی.

گروه فیزیولوژی ورزشی و بیومکانیک،  
دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه  
مازندران، بابلسر، ایران.

\*نویسنده مسئول مکاتبات:

**وحید طالبی**، گروه فیزیولوژی  
ورزشی و بیومکانیک، دانشکده علوم  
ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران؛

آدرس پست الکترونیکی:

v.talebi@umz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۱

لطفاً به این مقاله به صورت زیر استناد نمایید:

Falah Mohammadi Z, Talebi V, Delavari Banitak N, Shirazi A. The effect of magnesium supplementation on EMG indices of muscle fatigue following a period of acute anaerobic exercise.

Qom Univ Med Sci J 2018;11(11):58-67. [Full Text in Persian]

**مقدمه**

وضعیت تغذیه‌ای، توانایی انجام فعالیت بدنی شدید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از این مواد مغذی که ارتباط آن بین وضعیت بدنی و فعالیت بدنی یا ورزش مورد توجه قرار گرفته، منیزیم است. منیزیم کوفاکتور بیش از ۳۰۰ آنزیم بوده که بر فرآیندهای مهم سلولی همچون تولید انرژی و عملکرد بسیاری از ارگان‌های بدن مثل عروق خون عضلات و سیستم عصبی تأثیر می‌گذارد (۱). این ماده معدنی به‌عنوان یکی از عناصر مهم برای بهبود ورزش و عملکرد ورزشی مورد توجه بوده است (۲). منیزیم مراحل متعددی از عملکرد عضلانی از جمله جذب اکسیژن، تولید انرژی (ATP و سنتز فسفوکراتین) و تعادل الکترولیتی (سدیم، پتاسیم و کلسیم) را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳). طبق مطالعات انجام‌شده، احتمالاً اثرات منیزیم بر انقباض عضلات از طریق تأثیر بر پتانسیل استراحت غشا، پتانسیل عمل و پدیده الحاق تحریک - انقباض در عضلات اعمال می‌شود (۴).

خستگی عضلانی ناشی از فعالیت درمانده‌ساز، پدیده رایجی است که در طی فعالیت‌های ورزشی به‌وجود می‌آید و با کاهش نیرو سبب اختلال در عملکرد حرکتی افراد می‌شود. فاکتورهای بالقوه‌ای که در بروز خستگی نقش دارند شامل عوامل مرکزی (خستگی به‌وجودآمده در اثر اختلال در سیستم عصبی - عضلانی) و عوامل محیطی (خستگی در اثر اختلال در انقباض عضلات) می‌باشد (۵). روش‌های مختلفی برای بررسی خستگی مرکزی یا محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های تهاجمی، مستلزم خونگیری یا نمونه‌برداری بافتی است که به دلیل صرف هزینه‌های قابل توجه، همچنین تحمیل درد و رنج به آزمودنی، دارای ضعف می‌باشد؛ در نتیجه روش‌های غیرتهاجمی دیگری مورد توجه قرار گرفته است. الکترومیوگرافی سطحی، یک روش غیرتهاجمی برای ارزیابی چگونگی عملکرد سیستم عصبی - عضلانی است (۶). EMG ثبت‌شده در جریان انقباض ارادی عضلانی، به‌منظور تعیین رابطه آن با خستگی عضلانی، به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است (۷). اولین کار تحقیقاتی برای آشکارکردن خستگی عضلانی با استفاده از تکنیک الکترومیوگرافی سطحی توسط Piper انجام شد. وی مشاهده کرد کاهش تدریجی سیگنال EMG در طول انقباض مداوم ایزومتریک به‌علت انتقال مؤلفه‌های

طیفی سیگنال EMG به سمت فرکانس‌های پایین‌تر است. از آن زمان، نویسندگان بیشتری از EMG برای ارزیابی خستگی عضلانی استفاده کردند (۸). به‌طور کلی، یک افزایش معنی‌دار در ریشه دوم میانگین (RMS) و کاهش میانگین توان فرکانس (MPF) در طی باز شدن زیربیشینه زانو نشان داده شده که اشاره به فراخوان واحدهای اضافی و کاهش شدت فرکانس EMG دارد و بر خستگی عضلانی دلالت می‌کند (۹). برخی از مطالعات دریافتند با توسعه خستگی، افزایش پیش‌رونده در آمپلیتود RMS بیشتر می‌شود (۱۰).

