

## The effect of 4-week fish oil supplementation on peripheral fatigue and recovery induced by incremental exhaustive activity in young healthy men

Roya Zekri Kondelji <sup>1\*</sup>, Vahid Sari Sarraf <sup>1</sup>, Maryam Nourshahi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Physical Education and Sports Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup> Faculty of Sports and Health Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

### Original Article

#### Abstract

**Purpose:** Increasing cytokines is one of the body responses to exercise. The effect of inflammation on chronic fatigue syndrome is obvious but its effect on exercise induced fatigue and recovery is unknown. Therefore, this study was performed in order to investigate the effects of 4-weeks of fish oil supplementation on peripheral fatigue induced by incremental exhausting exercise.

**Methods:** For this purpose, 20 healthy men were selected and assigned in fish oil (FO) and corn oil (CO) groups and consumed six gr/day of supplements. Before and after supplementation, peak to peak M-wave amplitudes and maximal voluntary contraction (MVC) of their tibialis anterior muscle were evaluated before, immediately after exercise and also, after 20-min recovery.

**Results:** : The results of two-way analysis of the differences of M-wave results didn't show significant differences between groups while significant differences observed in MVC of participants in response to supplementation and after exercise and recovery ( $P < 0.05$ ). In addition, we observed lower perceived exertion after exercise and supplementation only in FO group ( $P < 0.05$ ).

**Conclusion:** These results showed that FO can improve muscular performance but this improvement is not due to the improvement in neuromuscular propagation (M-wave), while it can be as a cause of reduce in central fatigue or muscle contractile properties. However, complete understanding of the exact role of inflammation and FO on neuromuscular function still need more investigations.

**Keywords:** Peripheral fatigue, Exhaustive exercise, Maximal voluntary contraction, M-wave, Fish oil, Omega-3

How to cite this article: Zekri Kondelji R, Sari Sarraf V, Nourshahi M. The effect of 4-week fish oil supplementation on peripheral fatigue and recovery induced by incremental exhaustive activity in young healthy men. Journal of Sport and Exercise Physiology 2021;14(2): 11-20

\*Corresponding Author; E-mail: royazekry@yahoo.com

DOI: 10.52547/joeppa.14.2.11

## تأثیر چهار هفته مکمل دهی روغن ماهی بر خستگی محیطی و بازیافت حین فعالیت وامانده‌ساز در مردان جوان سالم

رویا ذکری کندلجی<sup>۱\*</sup>، وحید ساری صراف<sup>۱</sup>، مریم نورشاهی<sup>۲</sup>

۱ دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲ دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

### مقاله پژوهشی

#### چکیده

**هدف:** التهاب یکی از پاسخ‌هایی است که پس از فعالیت‌های ورزشی مشاهده شده است. تأثیر التهاب بر خستگی مزمن بیماران روشن است، اما نقش آنان در خستگی ناشی از ورزش و بازیافت مشخص نشده است. پژوهش حاضر با هدف تعیین تأثیر ۴ هفته مکمل دهی روغن ماهی بر خستگی محیطی و بازیافت آن پس از فعالیت وامانده‌ساز در مردان جوان سالم طراحی شد.

**روش‌ها:** بدین منظور ۲۰ مرد سالم ۲۰-۳۰ ساله به صورت نمونه در دسترس در دو گروه تجربی (روغن ماهی) و کنترل (روغن ذرت) قرار گرفتند و به مدت ۴ هفته روزانه ۶ گرم مکمل دریافت کردند. پیش و پس از دوره مکمل دهی، خستگی محیطی و انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی قبل، بلافاصله بعد و پس از ۲۰ دقیقه بازیافت در پاسخ به آزمون وامانده‌ساز بروس تعدیل شده با مدت زمان یکسان اندازه‌گیری شد. خستگی محیطی با استفاده از روش M-wave و سنجش قدرت انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی اندازه‌گیری شد.

**نتایج:** نتایج آزمون تحلیل دوطرفه واریانس حاکی از تفاوت معنادار در تغییرات قدرت انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی دو گروه پس از تمرین و پس از ۲۰ دقیقه بازیافت پس از ۴ هفته مکمل دهی، است ( $P=0/046$ ). این در حالی است که تفاوت معناداری در مقادیر موج ام و تغییرات آن پس از فعالیت مشاهده نشد ( $P>0/05$ ). همچنین تفاوت معناداری در میزان درک فشار پس از فعالیت بین دو گروه مشاهده شد ( $P<0/05$ ).

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد مصرف روغن ماهی به عنوان کاهنده التهاب، موجب کاهش خستگی و بهبود بازیافت پس از فعالیت وامانده‌ساز می‌شود، اما در خستگی محیطی، این اتفاق در انتشار عصبی-عضلانی نبوده است، بنابراین سازوکار عضلانی یا مرکزی مسئول این بهبود است.

