

اثر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت متوسط و مکمل یاری سنجد دریایی بر پروتئین جاذب

شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در مردان چاق

دانیال اسداللهی سهی^{۱*}، محمد کریمی زند^۲

۱. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز

۲. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم انسانی، رشته فیزیولوژی ورزشی و تندرستی، مقطع کارشناسی ارشد

چکیده:

چاقی یکی از مشکلات مهم سلامت است که با افزایش التهاب مزمن خفیف و تولید کموکاین‌های التهابی از جمله پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱ (MCP-1) و اینترلوکین-۸ (IL-8) همراه است و می‌تواند در پیشرفت اختلالات متابولیکی نقش داشته باشد. از این رو، استفاده از راهکارهای غیردارویی مانند تمرین ورزشی و مکمل‌های گیاهی دارای خواص آنتی‌اکسیدانی می‌تواند در کاهش التهاب مرتبط با چاقی مؤثر باشد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت متوسط و مکمل‌یاری سنجد دریایی بر غلظت پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در مردان چاق بود. پژوهش حاضر از نوع شبه تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون و گروه کنترل بود. ۳۲ مرد چاق به صورت تصادفی در چهار گروه کنترل، تمرین، مکمل و تمرین همراه با مکمل، هر گروه شامل ۸ نفر، قرار گرفتند. برنامه تمرینی به مدت هشت هفته، سه جلسه در هفته و با شدت ۵۵ تا ۶۵ درصد ذخیره ضربان قلب روی تردمیل اجرا شد و گروه‌های مکمل نیز طی دوره مداخله سنجد دریایی مصرف کردند. نمونه‌های خون پیش از شروع مداخله و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین جمع‌آوری و غلظت پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس آمیخته و آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تحلیل شدند. نتایج نشان داد اثر متقابل گروه و زمان برای هر دو شاخص پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ معنی‌دار بود ($P < 0.05$). غلظت هر دو شاخص در گروه‌های تمرین، مکمل و تمرین همراه با مکمل در مقایسه با گروه کنترل کاهش معنی‌داری داشت و بیشترین کاهش در گروه تمرین همراه با مکمل مشاهده شد. با این حال، تفاوت بین گروه تمرین و مکمل معنی‌دار نبود. در مجموع، هشت هفته تمرین تناوبی با شدت متوسط و مصرف سنجد دریایی، به‌ویژه به صورت هم‌زمان، می‌تواند با کاهش پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ به بهبود وضعیت التهابی مردان چاق کمک کند. بنابراین، ترکیب تمرین ورزشی و مکمل سنجد دریایی می‌تواند به عنوان یک راهکار غیردارویی برای کاهش التهاب مرتبط با چاقی مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: چاقی، تمرین تناوبی، سنجد دریایی، پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱، اینترلوکین-۸، التهاب.

مقدمه:

چاقی یک بیماری مزمن، عودکننده و چندعاملی است که با تجمع بیش از حد یا غیرطبیعی بافت چربی و افزایش خطر اختلالات متابولیکی و قلبی عروقی مشخص می‌شود. در مطالعات جمعیتی، شاخص توده بدنی^۱، که از تقسیم وزن بر مجذور قد محاسبه می‌شود، یکی از متداول‌ترین معیارهای طبقه‌بندی وضعیت وزن بدن است. در بزرگسالان، شاخص توده بدنی برابر یا بیشتر از ۳۰ کیلوگرم بر مترمربع معمولاً به عنوان چاقی در نظر گرفته می‌شود؛ با این حال، این شاخص به تنهایی قادر به تعیین دقیق توزیع چربی، ترکیب بدن و شدت اختلال عملکرد اندام‌ها نیست (روبینو^۲ و همکاران، ۲۰۲۵؛ سازمان بهداشت جهانی^۳).