نتایج مطالعه‌ای که توسط رواسی و همکاران انجام شد، نشان داد مصرف مکمل‌های روی، منیزیم و روی همراه با منیزیم می‌تواند بر قدرت عضلات بالاتنه زنان فعال تأثیر داشته باشد (۱۱). همچنین نشان دادند مکمل‌گیری منیزیم و ورزش، سطح هورمون‌ها را به‌وسیله فعال کردن سیستم هیپوفیز - آدرنالی افزایش می‌دهد (۱۲). اما Newhouse و همکاران در مطالعه‌ای دیگر با بررسی تأثیر مکمل‌گیری منیزیم بر عملکرد ورزشی، به این نتیجه رسیدند که مکمل‌گیری منیزیم به مدت ۴ هفته و به مقدار ۲۱۲ میلی‌گرم در روز، به‌طور معنی‌داری سطوح استراحتی یون منیزیم را افزایش می‌دهد، اما اجرا یا ریکاوری در گروه زنان فعال را بهبود نمی‌بخشد (۱۳). با توجه به دانش و اطلاعات پیشینه پژوهش، تاکنون مطالعه‌ای یافت نشده که تأثیر مصرف مکمل منیزیم را بر شاخص‌های الکترومیوگرافی خستگی عصبی - عضلانی در پی یک وهله فعالیت شدید کوتاه‌مدت (همچون آزمون وینگیت) مورد بررسی قرار دهد. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر ۲ هفته مکمل‌گیری منیزیم سولفات بر روی شاخص‌های الکترومیوگرافی خستگی عضلانی در پی اجرای آزمون کوتاه‌مدت شدید انجام شد.

**روش بررسی**

روش اجرای تحقیق از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون بود. جامعه آماری را ۱۶ دانشجوی فعال مرد تشکیل می‌دادند که به‌صورت در دسترس و داوطلبانه در مطالعه شرکت کردند. همه افراد بدون هیچ آسیبی در عضلات اندام تحتانی و مفاصل خود، فرم رضایت آگاهانه شرکت در مطالعه را امضا

کردند. معیارهای ورود به پژوهش شامل: نداشتن سابقه مصرف مکمل منیزیم، استعمال دخانیات، عدم سابقه بیماری‌های قلبی، اختلالات کبدی، تیروئیدی و حساسیت‌های پوستی بود، همچنین داوطلبان ورود به تحقیق باید در ۳ ماه گذشته حداقل ۳ روز در هفته و روزی ۳۰ دقیقه فعالیت منظم ورزشی داشتند. آزمودنی‌ها به‌طور تصادفی به دو گروه مکمل و دارونما تقسیم شدند.

آزمودنی‌ها با هماهنگی قبلی در ساعت معین (همه آزمودنی‌ها از ساعت ۸-۱۲ صبح انجام شد)، در آزمایشگاه حاضر شده و خونگیری از ورید پیش بازویی در حالت نشسته از آنها به عمل آمد. آزمون وینگیته روی چرخ کارسنج مونارک (لوده ساخت هلند) اجرا گردید. پیش از آغاز آزمون، اطلاعات مربوط به سن، جنس و وزن آزمودنی به دوچرخه داده شد، سپس ارتفاع صندلی برای آزمودنی تنظیم گردید؛ به‌طوری که خمیدگی ۱۰ درجه‌ای زانو برای همه آزمودنی‌ها رعایت شد. فرمان دوچرخه نیز برای همه آزمودنی‌ها طوری تنظیم گردید که آزمودنی‌ها روی دوچرخه احساس راحتی کنند، سپس پای آزمودنی‌ها در رکاب دوچرخه تثبیت می‌شد تا در اجرای تست، عوامل مداخله‌گر نامربوط همچون دررفتگی پا از رکاب و سایر موارد رخ ندهد.

در ابتدا فعالیت گرم کردن به مدت ۵ دقیقه با شدت ۵۰ وات و ۶۰ دور در دقیقه اجرا شد (۱۴). بعد از اتمام گرم کردن، هنگامی که شمارش معکوس به صفر رسید، آزمودنی با حداکثر توان خود به مدت ۳۰ ثانیه پدال می‌زد و آزمونگر با تشویق از وی می‌خواست تا تلاش حداکثری خود را انجام دهد. بعد از اتمام تست، ۳۰ ثانیه برای ریکاوری در نظر گرفته می‌شد. در انتها فرد از چرخ کارسنج، پیاده و بلافاصله برای خونگیری دوم آماده می‌شد. در این مطالعه فعالیت ۳ عضله پهن داخلی، پهن خارجی و دوقلو داخلی پای راست مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا نقطه موردنظر برای نصب الکترولیت‌ها با ژلیت تمیز گردید، سپس با الکل سفید شست‌وشو داده شد و با استفاده از سایت راهنمای پروتکل اروپایی (SENIAM)، الکترودها روی عضلات نصب شدند (فاصله مرکز تا مرکز الکترودها، ۲ سانتی‌متر بود و الکتروود زمین روی استخوان درشت‌نی نصب شد، فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرترز در نظر گرفته شد).