**واژه‌های کلیدی:** امگا ۳، انقباض ارادی بیشینه، خستگی محیطی، روغن ماهی، فعالیت وامانده‌ساز، موج M.

\* نویسنده مسئول: رایانامه: royazekry@yahoo.com

## مقدمه

خستگی به معنای عدم حفظ برون‌ده توانی مورد نیاز در حین یک فعالیت است که به کاهش عملکرد در آن فعالیت بدنی منجر می‌شود (۱). اما این خستگی را حین فعالیت ورزشی می‌توان به صورت کاهش در قابلیت تولید نیرو یا توان صرف‌نظر از اینکه فعالیت را می‌توان اجرا کرد یا خیر، تعریف کرد (۲). در مورد دلایل ایجاد خستگی فرضیه‌های متعدد و پژوهش‌ها بی‌شماری وجود دارد. با توجه به نوع فعالیت بسیاری از پژوهش‌ها، عوامل محیطی و متابولیت‌های تجمع‌یافته در عضله، تخلیه منابع انرژی عضله و از این دست عوامل را عوامل ایجاد خستگی دانسته‌اند که سبب ایجاد اختلالاتی در انتقال عصبی-عضلانی، تحریک‌پذیری سارکولما و چرخه تحریک انقباض بدون دخالت دستگاه عصبی مرکزی (CNS) می‌شوند؛ این عوامل را خستگی محیطی می‌نامند (۳). اما فرضیه خستگی مرکزی بیان می‌کند که در حین تمرینات طولانی مدت سنتز و سوخت‌وساز مونوآمین‌های مرکزی به‌ویژه دوپامین، سروتونین و نورآدرنالین تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این موضوع که در ابتدا توسط نیوشلم<sup>۱</sup> و همکاران (۴) بیان شد، حاکی از آن بود که در حین انقباض‌های طولانی مدت تغییری که در فعالیت سروتونرژیک مغز اتفاق می‌افتد، می‌تواند سبب کاهش قدرت تحریک مرکزی و ایجاد خستگی شود، بنابراین این عامل را خستگی مرکزی می‌خوانند. برای اندازه‌گیری هر کدام از انواع خستگی روش‌های مختلف اندازه‌گیری عوامل خونی یا ارزیابی به‌وسیله دستگاه وجود دارد. به‌طور مثال برای ارزیابی خستگی محیطی از ارزیابی اسید لاکتیک و همچنین موج M برای سنجش تحریک‌پذیری سارکولم و برای سنجش خستگی مرکزی از سنجش غیرمستقیم سروتونین یا ارزیابی فعال‌سازی ارادی استفاده می‌شود. اما در این میان یکی دیگر از شاخص‌های اندازه‌گیری انقباض ارادی بیشینه است که می‌تواند نشان‌دهنده برون‌ده نیروی عضله باشد که می‌تواند نشانگری از هر دو نوع خستگی مرکزی و محیطی باشد.

افراد عادی جامعه در حدود ۲۰ درصد از خستگی شکایت دارند (۵). اما در افراد بیمار، تقریباً یک‌سوم شکایت‌های آنان در تمرینات پزشکی آنان مربوط به خستگی است (۶). در برخی موارد پزشکی که با برهم خوردن تنظیم دستگاه ایمنی همراهند، مانند

سرطان، التهاب مزمن، بیماری‌های خودایمن و اختلالات عصبی، بروز خستگی به بیش از ۵۰ درصد افزایش می‌یابد (۷). این نوع خستگی در بیماران بسیار شایع بوده و جزء اولین علائم غیراختصاصی بیماری است و حتی می‌تواند تا مدت‌ها پس از رفع مشکلات پزشکی باقی بماند (۸). شواهد مربوط به ایجاد رابطه میان التهاب و خستگی، ناشی از مطالعاتی است که از تحریک‌کننده‌های سیتوکین مانند لیپوپولی ساکارید در شرایط تجربی یا سیتوکین‌هایی همچون IFN- $\alpha$  برای درمان عفونت حاصل از هپاتیت C، سرطان کلیه یا تومورهای بدخیم استفاده شده است (۸). در ۸۰ درصد از این بیماران خستگی متوسط تا شدیدی در هفته اول درمان اتفاق افتاده است (۹). در پژوهش دیگری درمان با آنتاگونیست TNF- $\alpha$  به‌طور معناداری خستگی را در بیماران آرتریت روماتوئید یا پسوریازیس کاهش داد (۱۰). فعالیت التهابی و ترشح سیتوکین‌های التهابی و ضدالتهابی در حین فعالیت ورزشی افزایش می‌یابد (۱۱). تاکنون پژوهش‌های بسیاری به این مطلب اشاره داشته‌اند، ضمن آنکه میزان این افزایش را با شدت و مدت تمرین متناسب دانسته‌اند. فیشر<sup>۲</sup> (۲۰۰۶) بیان کرد که مدت ورزش مهم‌ترین عامل در افزایش IL-6 پس از فعالیت بدنی است (۱۲). افزون بر این بیان شده است که حین فعالیت استقامتی ایجاد بحران انرژی و تخلیه گلیکوژن می‌تواند موجب رهایش سیتوکین‌ها (یا مایوکاین‌ها) از عضله شود (۱۳). بنابراین به نظر می‌رسد که بتوان با مهار یا کاهش رهایش این عوامل التهابی حین فعالیت سطوح خستگی را کاهش داد.

برای کاهش خستگی در بیماران از داروهای مختلفی استفاده می‌شود، اما به‌غیر از داروهای شیمیایی مورد استفاده برای مهار خستگی، یکی از مواد خوراکی مورد استفاده دیگر برای مهار دستگاه ایمنی در شرایط مختلف، اسیدهای چرب است. اسیدهای چرب می‌توانند از طرق مختلفی بر التهاب تأثیر بگذارند که برای نمونه به‌واسطه سطح سلول و گیرنده‌های درون سلولی که پیام‌های التهابی سلول و الگوهای بیان ژنی را کنترل می‌کنند، این کار را انجام می‌دهند. به نظر می‌رسد که بخشی از تأثیر اسیدهای چرب به‌واسطه تأثیر آن‌ها بر ترکیب اسیدهای چرب غشای سلول‌هاست. سلول‌های دخیل در پاسخ‌های ایمنی اغلب غنی از اسید چرب آراشیدونیک n-6 هستند، اما محتوای اسید چرب غشای آنان شامل