گسترش بافت چربی، به ویژه بافت چربی احشایی، صرفاً به معنای افزایش ذخیره انرژی نیست، بلکه با هیپرتروفی سلول‌های چربی، هیپوکسی موضعی، افزایش استرس اکسیداتیو، اختلال عملکرد سلول‌های چربی و نفوذ سلول‌های ایمنی به بافت چربی همراه است. این تغییرات موجب افزایش تولید آدیپوکاین‌ها، سیتوکین‌ها و کموکاین‌های پیش‌التهابی شده و در نهایت، وضعیت التهاب مزمن و خفیف سیستمیک را ایجاد می‌کنند. این التهاب مزمن نقش مهمی در شکل‌گیری مقاومت به انسولین، دیابت نوع ۲، بیماری‌های قلبی عروقی و سایر عوارض مرتبط با چاقی دارد (کاوائی^۴ و همکاران، ۲۰۲۱؛ ویزبرگ^۵ و همکاران، ۲۰۰۳).

پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱^۶، یکی از کموکاین‌های مهم در تنظیم مهاجرت مونوسیت‌ها و سایر سلول‌های ایمنی به محل التهاب است. این کموکاین از سلول‌هایی مانند آدیپوسیت‌ها^۷، ماکروفاژها^۸ و سلول‌های اندوتلیال ترشح می‌شود و عمدتاً از طریق اتصال به گیرنده اختصاصی خود، یعنی گیرنده کموکاین نوع ۲^۹، عمل می‌کند. در شرایط چاقی، بزرگ‌شدن سلول‌های چربی و افزایش استرس سلولی موجب افزایش بیان پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱ در بافت چربی می‌شود. در نتیجه، تعداد بیشتری از مونوسیت‌ها به بافت چربی مهاجرت کرده و به ماکروفاژهای پیش‌التهابی تبدیل می‌شوند. افزایش تجمع ماکروفاژها نیز تولید بیشتر

¹ Body Mass Index (BMI)

² Rubino

³ WHO

⁴ Kawai

⁵ Weisberg

⁶ Monocyte Chemoattractant Protein-1 (MCP-1)

⁷ Adipocyte

⁸ Macrophage

⁹ C-C Chemokine Receptor Type 2 (CCR2)

فاکتور نکروز توموری-آلفا^۱، اینترلوکین-۶^۲ و سایر میانجی‌های التهابی را به دنبال دارد و چرخه‌ای تقویت‌شونده از التهاب و اختلال عملکرد متابولیکی ایجاد می‌کند. مطالعات تجربی نشان داده‌اند که افزایش این کموکاین با افزایش نفوذ ماکروفاژها به بافت چربی، التهاب بافتی و ایجاد مقاومت به انسولین ارتباط دارد. در مقابل، مهار مسیر پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱^۳ و گیرنده آن می‌تواند به کاهش این اختلالات کمک کند (کاندا^۴ و همکاران، ۲۰۰۶؛ سارتیپی^۵ و لوسکاتوف^۶، ۲۰۰۳).

اینترلوکین-۸^۷، یکی از کموکاین‌های پیش‌التهابی است که توسط سلول‌های ایمنی، سلول‌های اندوتلیال، سلول‌های چربی و برخی سلول‌های عضلانی تولید می‌شود. این کموکاین از طریق گیرنده‌های اختصاصی خود، یعنی گیرنده کموکاین نوع ۱^۸ و گیرنده کموکاین نوع ۲^۹، در جذب و فعال‌سازی نوتروفیل‌ها^{۱۰}، مهاجرت سلول‌های ایمنی و تقویت پاسخ التهابی نقش دارد. در افراد مبتلا به چاقی، افزایش اندازه و اختلال عملکرد بافت چربی می‌تواند تشریح اینترلوکین-۸ را افزایش داده و با تشدید التهاب سیستمیک همراه باشد. همچنین، گزارش شده است که تولید اینترلوکین-۸ در بافت چربی احشایی^{۱۱} بیشتر از بافت چربی زیرجلدی^{۱۲} است؛ موضوعی که می‌تواند بیانگر اهمیت چربی احشایی در ایجاد التهاب و اختلالات متابولیکی باشد. غلظت پلاسمایی اینترلوکین-۸ در افراد چاق در مقایسه با افراد دارای وزن طبیعی بالاتر گزارش شده و با میزان توده چربی، شاخص‌های مقاومت به انسولین و فعالیت برخی مسیرهای پیش‌التهابی ارتباط دارد. بنابراین، اینترلوکین-۸ می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های مناسب برای ارزیابی وضعیت التهاب مرتبط با چاقی و بررسی پاسخ بدن به مداخلات ورزشی و تغذیه‌ای مورد استفاده قرار گیرد (استراچکوفسکی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۲؛ برون^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۴).