فعالیت عضلانی به‌وسیله دستگاه (EMG Biovision) ساخت کشور آلمان) ثبت گردید. با توجه به برنامه‌ای که از قبل برای نرم‌افزار DasyLab نوشته شده بود، یک فیلتر پایین‌گذر ۵۰۰ و بالاگذر ۱۰هرتز اعمال شد (۱۴). داده‌های مربوط به MPF (میانگین توان فرکانس شاخص خستگی عضلانی) از طریق نرم‌افزار DasyLab گرفته شد. برای محاسبه RMS از نرم‌افزار MATLAB استفاده گردید. برای تجزیه تحلیل داده‌های MPF به کمک نرم‌افزار Excel، بازه ۳۰ ثانیه آزمون وینگیته انتخاب، سپس از روش رسم نمودار خطی و پیدا کردن شیب خط که نشان‌دهنده میزان خستگی عضله می‌باشد، استفاده شد. ابتدا با توجه به برنامه نوشته‌شده برای MATLAB از داده‌های فیلترشده استفاده گردید، سپس ریشه مجذور میانگین (RMS) داده‌ها گرفته شد. در ادامه، از طریق نرم‌افزار Excel، بازه ۳۰ ثانیه اول و دوم مشخص و میانگین هر دو محاسبه گردید. برای اینکه داده‌ها قابل مقایسه باشند و بتوان از آنها استفاده کرد، میانگین بازه دوم (داده تست وینگیته) به میانگین بازه اول (۳۰ ثانیه آخر گرم کردن) تقسیم شد، سپس این مقدار در عدد ۱۰۰ ضرب شد. (عدد حاصل نشان‌دهنده میزان فعالیت آن عضله می‌باشد که برحسب درصدی از آن فعالیت بیان شده است). در این پژوهش از مکمل سولفات منیزیم (تولید شرکت کیمیاگر توس، با کد بهداشتی ۱۱/۱۰۰/ب از وزارت بهداشت جمهوری اسلامی ایران) استفاده گردید. همچنین در این تحقیق آرد به‌عنوان دارونما در نظر گرفته شد. مکمل‌های سولفات منیزیم و دارونما در کپسول‌های زردرنگ که از نظر طعم، رنگ و شکل ظاهری، مشابه بودند، بسته‌بندی و در اختیار فردی خارج از پژوهش قرار گرفتند؛ به‌نحوی که محقق نیز از گروه مکمل یا دارونما بودن آزمودنی‌ها اطلاعی نداشت (دوسوکور). هریک از کپسول‌ها حاوی ۳۵۰ میلی‌گرم مکمل یا دارونما بود (۱۵). آزمودنی‌ها بعد از اجرای پیش‌آزمون، مصرف مکمل و دارونما را آغاز کردند؛ به‌نحوی که هر روز قبل از شام، کپسول را دریافت و به همراه آب ولرم مصرف می‌کردند. مکمل‌سازی در ۱۴ روز متوالی انجام گرفت (در مجموع هر آزمودنی ۴۹۰۰ میلی‌گرم مکمل و یا دارونما دریافت می‌کرد). (۱۶). آزمودنی‌ها در طول مکمل‌سازی، رژیم غذایی عادی خود را حفظ کرده و از آنها خواسته شد در طول دوره مطالعه

بین گروهی) تجزیه و تحلیل شدند ( $p \leq 0/05$ ).

### یافته‌ها

آزمودنی‌ها براساس شاخص‌های آنتروپرومتری تقسیم شدند؛ به طوری که از این نظر، مقادیر با هم تفاوت قابل توجهی نداشتند. شاخص MPF در عضله پهن خارجی گروه مکمل با گروه دارونما، تفاوت معنی‌داری داشت ( $p=0/02$ )، در حالی که بین دو عضله پهن داخلی و دوقلو، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول شماره ۱).

مشخصات آزمودنی‌ها در جدول شماره ۱ آمده است.

هرگونه مواد غذایی مصرفی را ثبت کنند، همچنین همه آزمودنی‌ها از مصرف هر نوع مکمل دیگر و یا دارویی که در پژوهش اختلال ایجاد کند (داروهای اسهال‌آور و داروهایی که در ساختار خود دارای منیزیم هستند) منع شده و موظف به رعایت رژیم غذایی عادی خود و پیروی از غذای رستوران دانشگاه بودند. با رعایت کردن فاصله ۲۴ ساعت بعد از آخرین دریافت کپسول و تکمیل دوره مکمل‌سازی (۱۴ روز)، پس‌آزمون کاملاً مشابه با پیش‌آزمون انجام شد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱، آزمون کلموگروف - اسمیرنوف (جهت اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌ها)، آزمون تی زوجی و تی همبسته (جهت بررسی تفاوت میانگین درون و

جدول شماره ۱: مشخصات آزمودنی‌ها قبل و بعد از گروه‌بندی تصادفی

متغیر	گروه	قبل از گروه‌بندی	منیزیم سولفات	دارونما
		میانگین $\pm$ انحراف معیار	میانگین $\pm$ انحراف معیار	میانگین $\pm$ انحراف معیار
سن (سال)		۲۱/۷۵ $\pm$ ۱/۴۳	۲۱/۳۷ $\pm$ ۱/۶۰	۲۲/۱۲ $\pm$ ۱/۷۲
وزن (کیلوگرم)		۷۱/۱۲ $\pm$ ۸/۴۴	۷۴/۳۷ $\pm$ ۸/۲۴	۶۷/۸۷ $\pm$ ۷/۷۹
قد (سانتی متر)		۱۷۸ $\pm$ ۲/۲۷	۱۷۸/۷۵ $\pm$ ۸/۴۳	۱۷۷/۲۵ $\pm$ ۶/۴۰
توده چربی (کیلوگرم)		۹/۰۸ $\pm$ ۲/۷۱	۱۰/۶۱ $\pm$ ۱/۱۹	۷/۵۵ $\pm$ ۳/۰۰
توده بدنی		۲۲/۴ $\pm$ ۱/۷۸	۲۳/۲۶ $\pm$ ۱/۶۶	۲۱/۵۳ $\pm$ ۱/۵۱

همچنین تفاوت معنی‌داری بین مقادیر MPF عضله پهن داخلی ( $p=0/001$ )، عضله پهن خارجی ( $p=0/05$ ) و عضله دوقلو داخلی ( $p=0/05$ ) در گروه مکمل دیده شد (جدول شماره ۲).