سلول‌ها روزها تا هفته‌ها زمان می‌برد (۱۷، ۱۸) و رسیدن به سطح یکنواخت جدید حدود چهار هفته به طول می‌انجامد (۱۹). همچنین گزارش شده است که مقدار مصرفی مؤثر برای ایجاد تغییر در سطح سیتوکین‌های التهابی به مقدار مجموع بیشتر از ۲ گرم EPA+DHA است که با توجه به مقدار این اسیدهای چرب در هر کپسول روغن ماهی (در حدود ۳۰ درصد از وزن کپسول) (۱۹)، به نظر می‌رسد که مقدار مصرفی ۶ گرم بتواند مقدار کافی برای ایجاد تغییرات باشد. در خصوص شیوه اصلی اندازه‌گیری خستگی‌های مرکزی و محیطی، این کار اغلب با استفاده از روش تحریک الکتریکی یا مغناطیسی از مغز برای سنجش خستگی مرکزی و از عضله برای سنجش خستگی محیطی انجام می‌گیرد و با این روش مقدار نیروی تولیدشده با انقباض ارادی بیشینه عضلانی با انقباض حاصل از تحریک ایجاد شده انجام می‌شود که در این روش‌ها تغییرات در قابلیت تحریکی قشر مغز، دستگاه عصبی مرکزی و قابلیت انقباضی عضله به تفکیک ارزیابی می‌شوند. اما یکی دیگر از بخش‌های مرتبط با خستگی محیطی مربوط به انتقال عصبی عضلانی و قابلیت تحریک‌پذیری سارکولماست که اندازه‌گیری آن با استفاده از موج M و سنجش تغییرات ایجاد شده در آن است. بنابراین پژوهش حاضر با عنوان «تأثیر چهار هفته مکمل‌دهی روغن ماهی بر خستگی محیطی و بازیافت پس از فعالیت و امانده‌ساز در مردان جوان سالم» طراحی و اجرا شد.

### روش پژوهش

**نمونه‌های پژوهش:** پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی است که به صورت میدانی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با جلسات مکرر انجام گرفته است. برای این منظور ۲۰ مرد جوان سالم به صورت نمونه در دسترس در دو گروه تجربی (روغن ماهی ۱۰ نفر) و کنترل (روغن ذرت ۱۰ نفر) قرار گرفتند. علت انتخاب روغن ذرت برای گروه کنترل نیز با توجه به پژوهش‌های گذشته بود که در مجموع به نظر می‌رسد روغن ذرت بهترین گزینه برای استفاده توسط گروه کنترل است (۲۰). پیش از شروع فرایند پژوهش، کل فرایند به آزمودنی‌ها توضیح داده شد و همه آزمودنی‌ها برگه رضایت از شرکت در پژوهش را امضا کردند و در کل فرایند پژوهش، برای خروج از فرایند پژوهش آزاد بودند. همچنین آزمودنی‌ها پرسشنامه

اسید آراشیدونیک، ایکوزاپنتانویک اسید<sup>۳</sup> (EPA) و دوکوزاهگزا نوئیک اسید<sup>۴</sup> (DHA) آنان به واسطه مصرف خوراکی آنان تغییرپذیر است. مصرف اسیدهای چرب اشباع نشده (PUFAs)<sup>۵</sup>، ایکوزاپنتانویک اسید<sup>۶</sup> (EPA) و دوکوزاهگزا نوئیک اسید<sup>۷</sup> (DHA) که هر دو این اسید چرب‌ها در روغن ماهی یافت می‌شود، نقش اصلی در تنظیم نشانگرهای التهابی دارند. اسیدهای چرب غیراشباع ماهی ۳-n (marine n-3 PUFAs)، از ایجاد اسید آراشیدونیک مشتق شده از پروستاگلاندین و لکوترین‌ها جلوگیری می‌کند و مسئول تنظیم ترشح سیتوکین‌های التهابی است. از طرفی اسیدهای چرب غیراشباع ماهی ۳-n (marine n-3 PUFAs) به عنوان لیگاند<sup>۸</sup> PPARa عمل کرده و با اصلاح و تعدیل سیالیت غشا و مسیرهای پیام‌رسانی بین‌سلولی، فرایندهای التهابی را تعدیل می‌کند (۲۶، ۲۷). تغییر در ترکیب غشایی این سلول‌های التهابی انسان می‌تواند عملکرد آنان را تغییر دهد. بنابراین، تأثیر ضدالتهابی اسیدهای چرب غیراشباع آبزبان<sup>۹</sup> می‌تواند تأثیرات درمانی برای بیماران آرتریت روماتوئید باشد، اما مقدار درمانی آنان هنوز مشخص نشده است. در مورد نحوه تأثیرگذاری روغن ماهی بر عملکرد ورزشی تاکنون پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته که بخش اعظم آن‌ها در زمینه تأثیر مصرف روغن ماهی بر سطح سیتوکین‌های التهابی پس از فعالیت بوده است. در بیشتر این پژوهش‌ها، نتایج حاکی از کاهش سطح سیتوکین‌ها به ویژه TNF- $\alpha$  و IL-6 بوده است (۱۴-۱۶) و در مورد نقش آنان بر عملکرد ورزشی، نتایج بسیار کم است و در اندک پژوهش‌های موجود که به افزایش انقباض ارادی بیشینه پس از خستگی اشاره کرده‌اند نیز سازوکار آن ارائه نشده است. در تحقیقی پیبیگاس<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر مقادیر مختلف روغن ماهی (۶ و ۳ گرم) و مولتی‌ویتامین را به مدت ۱۶ هفته بر فشار اکسایشی و التهاب بررسی و گزارش کردند که مصرف ۶ گرم روغن ماهی و مولتی‌ویتامین در مقایسه با ۳ گرم روغن ماهی اثر ضد اکسایشی قوی‌تر دارد. همچنین مشاهده شد که هیچ‌کدام از مقادیر مصرفی سیر تأثیری بر التهاب نداشتند (۲۷). در حالی که دلفان<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند مصرف ۶ گرم روغن ماهی سبب کاهش معنادار سیتوکین‌های التهابی مانند TNF- $\alpha$  می‌شود (۲۲). افزون بر این پژوهش‌ها گزارش شده است که اصلاح ترکیب اسید چرب غشایی این