¹ Tumor Necrosis Factor-alpha (TNF- α)

² Interleukin-6 (IL-6)

³ Kanda

⁴ Sartipy

⁵ Loskutoff

⁶ Interleukin-8 (IL-8)

⁷ CXCR1

⁸ CXCR2

⁹ Neutrophil

¹⁰ Visceral Adipose Tissue (VAT)

¹¹ Subcutaneous Adipose Tissue (SAT)

¹² Straczowski

¹³ Bruun

تمرین تناوبی با شدت متوسط^۱، نوعی تمرین هوازی است که در آن دوره‌های فعالیت با شدت متوسط به صورت متناوب با دوره‌های بازیافت فعال یا فعالیت با شدت پایین‌تر اجرا می‌شوند. در این شیوه، برخلاف تمرین تناوبی با شدت بالا^۲، شدت دوره‌های فعالیت معمولاً در محدوده‌ای قرار دارد که برای افراد کم‌تحرك یا مبتلا به چاقی تحمل‌پذیرتر است و امکان تکمیل حجم مناسبی از تمرین را با فشار ادراری و فیزیولوژیکی کمتر فراهم می‌کند. تناوب میان دوره‌های فعالیت و بازیافت می‌تواند خستگی زودرس را کاهش داده، پایبندی فرد به برنامه تمرینی را افزایش دهد و به بهبود آمادگی قلبی‌تنفسی^۳، حساسیت به انسولین، مصرف انرژی و اکسیداسیون چربی^۴ کمک کند (مالول^۵ و همکاران، ۲۰۲۳).

تمرین منظم همچنین ممکن است از طریق کاهش توده چربی، بهبود عملکرد سلول‌های چربی، کاهش نفوذ سلول‌های ایمنی به بافت چربی و تعدیل مسیرهای التهابی، غلظت پایه برخی کموکاین‌ها، از جمله پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸، را کاهش دهد. با این حال، پاسخ این شاخص‌ها به شدت و مدت تمرین، میزان تغییرات ترکیب بدن و ویژگی‌های آزمودنی‌ها وابسته است و نتایج مطالعات در این زمینه کاملاً یکسان نیست (گونزالو-انکابو^۶ و همکاران، ۲۰۲۱؛ ماکیل^۷ و همکاران، ۲۰۲۳). از این رو، اجرای هشت هفته تمرین تناوبی با شدت متوسط می‌تواند روشی عملی برای افزایش مصرف انرژی و کمک به کاهش وزن و توده چربی در مردان چاق باشد و کاهش بافت چربی نیز می‌تواند یکی از سازوکارهای احتمالی تعدیل پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ باشد؛ با این حال، میزان و جهت تغییرات این شاخص‌ها باید به‌طور مستقیم ارزیابی شود.

سنجد دریایی^۸، درختچه‌ای خاردار و مقاوم از خانواده سنجیدیان است که میوه‌هایی به رنگ زرد تا نارنجی تولید می‌کند و به‌طور طبیعی در بخش‌هایی از اروپا و آسیا، به‌ویژه مناطق سرد و کوهستانی، رشد می‌کند. این گیاه با سنجد معمولی تفاوت دارد و در منابع علمی با عنوان سنجد دریایی شناخته می‌شود. میوه، برگ، دانه و روغن سنجد دریایی از گذشته در نظام‌های غذایی و طب سنتی برخی مناطق تبت، مغولستان، چین، روسیه و آسیای مرکزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و کاربردهایی در تغذیه، ترمیم زخم و

¹ Moderate-Intensity Interval Training (MIIT)

² High-Intensity Interval Training (HIIT)

³ Cardiorespiratory Fitness

⁴ Fat Oxidation

⁵ Maaloul

⁶ Gonzalo-Encabo

⁷ Makiel

⁸ Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)

مدیریت برخی مشکلات پوستی، گوارشی و التهابی داشته‌اند. ارزش تغذیه‌ای بالا و سازگاری این گیاه با شرایط محیطی سخت موجب شده است که در دهه‌های اخیر به‌عنوان یک ماده غذایی فراسودمند^۱ و منبع بالقوه ترکیبات زیست‌فعال^۲ مورد توجه قرار گیرد. مطالعات تجربی نیز نشان داده‌اند که ترکیبات موجود در سنجد دریایی می‌توانند از طریق فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، در برابر برخی آسیب‌های بافتی از جمله آسیب کبدی ناشی از عوامل اکسیدکننده اثر محافظتی داشته باشند (ژانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۷؛ لاگزدینا^۴ و همکاران، ۲۰۲۳).