تفاوت معنی‌داری بین مقادیر درون‌گروهی RMS عضله پهن داخلی ( $p=0/001$ )، عضله پهن خارجی ( $p=0/05$ ) و عضله دوقلو داخلی ( $p=0/001$ ) در گروه مکمل مشاهده گردید.

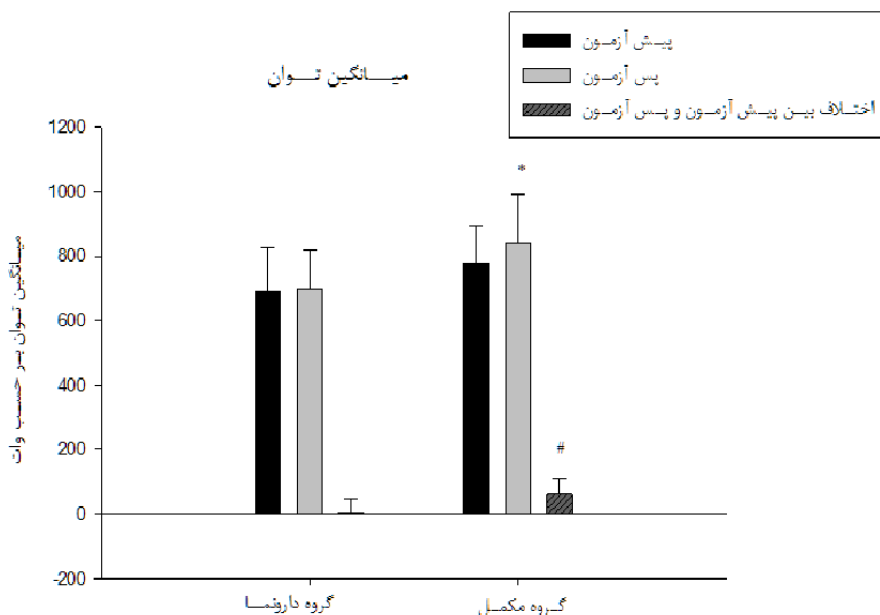
جدول شماره ۲. میانگین  $\pm$  انحراف معیار RMS و MPF در عضلات پهن داخلی، پهن خارجی و دوقلو داخلی

عضله	مرحله	شاخص		در دو گروه منیزیم سولفات، دارونما در دو مرحله پس و پیش‌آزمون	
		RMS	MPF	گروه مکمل	گروه دارونما
پهن داخلی	پیش‌آزمون	۵۵۵/۰۹ $\pm$ ۱۳۴/۸۹	۵۷۵/۹۷ $\pm$ ۱۷۰/۳۸	۰/۱۶ $\pm$ ۰/۱۱	۰/۰۴ $\pm$ ۰/۲۸
	پس‌آزمون	۴۳۷/۶۱ $\pm$ ۷۸/۶۸ *	۴۸۳/۲۵ $\pm$ ۱۱۱/۰۸	۰/۰۶ $\pm$ ۰/۰۷ *	۰/۱۳ $\pm$ ۰/۲۰
پهن خارجی	پیش‌آزمون	۵۱۳/۹۸ $\pm$ ۱۸۷/۴۶	۵۱۲/۷۱ $\pm$ ۱۲۹/۷۰	۰/۲۰ $\pm$ ۰/۱۱	۰/۰۹ $\pm$ ۰/۲۸
	پس‌آزمون	۳۴۹/۸۹ $\pm$ ۷۱/۴۴ *	۳۴۸/۲۱ $\pm$ ۱۸۴/۳۷	۰/۰۷ $\pm$ ۰/۰۸ * †	۰/۱۲ $\pm$ ۰/۱۲
دوقلو	پیش‌آزمون	۳۵۴/۶۶ $\pm$ ۲۶/۹۹	۳۸۸/۱۴ $\pm$ ۱۰۲/۵۴	۰/۲۵ $\pm$ ۰/۲۹	۰/۰۳ $\pm$ ۰/۲۹
	پس‌آزمون	۲۷۹/۰۳ $\pm$ ۴۸/۹۴ *	۳۴۹/۱۶ $\pm$ ۱۴۷/۸۹	۰/۰۳ $\pm$ ۰/۳۲ *	۰/۳۱ $\pm$ ۰/۲۹

\* سطح معنی‌داری نسبت به پیش‌آزمون † معنی‌دار نسبت به گروه دارونما.