وعده ۲ گرم) و همراه با وعده‌های غذایی استفاده شد. آزمودنی‌های گروه کنترل در طول چهار هفته روغن ماهی و آزمودنی‌های گروه کنترل روغن ذرت را در طول چهار هفته مصرف کردند. پیش از این در پژوهش‌های مختلف از مواد مختلفی به‌عنوان دارونما استفاده شده است. برخی پژوهش‌ها از هیچ ماده‌ای استفاده نکرده و برخی دیگر از دارونما یا روغن زیتون استفاده کرده‌اند. اما با توجه به عوامل مختلف و نتایج پژوهش‌های کرامرو همکاران (۲۰۰۰) که حاکی از عدم تأثیرگذاری روغن ذرت با مقادیر مصرفی است، به‌نظر می‌رسد که بهترین گزینه برای این منظور روغن ذرت است. دو روز پس از پایان دوره مکمل‌دهی آزمودنی‌ها در آزمایشگاه حاضر شدند و در روز آزمون همه آن‌ها در وضعیت ناشتا قرار داشتند و از آن‌ها خواسته شده بود تا ۴۸ ساعت پیش از آزمون از هرگونه فعالیت شدید بدنی بپرهیزند.

غذایی را به مدت ۳ روز در هفته برای اطمینان از مصرف عادی آزیان در رژیم غذایی خود پر کردند. آزمودنی‌هایی که دارای سابقه بیماری مزمن التهابی، مصرف دارو و مشکلات عصبی بودند، از فرایند پژوهش خارج شدند. افرادی که در روز آزمون دچار هرگونه کسالتی بودند نیز از جمع آزمودنی‌ها خارج شدند. همچنین به همه آزمودنی‌ها یادآوری شد که ۴۸ ساعت پیش از پیش‌آزمون و پس از آزمون هیچ‌گونه فعالیت شدید نداشته باشند. با توجه به آنکه در پژوهش‌های گذشته مقدار مؤثر مکمل اسیدهای چرب غیراشباع n3 (n3-PUFAs) برای اثرگذاری بر سطح التهاب در حدود ۲ میلی‌گرم در روز و برای مدت زمان ۴ هفته گزارش شده است (۱۹) و همچنین مقدار روغن موجود در هر کپسول که معادل ۳۰ درصد از وزن هر کپسول در نظر گرفته شده است، مقدار ۶ گرم روغن ماهی در روز برای آزمودنی‌ها در نظر گرفته شد. این مقدار ۳ بار در روز (هر

جدول ۱. میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد ویژگی‌های جسمانی آزمودنی‌های حاضر در پژوهش

گروه	تعداد آزمودنی‌ها	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	درصد چربی (%)
مجموع	n=۲۰	۲۶/۹۰ $\pm$ ۲/۶۴	۱۷۵/۸۰ $\pm$ ۴/۸۹	۷۸/۳۳ $\pm$ ۱۰/۴۲	۱۸/۴۰ $\pm$ ۵/۴۶
کنترل	n=۱۰	۲۶/۱۶ $\pm$ ۲/۴۰	۱۶۹/۹۵ $\pm$ ۳/۰۶	۷۴/۱۶ $\pm$ ۹/۴۹	۱۶/۳۳ $\pm$ ۵/۵۰
تجربی	n=۱۰	۲۸/۰۰ $\pm$ ۲/۹۴	۱۷۹/۷۵ $\pm$ ۴/۶۴	۸۴/۵۷ $\pm$ ۹/۴۵	۲۱/۵۰ $\pm$ ۴/۲۰

شد، به‌نحوی که به‌تدریج میزان تحریک افزایش یافت تا جایی که در پتانسیل عمل ایجاد شده تغییری ایجاد نمی‌شد. سپس میزان تحریک ۲۰ درصد بیشتر از آن قرار داده شد (۲۱). مقادیر گزارش شده برای موج M به‌صورت پایه تا اوج<sup>۱۶</sup> است. تحریک الکتریکی و اندازه‌گیری موج M به‌وسیله دستگاه تشخیص الکتریکی توانیس<sup>۱۷</sup> ساخت آلمان انجام پذیرفت.

نحوه اندازه‌گیری انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی: اندازه‌گیری قدرت ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی<sup>۱۸</sup> حین انقباض دورسی فلکشن<sup>۱۹</sup> مچ پا پیش و پس از آزمون و امانده‌ساز و روی پای راست آزمودنی‌ها انجام پذیرفت که برای این کار از دینامومتر شرکت دانش‌سالار ایرانیان ساخت ایران استفاده شد. نحوه اندازه‌گیری بدین ترتیب بود که ابتدا آزمودنی روی نیمکتی قرار می‌گرفت و ارتفاع دسته دینامومتر با توجه به ارتفاع پای افراد تنظیم می‌شد، سپس درحالی‌که پای فرد در حالت عادی<sup>۲۰</sup> قرار داشت، دسته دینامومتر

**روش اجرای پژوهش:** نحوه انجام برنامه امانده‌ساز: برای ایجاد و اماندگی در آزمودنی‌ها از برنامه امانده‌ساز بروس تعدیل شده روی دستگاه کارسنج نوار گردان استفاده شد. نحوه ارزیابی و اماندگی آزمودنی‌ها نیز به‌صورت اعلام و اماندگی توسط خود آزمودنی بود. نحوه انجام برنامه به‌صورت زیر بود. در انتهای برنامه نیز، میزان درک فشار<sup>۱۳</sup> آزمودنی‌ها با استفاده از مقیاس بورگ<sup>۱۴</sup> سنجیده شد.