میوه و روغن سنجد دریایی حاوی ترکیبات زیست‌فعال متعددی از جمله فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها، اسیدهای فنولیک، توکوفرول‌ها، فیتواستروئول‌ها، پلی‌ساکاریدها و اسیدهای چرب غیراشباع هستند. از مهم‌ترین فلاونوئیدهای موجود در این گیاه می‌توان به ایزورامنتین، کوئرستین، کامفرول و مشتقات گلیکوزیدی آن‌ها اشاره کرد. همچنین، روغن پالپ سنجد دریایی یکی از منابع گیاهی اسید پالمیتولئیک^۵ (امگا-۷) به شمار می‌رود. برخی از آثار آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی سنجد دریایی به توانایی ترکیبات زیست‌فعال آن در کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تعدیل مسیرهای مرتبط با التهاب، از جمله گیرنده شبه تول^۶، پروتئین کیناز فعال‌شونده با میتوز^۷ و فاکتور هسته‌ای کاپا-بی^۸، نسبت داده شده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ رن^۹ و همکاران، ۲۰۱۹؛ گو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۲).

از آنجا که فعال‌شدن فاکتور هسته‌ای کاپا-بی در شرایط چاقی می‌تواند بیان ژن‌های التهابی و کموکاین‌هایی مانند پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ (MCP-1) و اینترلوکین-۸ (IL-8) را افزایش دهد، تعدیل این مسیر توسط ترکیبات زیست‌فعال سنجد دریایی می‌تواند از نظر نظری در کاهش پاسخ‌های التهابی نقش داشته باشد.

¹ Functional food

² Bioactive compounds

³ Zhang

⁴ Lagzdina

⁵ Palmitoleic Acid

⁶ TLR4

⁷ MAPK

⁸ NF-κB

⁹ Ren

¹⁰ Gu

بااین حال، بیشتر شواهد مربوط به اثرات ضدالتهابی سنجد دریایی بر مسیرهای مولکولی و شاخص‌های التهابی از مطالعات سلولی و حیوانی حاصل شده است. شواهد انسانی درباره اثر مستقیم مصرف سنجد دریایی بر غلظت پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸، به‌ویژه در مردان چاق، همچنان محدود است. بنابراین، نمی‌توان پیش از انجام پژوهش حاضر اثر قطعی سنجد دریایی بر کاهش این دو شاخص را فرض کرد و بررسی این موضوع در مطالعات انسانی، به‌ویژه در افراد مبتلا به چاقی، ضروری است (رن و همکاران، ۲۰۱۹؛ گو و همکاران، ۲۰۲۲).

با توجه به ارتباط چاقی با التهاب مزمن خفیف، افزایش فعالیت کموکاین‌های جاذب سلول‌های ایمنی و افزایش خطر اختلالات متابولیکی، شناسایی مداخلات ایمن، در دسترس و قابل اجرا برای تعدیل شاخص‌های التهابی مانند پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ اهمیت ویژه‌ای دارد. شواهد موجود نشان می‌دهد که تمرینات ورزشی می‌توانند از طریق بهبود ترکیب بدن و تعدیل فرایندهای التهابی، برخی شاخص‌های التهاب مزمن مرتبط با اضافه‌وزن و چاقی را تحت تأثیر قرار دهند (گونزالو-انکابو و همکاران، ۲۰۲۱).

همچنین، تمرین تناوبی با شدت متوسط می‌تواند در افراد مبتلا به چاقی روشی قابل تحمل و عملی برای افزایش فعالیت بدنی باشد (مالول و همکاران، ۲۰۲۳).