۱۴ روز) در جدول شماره ۳ و میانگین توان در نمودار نشان داده شده است.

میانگین  $\pm$  انحراف معیار غلظت منیزیم و لاکتات دو گروه قبل و بعد از تست در دو مرحله قبل و بعد از مکمل‌گیری (بعد از



نمودار: میانگین توان دو گروه منیزیم سولفات و دارونما.

میانگین توان گروه مکمل نسبت به مقادیر درون‌گروهی و بین‌گروهی، افزایش معنی‌داری داشت؛ به طوری که میانگین توان در گروه منیزیم در مرحله پس‌آزمون، ۸/۱۵٪ افزایش یافت، اما گروه دارونما افزایش ۰/۹۲ را نشان داد ( $p=0/02$ ) (نمودار شماره ۱).

مقادیر لاکتات پلاسما نشان داد مصرف مکمل منیزیم موجب کاهش غلظت آن در مرحله پس‌آزمون شده است ( $p=0/001$ ). این یافته در حالی به دست آمد که مقدار کار انجام‌شده در شرایط آزمایشی در گروه مکمل بیشتر بود.

جدول شماره ۳: مقادیر لاکتات پلاسما و منیزیم سرم در قبل و بعد از تست

گروه‌ها	مرحله	لاکتات قبل از تست	لاکتات بعد از تست	منیزیم قبل از تست	منیزیم بعد از تست
منیزیم	پیش آزمون	۲/۴۶±۰/۴۸	۱۰/۱۵±۰/۸۷	۱/۹۸±۰/۱۲	۲/۱±۰/۹۲
	پس آزمون	۱/۹۱±۰/۴۵	۶/۶±۰/۹۲#*	۲/۰۵±۰/۲۶	۱/۷±۰/۲۷
دارونما	پیش آزمون	۲/۰۲±۰/۱۹	۹/۸۳±۰/۷۱	۲±۰/۱۱	۲/۰۸±۰/۰۹
	پس آزمون	۱/۸۱±۰/۱۵	۷/۳۲±۰/۸۷	۱/۹۳±۰/۲۳	۱/۹۸±۰/۱۸

\*تفاوت معنی‌دار نسبت به مرحله پیش‌آزمون، #تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه دارونما، \*تفاوت معنی‌دار نسبت به قبل از تست، #تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه دارونما.

## بحث

نشان‌دهنده کاهش توان عضله و کاهش سرعت هدایت فیبر عضلات است (۱۷)؛ درحالی‌که در مطالعه حاضر، MPF عضله پهن جانبی افزایش پیدا کرد که احتمالاً علامت افزایش سرعت هدایت فیبر عضلات به دلیل مصرف مکمل منیزیم بوده است. از طرف دیگر، کاهش در طیف فرکانس میانه در طی خستگی، نشان‌دهنده تفاوت در نیمرخ متابولیسم تارهای عضله انفرادی می‌باشد.

نتایج مطالعه حاضر، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار مقادیر MPF عضله پهن خارجی گروه مکمل با گروه دارونما بود؛ به طوری که سطح آن در گروه مصرف‌کننده منیزیم بالاتر بود. در مطالعه خاتم‌ساز و همکاران، همسو با نتایج Janet و Thomas، طیف فرکانس میانه (MPF) در انقباض ایزومتریک پویا در پی خستگی کاهش یافت که این امر در کنار تغییرات میزان فعالیت،

در مطالعه حاضر، مصرف مکمل منیزیم سولفات موجب کاهش معنی‌دار غلظت لاکتات سرم در گروه مکمل نسبت به گروه دارونما در پی اجرای آزمون وینگیت شد. همچنین میانگین توان بی‌هوای گروه مکمل به دنبال مکمل‌گیری افزایش یافت. برخلاف یافته‌های تحقیق حاضر، در یک مطالعه محققان دریافتند مکمل‌گیری منیزیم هیچ تأثیری بر عملکرد (قدرت، اسیدلاکتیک و بی‌هوای و هوای) ندارد (۱۳)؛ درحالی‌که Brilla و Haley نشان دادند مکمل‌گیری منیزیم در پی تمرینات قدرتی، دارای اثرات مثبتی است. برخی از مطالعات نیز نشان داده‌اند مصرف مکمل منیزیم تأثیر مثبتی بر توان ورزشی و یا عملکرد ورزشی دارد (۲۰). Santos و همکاران با بررسی مصرف منیزیم و ارتباط آن با عملکرد قدرتی در بسکتبال، هندبال و والیبالیست‌های حرفه‌ای، نشان دادند بین مصرف منیزیم و شاخص عملکردی عضلات مختلف در ورزشکاران، ارتباط مستقیم وجود دارد. محققین توصیه کردند مصرف منیزیم می‌تواند برای فعالیت‌های ورزشکاران در رقابت‌های مهم اهمیت داشته باشد، همچنین بر نقش منیزیم برای انقباض و انبساط عضلات تأکید کرده‌اند (۲۱). Setaro و همکاران با مطالعه تأثیر مکمل‌گیری منیزیم، وضعیت منیزیم و عملکرد جسمانی والیبالیست‌ها، نشان دادند مصرف منیزیم بر پرش اسکات اثر مطلوبی داشته و موجب افزایش آن می‌شود. این یافته را می‌توان با این واقعیت که منیزیم کوفاکتور کراتین کیناز، یک آنزیم کلیدی متابولیسم بی‌هوای بوده و مسیر اصلی مورد نیاز برای ورزشکاران والیبالیست است توضیح داد؛ بنابراین تأمین بیشتر منیزیم، انرژی لازم را برای جنبش‌های کوتاه‌مدت و با شدت بالا مانند جهش عمودی فراهم می‌کند (۱۵). Cheng و همکاران با انجام آزمایش روی مدل‌های حیوانی نشان دادند مصرف منیزیم موجب کاهش سطح لاکتات سرم شده و تأثیرات مثبتی بر عملکرد در طی ورزش شدید دارد. کارایی افزایش‌یافته را می‌توان با انرژی اضافه در دسترس عضلات برای تولید کار توجیه کرد. همچنین محققین نتیجه گرفتند مکمل‌گیری منیزیم، متابولیسم بی‌هوای بی‌اسیدلاکتیک را بهبود می‌بخشد (۲). همچنین در مطالعه حاضر، کاهش مقادیر RMS در عضلات (پهن داخلی، پهن خارجی و دوقلو) در پی اجرای آزمون بی‌هوای مشاهده گردید.