نحوه ارزیابی خستگی محیطی: در پژوهش حاضر برای ارزیابی خستگی محیطی از موج M استفاده شد. اندازه‌گیری خستگی محیطی روی عضله ساقی قدامی انجام شد و برای این کار ابتدا الکترودهای سطحی روی سطح عضله ساقی قدامی قرار گرفت و محل این الکترودها علامت‌گذاری شد تا پس از فعالیت نیز مجدداً از همین نقاط استفاده شود. برای تحریک نیز ابتدا محل عصب پروئال<sup>۱۵</sup> مربوط به عضله ساقی قدامی تعیین و سپس عضله به‌صورت فوق‌بیشینه تحریک

که برای قرارگیری راحت تر روی پا با دسته دایره شکل پارچه ای جایگزین شده بود، روی پنجه پای فرد قرار می گرفت و درحالی که میج و زانوی فرد در حالت ثابت نگه داشته می شدند، از آزمودنی خواسته شد تا سه مرتبه بیشترین میزان نیرو را اعمال کند، ضمن آنکه در حین اعمال نیرو آزمودنی ها از بازخورد دیداری<sup>۲۱</sup> و تشویق کلامی<sup>۲۲</sup> بهره مند می شدند تا بتوانند بیشترین میزان نیرو را اعمال کنند. اندازه گیری قدرت بیشینه به تعداد سه مرتبه انجام پذیرفت و بیشترین رکورد هر آزمودنی ثبت شد.

**تحلیل آماری:** برای بررسی وضعیت هنجار توزیع داده ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۲۳</sup> استفاده شد و با توجه به طبیعی بودن توزیع داده ها از آزمون آنوای مکرر با عامل بین گروهی<sup>۲۴</sup> برای تعیین تفاوت های میان پیش آزمون، پس آزمون و بازیافت استفاده شد. سطح معناداری  $P < 0/05$  در نظر گرفته شد.

**نتایج**

نتایج بررسی چگونگی توزیع متغیرهای پژوهش

جدول ۲. میانگین  $\pm$  انحراف معیار متغیرهای انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی، اوج تا اوج موج-M، میزان درک فشار و زمان رسیدن به واماندگی مردان سالم مکمل دهی روغن ماهی و روغن ذرت (\*\*: تفاوت معنادار میان دو گروه)

با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در دو گروه حاکی از توزیع طبیعی آنان بود ( $P < 0/05$ ). نتایج حاصل از آزمون تی مستقل مقادیر پایه موج M و انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی حاکی از آن بود که پیش از مکمل دهی تفاوت معناداری میان دو گروه در هیچ کدام از دو گروه وجود نداشت ( $P > 0/05$ )، اما پس از مکمل دهی تفاوت معناداری میان مقادیر پایه انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی گروه تجربی مشاهده شد ( $P < 0/01$ ). این در حالی بود که تفاوت معناداری میان مقادیر پایه موج M مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). از سوی دیگر، نتایج آزمون تحلیل دوطرفه واریانس ها نشان داد که تغییرات در پس آزمون و بازیافت انقباض ارادی بیشینه میان دو گروه متفاوت بوده است ( $P < 0/05$ )، اما تفاوت معناداری در مقادیر اوج تا اوج موج-M وجود نداشت ( $P > 0/05$ ). همچنین کاهش معناداری در میزان درک فشار در پایان آزمون و وامانده ساز تنها در گروه روغن ماهی مشاهده شد. شاخص های آماری توصیفی متغیرهای پژوهش در جدول ۲ موجود است.

جدول ۲. میانگین  $\pm$  انحراف معیار متغیرهای انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی، اوج تا اوج موج-M، میزان درک فشار و زمان رسیدن به واماندگی مردان سالم مکمل دهی روغن ماهی و روغن ذرت (\*\*: تفاوت معنادار میان دو گروه)

زمان اندازه گیری	گروه	اوج تا اوج موج-M (میلی ولت)	انقباض ارادی بیشینه (نیوتن)	درصد تغییرات در انقباض ارادی بیشینه	میزان درک فشار در زمان رسیدن به واماندگی (دقیقه)	زمان رسیدن تا واماندگی
پیش آزمون قبل از مکمل دهی	روغن ذرت	۱۱/۱۰±۱/۵۱	۳۰۶/۲۵±۵۸/۱۱	-	-	-
پس آزمون قبل از مکمل دهی	روغن ماهی	۱۴/۷۸±۳/۱۲	۲۹۱/۰۶±۳۶/۰۶	-	-	-
پیش آزمون بعد از مکمل دهی	روغن ذرت	۱۰/۴۶±۲/۹۰	۲۷۳/۶۱±۴۹/۰۹	٪۱۰/۷↓	۱۸/۰۰±۱/۱۵	۲۲/۵۷±۲/۵۷
پس آزمون بعد از مکمل دهی	روغن ماهی	۱۴/۴۶±۲/۶۱	۲۵۲/۲۵±۴۰/۰۸	٪۱۳/۴↓	۱۷/۸۸±۱/۴۵	۲۳/۳۸±۳/۰۵
بازیافت قبل از مکمل دهی	روغن ذرت	۱۲/۴۸±۴/۰۸	۲۷۹/۹۸±۴۱/۴۵	٪۱/۴↑	-	-
پس آزمون بعد از مکمل دهی	روغن ماهی	۱۳/۳۳±۲/۴۹	۲۶۲/۸۳±۵۴/۷۸	٪۳/۹↑	-	-
پیش آزمون بعد از مکمل دهی	روغن ذرت	۱۴/۴۸±۳/۶۲	۳۲۱/۱۷±۲۴/۰۵	-	-	-
پس آزمون بعد از مکمل دهی	روغن ماهی	۱۳/۰۷±۱/۶۵	۳۴۸/۵۸±۳۰/۲۸	-	-	-
بازیافت قبل از مکمل دهی	روغن ذرت	۱۴/۱۵±۳/۴۶	۳۲۳/۷۹±۶۸/۰۱	٪۵/۸↓	۱۸/۰۰±۱/۰۰	۲۲/۵۷±۲/۵۷
پس آزمون بعد از مکمل دهی	روغن ماهی	۱۳/۴۷±۲/۴۱	۳۵۵/۳۴±۶۸/۰۱	٪۲/۰↑	۱۵/۶۶±۱/۵۸**	۲۳/۳۸±۳/۰۵
بازیافت بعد از مکمل دهی	روغن ذرت	۱۳/۸۷±۳/۶۵	۳۱۰/۶۶±۵۳/۲۱	٪۴/۰↓	-	-
پس آزمون بعد از مکمل دهی	روغن ماهی	۱۳/۳۸±۲/۳۵	۳۵۸/۰۹±۳۵/۷۷**	٪۲/۲↑	-	-