برخی مطالعات نیز تغییرپذیری شاخص‌هایی مانند پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ را در پاسخ به فعالیت بدنی و در ارتباط با ترکیب بدن گزارش کرده‌اند (لاگردینا و همکاران، ۲۰۲۳؛ ماکیل و همکاران، ۲۰۲۳).

از سوی دیگر، سنجد دریایی به دلیل دارا بودن ترکیبات زیست فعال و برخورداری از خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، به‌عنوان یک مکمل گیاهی بالقوه مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات پیش‌بالینی نشان داده‌اند که پلی‌ساکاریدها و فلاونوئیدهای سنجد دریایی می‌توانند برخی فرایندهای التهابی و استرس اکسیداتیو را تعدیل کنند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ رن و همکاران، ۲۰۱۹؛ گو و همکاران، ۲۰۲۲).

بااین حال، بیشتر شواهد موجود درباره اثرات ضدالتهابی سنجد دریایی از مطالعات سلولی و حیوانی حاصل شده و شواهد انسانی درباره تأثیر مستقیم آن بر غلظت پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸، به‌ویژه در مردان چاق، محدود است.

بنابراین، با وجود بررسی جداگانه آثار تمرین ورزشی و سنجیدگی بر فرایندهای مرتبط با التهاب، اطلاعات محدودی درباره اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت متوسط و مکمل یاری سنجیدگی بر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ وجود دارد. به طور خاص، مشخص نیست که آیا ترکیب این دو مداخله، در مقایسه با اجرای تمرین یا مصرف مکمل به تنهایی، می تواند کاهش بیشتری در غلظت این دو کموکاین در مردان چاق ایجاد کند. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت متوسط، مکمل یاری سنجیدگی و ترکیب این دو مداخله بر غلظت پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در مردان چاق انجام شد و به بررسی این موضوع پرداخت که آیا اثر ترکیبی این دو مداخله بر شاخص های التهابی با اثر هریک از آنها به تنهایی تفاوت دارد یا خیر.

روش پژوهش:

پژوهش حاضر از نوع شبه تجربی، کاربردی و دارای طرح پیش آزمون-پس آزمون با گروه کنترل است. جامعه آماری پژوهش را مردان چاق تشکیل دادند که پس از فراخوان عمومی، بررسی اولیه و احراز معیارهای ورود به پژوهش انتخاب شدند. پس از توضیح اهداف، مراحل، مزایا و خطرات احتمالی تحقیق، رضایت نامه آگاهانه کتبی از تمام آزمودنی ها دریافت شد. سپس، ۳۲ آزمودنی واجد شرایط به صورت تصادفی و با تعداد مساوی در چهار گروه هشت نفره قرار گرفتند:

۱: گروه کنترل

۲: گروه تمرین تناوبی با شدت متوسط

۳: گروه مکمل سنجیدگی دریایی

۴: گروه تمرین تناوبی با شدت متوسط همراه با مکمل سنجیدگی دریایی

گروه کنترل در طول هشت هفته در هیچ برنامه ورزشی سازمان یافته ای شرکت نکرده و مکمل سنجیدگی دریایی نیز دریافت نمی کند. از آزمودنی ها درخواست می شود در طول دوره پژوهش، الگوی معمول فعالیت بدنی و رژیم غذایی خود را تغییر ندهند. برای بررسی پایداری آزمودنی ها، حضور در جلسات تمرینی ثبت شده و کپسول های مصرف نشده در پایان هر هفته شمارش خواهد شد.