مشخص شده است کاهش در طیف فرکانس توان الکترومیوگرافی به طرف فرکانس‌های پایین‌تر، احتمالاً در نتیجه انباشت فرآورده‌های متابولیکی (مثل لاکتات) که موجب کاهش چشمگیر در سرعت هدایت پتانسیل عمل می‌شود، می‌باشد. ارتباط قوی بین لاکتات تولیدی و تغییر در طیف فرکانس میانه در طول خستگی عضلانی نیز نشان داده شده است (۱۸). در مطالعه حاضر مصرف مکمل منیزیم موجب کاهش انباشت لاکتات در پی اجرای فعالیت بی‌هوای شدید کوتاه‌مدت شد (جدول شماره ۳)؛ در نتیجه شاید یکی از دلایل احتمالی افزایش MPF، تأثیر مکمل منیزیم بر پیشگیری از انباشت لاکتات در داخل عضله، همچنین عصب حرکتی عصب‌رسان به عضله بوده است. برخلاف یافته‌های تحقیق حاضر، Gayda و همکاران در مطالعه خود با عنوان "ارزیابی خستگی عضلات اسکلتی مردان مبتلا به بیماری شریان کرونر با استفاده از الکترومیوگرافی سطحی در خلال انقباض ایزومتریک چهار سر ران"، دریافتند میانگین فرکانس میانه در همه عضلات بیماران کرونری در مقایسه با آزمودنی‌های سالم کمتر است که می‌تواند به دلیل افزایش خستگی عضلانی و شاید ناهنجاری‌های کارکردی در عضلات اسکلتی باشد (۶). معمولاً تفاوت کمی بین مردان و زنان در متغیرهای EMG مشاهده شده است. بیشترین تفاوت معنی‌دار مشاهده‌شده شامل افزایش زیاد در آمپلی‌تود الکترومیوگرافی RMS برای هر سه عضله چهار سر رانی مردان در مقایسه با زنان با افزایش نیرو و بیشترین افزایش چشمگیر در MF یا MPF با نیرو برای عضله پهن جانبی مردان در مقایسه با زنان است. تفاوت بین نتایج حاضر و مطالعات دیگر می‌تواند ناشی از تغییرپذیری در ویژگی‌های تارهای انفرادی، حتی در یک عضله برای چهار سر رانی، همچنین حاصل از تأثیر محل‌های قراردادن الکتروود در عضلات روی MF یا MPF باشد (۱۹). از طرفی، Callewaert و همکاران با بررسی خستگی عضلات چهارسررانی در پسران تمرین‌کرده و بی‌تمرین دریافتند افزایش تدریجی در RMS و کاهش در MPF از این فرضیه که افراد تمرین‌کرده توسعه خستگی عضلانی آهسته‌تری نسبت به گروه تمرین‌نکرده در پاسخ به سطح عضلانی دارند، حمایت می‌کند (۹). در نهایت، دلیل اصلی افزایش MPF را می‌توان با افزایش سرعت هدایت پتانسیل عمل تارها توجیه کرد.