**بحث و نتیجه‌گیری**

در نیروی عضلانی اتفاق افتاده است، بنابراین این تغییر می‌تواند در درون عضله و در سازوکارهای انقباضی عضله باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هرچند تفاوت معناداری میان مقادیر پایه انقباض ارادی بیشینه دو گروه پیش از مکمل دهی مشاهده نشد، افزایشی ۱۹/۵۸ درصدی در مقادیر پایه انقباض ارادی بیشینه گروه تجربی مشاهده شد که این تغییر می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات چشمگیری باشد. در پژوهش حاضر با توجه به نتایج پژوهش‌های گذشته از مقدار مناسبی از روغن ماهی استفاده شد که این مقدار می‌تواند با توجه به نتایج پژوهش‌های گذشته به کاهش در پاسخ ایمنی به فعالیت و امانده‌ساز منجر شود که احتمالاً همین عامل موجب تفاوت معنادار میان تغییرات نیرو پس از فعالیت شده است. همچنین با توجه به نتایج پژوهش‌های گذشته مانند پژوهش سانتوس و همکاران (۲۰۱۳) که حاکی از کاهش معنادار سطح التهاب پایه پس از ۲۱ روز مصرف روزانه ۸۸۵ میلی‌گرم EPA+DHA بوده است، به نظر می‌رسد که چنین کاهشی در پژوهش حاضر به بهبود عملکرد عضلانی و بهبود انقباض ارادی بیشینه در گروه روغن ماهی منجر شده است، هرچند به نظر نمی‌رسد که این بهبود ناشی از تغییر در تحریک‌پذیری سارکولما باشد. با این حال، با توجه به محدودیت‌های پژوهش حاضر در اندازه‌گیری همه این عوامل، روشن شدن بیشتر این موضوع نیازمند بررسی‌های بیشتری است.

بررسی این تغییرات در پژوهش حاضر امکان‌پذیر نبود و به نمونه‌برداری مستقیم از عضله با استفاده از روش بیوپسی یا نمونه‌گیری خونی جهت بررسی تغییرات بیوشیمیایی نیاز دارد. موضوع جالب توجه دیگر، کاهش میزان درک فشار در پاسخ به مکمل‌گیری روغن ماهی بود. عوامل مختلفی می‌توانند سبب ایجاد درک از خستگی در هر فرد پس از فعالیت شوند. از یک طرف در یک فعالیت و امانده‌ساز، تغییراتی در میزان متابولیت‌هایی مانند یون هیدروژن، فسفات غیرارگانیک، ذرات بنیان‌های آزاد و پتاسیم در داخل عضله و محیط پیرامونی عضله رخ می‌دهد که توسط آوران‌های III و IV به مغز ارسال می‌شود و از طرف دیگر، ممکن است ناشی از ایجاد خستگی مرکزی باشد که عامل اصلی آن تجمع سروتونین در مغز بیان شده است (۲۲، ۳). مسیر تجمع سروتونین در مغز بدین صورت

نتایج پژوهش حاضر حاکی از تفاوت معنادار در تغییرات مقادیر انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی میان مقادیر پیش‌آزمون، پس‌آزمون و بازیافت قبل و بعد از دوره مکمل‌دهی میان دو گروه بود. این تغییرات به شکل افزایش ۱۹/۵۸ درصدی در سطوح پایه انقباض ارادی بیشینه آزمودنی‌های گروه تجربی به همراه کاهش در میزان کاهش نیروی پس از فعالیت در این گروه بود. همچنین تفاوت معناداری در تغییرات انقباض ارادی بیشینه عضله ساقی قدامی میان دو گروه پس از فعالیت و بازیافت مشاهده شد. عمده این تفاوت را می‌توان ناشی از بهبود ۱۵/۴ درصدی در تغییرات نیروی تولیدی عضله مورد ارزیابی در گروه روغن ماهی پس از فعالیت دانست. تغییرات ایجاد شده در مقادیر نیروی تولیدی، می‌تواند نشان‌دهنده تغییر در محل‌های مختلفی از مسیر قشر حرکتی مغز تا عضله باشد. براساس تعاریف موجود در خصوص خستگی، فرایند خستگی یا کاهش در عملکرد که به طور مثال با کاهش در نیروی تولیدی در عضله ساقی قدامی پس از آزمون و امانده‌ساز در پژوهش حاضر مشاهده شد، می‌تواند در محل‌های مختلفی از قشر مغز تا عضله اتفاق بیفتد که اگر این مشکل در اعصاب محیطی و پس از آن تا عضله به وقوع بپیوندد، به آن خستگی محیطی گفته می‌شود و اگر در دستگاه عصبی مرکزی رخ دهد، خستگی مرکزی خوانده می‌شود (۲۲). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با وجود بهبود در عملکرد عضلانی پس از مصرف مکمل روغن ماهی، با این حال تغییر معناداری در مقادیر اوج تا اوج موج-M اتفاق نیفتاده است که در ادامه دلایل احتمالی این نتایج بررسی خواهد شد. بررسی موج-M روشی است که با ارسال موج الکتریکی در محل عصب محیطی یک عضله مشخص و بررسی میزان دریافت آن در بطن عضله به بررسی میزان هدایت‌پذیری غشای عضلانی و همچنین اتصال عصبی-عضلانی می‌پردازد که نتایج حاصل از موج M حاکی از آن بود با آنکه در پیش از دوره مکمل‌دهی و در پاسخ به فعالیت و امانده‌ساز بروس تعدیل شده، کاهشی در موج M پس از فعالیت مشاهده شده بود، با این حال، در پاسخ به دریافت مکمل، تفاوت معناداری در آن ایجاد شده بود که به معنای عدم تأثیرگذاری اسیدهای چرب امگا-۳ ماهی بر هدایت‌پذیری غشایی است. اما با توجه به آنکه تغییر