در عضلات چهار سر ران و دوقلو که در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت، افزایش فراخوان واحدهای حرکتی اهمیت بیشتری داشت؛ در نتیجه در عضلات مذکور، مشاهده کاهش RMS در فعالیت شدید کوتاه‌مدت بی‌هوازی قابل توجه است. از سوی دیگر، کاهش در آمپلی‌تود RMS ممکن است به وسیله کم‌شدن شیب فرکانس میانه تحت تأثیر قرار گیرد که این امر بیشتر می‌تواند به علت تغییرات در متابولیت‌های مربوط به خستگی و نوع تار عضلانی باشد (۲۴). یافته‌های تحقیق حاضر، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی مقادیر RMS در پی مصرف مکمل منیزیم بود که در مقایسه بین گروهی به سطح معنی‌دار نرسید. این یافته نشان می‌دهد مصرف مکمل منیزیم، احتمالاً چنانچه در دوزهای بیشتر یا دوره طولانی‌تر مصرف شود می‌تواند مانع از کاهش RMS به دنبال فعالیت‌های شدید کوتاه‌مدت شود که این احتمال نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد مصرف مکمل منیزیم سولفات بر اساس داده‌های شاخص الکترومیوگرافی MPF، موجب به تأخیر افتادن خستگی در عضله پهن جانبی افراد فعال در پی فعالیت کوتاه‌مدت شدید روی چرخ کارسنج می‌شود. اگرچه در عضلات پهن داخلی و دوقلو این نتیجه به دست نیامد، که این تفاوت را می‌توان به اختلافات موجود در بین عضلات از نظر رفتارهای حرکتی نسبت داد (اختلاف موجود بین عضلات در اجرای تکالیف حرکتی گوناگون، تفاوت در توزیع واحدهای حرکتی مقاوم در برابر خستگی و خسته‌شونده)، اما می‌توان چنین استنتاج کرد که در فعالیت‌های شدید کوتاه‌مدت تفاوت‌هایی حتی اندک در شاخص‌های خستگی می‌تواند ارزشمند بوده و موجب بهبود عملکرد ورزشی گردد. بنابراین، براساس نتایج مطالعه حاضر مصرف مکمل منیزیم سولفات با مقدار ۳۵۰ میلی‌گرم، برای بهبود اجرای آزمودنی‌های سالم فعال در فعالیت‌های کوتاه‌مدت شدید همچون آزمون وینگیت توصیه می‌شود.

هم‌راستا با داده‌های تحقیق حاضر، Hostens نیز در مطالعه خود با انجام یک فعالیت بدنی پویای ممتد و طولانی تا سرحد خستگی عضلانی، شاهد کاهش میزان RMS بود که برای توجیه آن از روش آنالیز هم‌زمان طیف و آمپلی‌تود (JASA) کمک گرفت و این کاهش را نشانه کاهش نیرو در عضله دانست (۲۲). با توجه به روش JASA، می‌توان نتیجه گرفت این عضلات در حین انجام کار دچار کاهش نیرو شده‌اند. از دلایل احتمالی برای کاهش RMS می‌توان به کاهش احتمالی تعداد فیبرهای عضلانی فعال طی انجام کار اشاره کرد که علت دیگر کاهش آمپلی‌تود EMG و نیرومندی فیبر عضله است؛ به‌طوری‌که در مقابل محرک خاص، عضله نیروی بیش از حد تولید می‌کند (۲۳). در مطالعه Oliveira و همکاران، پاسخ‌های تمرینی RMS در انقباض ایزومتریک برای عضله دوسر بازویی و بازویی زنده اعلائی متفاوت بود و با کاهش در دوسر بازویی و افزایش در بازویی زنده اعلائی همراه بود؛ بنابراین، تفاوت در RMS ممکن است مربوط به افزایش همزمانی واحدهای حرکتی در نتیجه یادگیری حرکتی باشد که فعالیت EMG را کاهش می‌دهد (۲۴). از سوی دیگر، ممکن است به علت سازگاری هیپرتروفیک (که موجب افزایش RMS در خلال انقباضات بیشینه می‌شود)، فعال‌شدن عصبی بیشتر شده باشد (۲۵). تفاوت در نتایج را می‌توان به عوامل مختلفی نسبت داد که یکی از آنها شدت انقباض مورد استفاده در مطالعه است؛ به‌طوری‌که در انقباضات زیربیشینه، آمپلی‌تود EMG افزایش می‌یابد؛ زیرا دستگاه عصبی حرکتی با فراخوان واحدهای جدید از افت نیرو جلوگیری می‌کند، درحالی‌که در انقباضات بیشینه نزدیک به MVC (همچون آزمون وینگیت که در مطالعه حاضر به کار گرفته شد) تقریباً تمام واحدهای حرکتی فراخوان شده و با حداکثر فرکانس خود شلیک می‌کنند؛ در نتیجه پس از مدت کوتاهی افت در آمپلی‌تود EMG، RMS و در شیب خط نیرو را می‌توان انتظار داشت. همچنین تفاوت مطالعه حاضر با نتایج Oliveira شاید به این دلیل باشد که افزایش نیرو در عضله زنده اعلائی در فعالیت‌های افزایش‌یابنده که به تدریج به MVC نزدیک می‌شود، بیشتر بر افزایش فرکانس شلیک واحدها تکیه می‌کند؛ درحالی‌که