در مجموع با توجه به نتایج این پژوهش و نتایج پژوهش‌های گذشته در خصوص تأثیر بارگیری روغن ماهی بر عملکرد ورزشی، به نظر می‌رسد که دست‌کم در خصوص فعالیت‌هایی که مدت زمانی مشابه با فعالیت حاضر دارند، روغن ماهی بتواند تأثیرات بسزایی داشته باشد. همچنین با توجه به نقش اصلی روغن ماهی برای تأثیرگذاری و مقدار مورد استفاده در این پژوهش (با توجه به نتایج پژوهش‌های پیشین بهترین مقدار مورد استفاده قرار گرفته است)، به نظر می‌رسد شاید این اثرگذاری از طریق کاهش التهاب باشد (۱۹). همچنین با توجه به آنکه در پژوهش‌های گذشته گزارش شده است که تأثیرات ضدالتهابی روغن ماهی بیشتر تعدیل‌کنندگی و نه مهارت هستند، شاید استفاده از سایر مکمل‌های مهارکننده دستگاه ایمنی بتواند نشانگر بهتری برای نقش التهاب بر خستگی ناشی از فعالیت باشد. از سوی دیگر، این پژوهش نیز همانند بسیاری از پژوهش‌های گذشته، محدودیت‌های بسیاری داشت؛ از جمله اندازه‌گیری خستگی با روش‌های روز دنیا و همچنین اندازه‌گیری فیزیولوژیکی همه عوامل مرتبط با خستگی. اما با توجه به آنکه پیش از این هیچ‌گونه پژوهش داخلی و خارجی در این زمینه و به‌ویژه خستگی محیطی وجود نداشته است، این پژوهش می‌تواند نقطه آغازینی برای پژوهش‌های بیشتر در زمینه تأثیرگذاری روغن ماهی و همچنین التهاب به‌طور ویژه بر خستگی ناشی از فعالیت باشد.

### تشکر و قدردانی

از تمامی آزمودنی‌هایی که با همه سختی‌های موجود در این پژوهش همکاری صمیمانه داشتند، همچنین کادر اجرایی بخش طب فیزیکی و توانبخشی بیمارستان شهدای تجریش تهران که ما را در اجرای این کار یاری کردند، سپاسگزاریم.

### پی‌نوشت‌ها

- 1 Newsholme
- 2 Fisher
- 3 Eicosapentaenoic acid
- 4 Docosahaexaenoic acid
- 5 Polyunsaturated fatty acids
- 6 Icosapentaenoic acid
- 7 Docosahaexaenoic acid
- 8 Marine n-3 poly unsaturated fatty acids
- 9 Peroxisome proliferator-activated receptor alfa

است که در فعالیت‌های طولانی‌مدت، پس از فراخوانی اسیدهای چرب به داخل خون، با توجه به آنکه حامل آن‌ها و همچنین اسید آمینه تریپتوفان هر دو، آلبومین است، اتصال آنان به آلبومین موجب افزایش سطح تریپتوفان آزاد در خون می‌شود که تریپتوفان آزاد قابلیت عبور از سد خونی-مغزی را دارد، بنابراین با عبور از این سد، به سروتونین تبدیل شده و سبب ایجاد خستگی مرکزی می‌شود (۳). با توجه به اینکه در پژوهش حاضر از فعالیت وامانده‌ساز استفاده شد، به نظر می‌رسد که این زمان برای ایجاد تغییرات در سطوح سروتونین نیز کافی بوده باشد و شاید یکی از دلایل بهبود در عملکرد عضلانی مشاهده شده، کاهش در خستگی مرکزی بوده باشد که به بررسی بیشتری نیاز دارد. همچنین با توجه به کاهش خستگی ملاحظه شده در اثر تغییرات در انقباض آزادی بیشینه و همچنین کاهش میزان فشار ادراک شده پس از انجام آزمون با مدت زمان یکسان، ممکن است بهبودی در مناطق دیگری از مسیر تحریکی تا عضله اتفاق افتاده باشد که به بررسی بیشتری نیاز دارد. در خصوص نتایج پژوهش‌های دیگری که به بررسی نقش مصرف روغن ماهی بر عملکرد عصبی-عضلانی پرداخته‌اند، گوژمان و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی با عنوان «روغن ماهی غنی از DHA باعث بهبود زمان عکس‌العمل پیچیده در زنان فوتبالیست نخبه می‌شود» بیان کردند که ۴ هفته مصرف روزانه ۳۵۰۰ میلی‌گرم DHA موجب بهبود در کارایی تصمیم‌گیری و همچنین کاهش در زمان عکس‌العمل پیچیده می‌شود (۲۳). همچنین مک نامارا و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی با عنوان «مکمل دهی DHA باعث بهبود در فعال‌سازی قشر پیشین حین حفظ توجه در پسران سالم می‌شود»، به بررسی تأثیر مصرف مقادیر کم و زیاد (۴۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در روز) DHA و روغن ذرت به‌عنوان دارونما پرداختند. پس از این دوره آنان دریافتند که ۸ هفته مکمل دهی DHA سبب افزایش سطح آن در هر دو گروه DHA در سطح غشای اریتروسیت‌ها و نیز بهبود در عملکرد قشر پیشین که مرکز تفکر و تصمیم‌گیری است، می‌شود (۲۴). با توجه به آنکه مقدار مورد استفاده در پژوهش حاضر حدود ۲۰۰۰ میلی‌گرم (EPA+DHA) بود، به نظر می‌رسد برای ایجاد تغییرات در عملکرد قشر حرکتی کافی بوده و تغییرات در ترکیب غشایی سلول‌های تک‌هسته‌ای خون نیز کافی بوده باشد که با وجود این به پژوهش‌های بیشتری نیاز است.



- 1-beta: studies with the concurrent fixed ratio 5/ chow feeding choice task. *Psychopharmacology*. 2014;231(4):727-36.
11. Pedersen BK, Toft AD. Effects of exercise on lymphocytes and cytokines. *British Journal of Sports Medicine*. 2000;34(4):246-51.
  12. Pedersen BK, Febbraio MA. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiological reviews*. 2008;88(4):1379-406.
  13. Pedersen BK, Åkerström TC, Nielsen AR, Fischer CP. Role of myokines in exercise and metabolism. *Journal of applied physiology*. 2007;103(3):1093-8.
  14. Mickleborough TD, Sinex JA, Platt D, Chapman RF, Hirt M. The effects PCSO-524®, a patented marine oil lipid and omega-3 PUFA blend derived from the New Zealand green lipped mussel (*Perna canaliculus*), on indirect markers of muscle damage and inflammation after muscle damaging exercise in untrained men: a randomized, placebo controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2015;12(1):10.
  15. Mickleborough TD, Murray RL, Ionescu AA, Lindley MR. Fish oil supplementation reduces severity of exercise-induced bronchoconstriction in elite athletes. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2003;168(10):1181-9.
  16. Poprzecki S, Zajac A, Chalimoniuk M, Waskiewicz Z, Langfort J. Modification of blood antioxidant status and lipid profile in response to high-intensity endurance exercise after low doses of  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids supplementation in healthy volunteers. *International journal of food sciences and nutrition*. 2009;60(sup2):67-79.
  17. Faber J, Berkhout M, Vos AP, Sijben JW, Calder PC, Garssen J, et al. Supplementation with a fish oil-enriched, high-protein medical food leads to rapid incorporation of EPA into white blood cells and modulates immune responses within one week in healthy men and women. *The Journal of nutrition*. 2011;141(5):964-70.
  18. Yaqoob P, Pala H, Cortina-Borja M, Newsholme E, Calder P. Encapsulated fish oil enriched in  $\alpha$ -tocopherol alters plasma phospholipid and mononuclear cell fatty acid compositions but not mononuclear cell functions. *Eur J Clin Invest*. 2000;30:260-74.
  19. Calder PC. Fatty acids and inflammation: the cutting edge between food and pharma. *European journal of pharmacology*. 2011;668:S50-S8.
  20. Kremer JM. n-3 Fatty acid supplements in rheumatoid arthritis. *The American journal of clinical nutrition*. 2000;71(1):349s-51s.
  21. Griffin L, Cafarelli E. Transcranial magnetic stimulation during resistance training of the tibialis anterior muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2007;17(4):446-52.
  - 10 Marine n-3 poly unsaturated fatty acids
  - 11 Pipingas
  - 12 Delfan
  - 13 Rate of perceived exertion
  - 14 Borg scale
  - 15 Peroneal nerve
  - 16 Base to peak
  - 17 Toennies
  - 18 Tibialis anterior
  - 19 Dorsi flexion
  - 20 Neutral position
  - 21 Visual feedback
  - 22 Verbal encouragement
  - 23 Kolmogorov-Smirnov
  - 24 Repeated measure with between group

## منابع

1. Edwards RH. Human muscle function and fatigue. *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*: Pitman Medical London; 1981. p. 1-18.
2. TIME E. Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle & nerve*. 1984:691.
3. Meeusen R, Watson P, Hasegawa H, Roelands B, Piacentini MF. Central fatigue. *Sports Medicine*. 2006;36(10):881-909.
4. Newsholme E, Acworth I, Blomstrand E. Amino acids, brain neurotransmitters and a functional link between muscle and brain that is important in sustained exercise. *Advances in myochemistry*. 1987;1:127-33.
5. Kroenke K, Price RK. Symptoms in the community: prevalence, classification, and psychiatric comorbidity. *Archives of Internal Medicine*. 1993;153(21):2474-80.
6. van't Leven M, Zielhuis GA, van der Meer JW, Verbeek AL, Bleijenberg G. Fatigue and chronic fatigue syndrome-like complaints in the general population. *The European Journal of Public Health*. 2010;20(3):251-7.
7. Kroenke K, Stump T, Clark DO, Callahan CM, McDonald CJ. Symptoms in hospitalized patients: outcome and satisfaction with care. *The American journal of medicine*. 1999;107(5):425-31.
8. Dantzer R, Heijnen CJ, Kavelaars A, Laye S, Capuron L. The neuroimmune basis of fatigue. *Trends in neurosciences*. 2014;37(1):39-46.
9. Capuron L, Gunnick JF, Musselman DL, Lawson DH, Reemsnyder A, Nemeroff CB, et al. Neurobehavioral effects of interferon- $\alpha$  in cancer patients: phenomenology and paroxetine responsiveness of symptom dimensions. 2002.
10. Nunes EJ, Randall PA, Estrada A, Epling B, Hart EE, Lee CA, et al. Effort-related motivational effects of the pro-inflammatory cytokine interleukin

22. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*. 2008;88(1):287-332.
23. Guzmán JF, Esteve H, Pablos C, Pablos A, Blasco C, Villegas JA. DHA-rich fish oil improves complex reaction time in female elite soccer players. *Journal of sports science & medicine*. 2011;10(2):301.
24. McNamara RK, Able J, Jandacek R, Rider T, Tso P, Eliassen JC, et al. Docosahexaenoic acid supplementation increases prefrontal cortex activation during sustained attention in healthy boys: a placebo-controlled, dose-ranging, functional magnetic resonance imaging study. *The American journal of clinical nutrition*. 2010;91(4):1060-7.