## References:

1. Kisters K, Gröber U. Magnesium in health and disease. *Plant Soil* 2013;368(1-2):155-65.
2. Cheng SM, Yang LL, Chen SH, Hsu MH, Chen IJ, Cheng FC. Magnesium sulfate enhances exercise performance and manipulates dynamic changes in peripheral glucose utilization. *Eur J Appl Physiol* 2010;108(2):363-9.
3. Nielsen FH, Lukaski HC. Update on the relationship between magnesium and exercise. *Magnes Res* 2006;19(3):180-9.
4. Farshidfar GhR, Soltani N, Kamaran M, Keshavarz M. Effect of magnesium on prevention of diabetic vessel complication (review article). *Hormozgan Med J* 2014;17(1):83-93. [Full Text in Persian]
5. Dastmanesh S, Shojaeddin SS. Does muscular fatigue affect the functional stability of male athletes? *JRRS* 2011;6(1):11-1. [Full Text in Persian]
6. Gayda M, Merzouk A, Choquet D, Ahmaidi S. Assessment of skeletal muscle fatigue in men with coronary artery disease using surface electromyography during isometric contraction of quadriceps muscles. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86(2):210-5.
7. Lee KY, Shin KY, Kim HS, Mun JH. Estimating muscle fatigue of the biceps brachii using high to low band ratio in EMG during isotonic exercise. *Int J Precis Eng Manuf* 2009; 10(3):147-53.
8. González-Izal M, Malanda A, Gorostiaga E, Izquierdo M. Electromyographic models to assess muscle fatigue. *J Electromyogr Kinesiol* 2012;22(4):501-12.
9. Callewaert M, Boone J, Celie B, De Clercq D, Bourgois J. Quadriceps muscle fatigue in trained and untrained boys. *Int J Sports Med* 2013;34(1):14-20.
10. Tarata MT. Mechanomyography versus electromyography, in monitoring the muscular fatigue. *Biomed Eng Online* 2003 11;2:3.
11. Ravasi A, Kazemi F, Hanachi P, Jangi Oskuee S. The effects of dietary supplementation with zinc, magnesium and zinc plus magnesium on muscle strenght in active women. *Iranian J Nutr Sci & Food Technol* 2012;6(4):45-50. [Full Text in Persian]
12. Cinar V, Mogulkoc R, Baltaci AK, Polat Y. Adrenocorticotrophic hormone and cortisol levels in athletes and sedentary subjects at rest and exhaustion: Effects of magnesium supplementation. *Biol Trace Elem Res* 2008;121(3):215-20.
13. Newhouse IJ, Finstad EW. The effects of magnesium supplementation on exercise performance. *Clin J Sport Med* 2000;10(3):195-200.
14. Smith AE, Walter AA, Herda TJ, Ryan ED, Moon JR, Cramer JT. Effects of creatine loading on electromyographic fatigue threshold during cycle ergometry in college-aged women. *J Int Soc Sports Nutr* 2007;4:20.
15. Setaro L, Santos-Silva PR, Nakano EY, Sales CH, Nunes N, Greve JM, et al. Magnesium status and the physical performance of volleyball players: Effects of magnesium supplementation. *J Sports Sci* 2014;32(5):438-45.
16. Golf SW, Happel O, Graef V, Seim KE. Plasma aldosterone, cortisol and electrolyte concentrations in physical exercise after magnesium supplementation. *J Clin Chem Clin Biochem* 1984;22(11):717-21.
17. Khatamsaz S, Moosavi M, Talebian S. Neurophysiological changes following muscle fatigue in healthy subjects and patients with anterior knee pain syndrome. *J Modern Rehabil* 2013,6(1)3-2. [Full Text in Persian]
18. Yoshitake Yue H, Miyazaki M, Moritani T. Assessment of lower-back muscle fatigue using electromyography, mechanomyography, and near-infrared spectroscopy. *Eur J Appl Physiol* 2001;84(3):174-9.

19. Bilodeau M, Schindler-Ivens S, Williams DM, Chandran R, Sharma SS. EMG frequency content changes with increasing force and during fatigue in the quadriceps femoris muscle of men and women. *J Electromyogr Kinesiol* 2003;13(1):83-92.
20. Brilla, LR, Haley TF. Effect of magnesium supplementation on strength training in humans. *J Am Coll Nutr* 1992;11(3):326-9.
21. Santos DA, Matias CN, Monteiro CP, Silva AM, Rocha PM, Minderico CS, et al. Magnesium intake is associated with strength performance in elite basketball, handball and volleyball players. *Magnes Res* 2011;24(4):215-9.
22. Hostens I, Ramon H. Assessment of muscle fatigue in low level monotonous task performance during car driving. *J Electromyogr Kinesiol* 2005;15(3):266-74.
23. Abaei M, Olyaei GH, Talebian S, Ghotbi N. The Changes of median frequency and power of neck extensor muscles following dynamic fatigue in healthy men. *J Modern Rehabil* 2010;3(3):35-40. [Full Text in Persian]
24. Oliveira ADSC, Gonçalves M. EMG amplitude and frequency parameters of muscular activity: Effect of resistance training based on electromyographic fatigue threshold. *J Electromyogr Kinesiol* 2009;19(2):295-303.
25. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(4):674-88.