آشنایی اولیه آزمودنی‌ها

یک هفته پیش از اجرای پیش‌آزمون، آزمودنی‌ها در یک جلسه آشنایی اولیه شرکت کردند. در این جلسه، نحوه اجرای تمرین روی تردمیل، روش صحیح راه رفتن یا دویدن، چگونگی استفاده از دستگاه سنجش ضربان قلب، مقیاس درک فشار بزرگ، علائم توقف تمرین و نحوه انجام اندازه‌گیری‌های پژوهش برای آزمودنی‌ها توضیح داده شد. سپس، آزمودنی‌ها نمونه کوتاهی از مراحل گرم کردن، دوره‌های فعالیت و بازیافت و سرد کردن را با شدت سبک تا متوسط اجرا کردند. هدف از برگزاری این جلسه، کاهش اثر یادگیری، افزایش ایمنی، تعیین سرعت اولیه مناسب برای هر فرد و کاهش اضطراب احتمالی آزمودنی‌ها هنگام اجرای آزمون‌ها بود. در جلسه آشنایی، ضربان قلب استراحت پس از حداقل ۱۰ دقیقه استراحت در وضعیت نشسته اندازه‌گیری شد. همچنین، آزمودنی‌ها با مقیاس ۶ تا ۲۰ بزرگ آشنا شدند تا در جلسات تمرینی بتوانند میزان فشار ادراک شده خود را گزارش کنند. شدت متوسط تمرین بر اساس ضربان قلب و میزان فشار ادراک شده تعیین شد و استفاده هم‌زمان از این دو شاخص می‌تواند به کنترل دقیق‌تر شدت تمرین کمک کند (گاربر^۱ و همکاران، ۲۰۱۱؛ فلریتی و شیدلر^۲، ۲۰۲۰).

معیارهای ورود به پژوهش

معیارهای ورود به مطالعه شامل موارد زیر است:

- مرد بودن و قرارداد داشتن در محدوده سنی تعیین شده پژوهش، برای مثال ۲۰ تا ۴۰ سال؛
- داشتن شاخص توده بدنی برابر یا بیشتر از ۳۰ کیلوگرم بر مترمربع؛
- نداشتن فعالیت ورزشی منظم در حد بیش از دو جلسه در هفته طی شش ماه گذشته؛
- نداشتن سابقه مصرف منظم سنجید دریاپی یا مکمل‌های حاوی آن طی سه ماه گذشته؛
- نداشتن بیماری قلبی عروقی، کلیوی، کبدی، التهابی، خودایمنی یا اختلال کنترل نشده تیروئید؛
- نداشتن دیابت کنترل نشده و فشارخون کنترل نشده؛

¹ Garber

² Flairty & Scheadler

- مصرف نکردن داروهای ضدالتهابی، کورتیکواستروئیدها، داروهای کاهش وزن یا داروهایی که بر متابولیسم و شاخص‌های التهابی تأثیر قابل توجه دارند؛

- نداشتن محدودیت اسکلتی عضلانی برای راه رفتن یا دویدن روی تردمیل؛

- نداشتن حساسیت شناخته شده به سنجیدگی یا ترکیبات کپسول؛

- نداشتن مصرف دخانیات یا مصرف منظم آن؛

- کسب مجوز پزشکی برای شرکت در تمرین در صورت وجود هرگونه عامل خطر؛

- تکمیل رضایت‌نامه آگاهانه و اعلام آمادگی برای حضور منظم در جلسات پژوهش.

معیارهای خروج از مطالعه:

معیارهای خروج از مطالعه شامل غیبت در بیش از ۲۰ درصد جلسات تمرینی، مصرف کمتر از ۸۰ درصد کپسول‌های تجویز شده، شرکت در تمرینات ورزشی دیگر، تغییر قابل توجه رژیم غذایی یا داروها، ابتلا به بیماری یا آسیب دیدگی مؤثر بر اجرای تمرین، مشاهده عوارض نامطلوب قابل توجه پس از مصرف مکمل، عدم تمایل آزمودنی به ادامه همکاری و رعایت نکردن دستورالعمل‌های پژوهش است. همچنین در صورت بروز درد قفسه سینه، سرگیجه شدید، تنگی نفس غیرطبیعی، افت فشار، افزایش غیرطبیعی فشارخون یا هر علامتی که ادامه فعالیت را ناایمن سازد، تمرین متوقف شده و آزمودنی برای بررسی پزشکی ارجاع داده می‌شود.

کنترل رژیم غذایی و فعالیت بدنی

از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود در طول هشت هفته، الگوی غذایی عادی خود را حفظ کرده و از شروع رژیم کاهش وزن یا مصرف مکمل جدید خودداری کنند. برای کنترل تقریبی رژیم غذایی، آزمودنی‌ها یک ثبت غذایی سه‌روزه شامل دو روز عادی هفته و یک روز تعطیل را پیش از شروع و در هفته پایانی تکمیل می‌کنند. میزان انرژی و درشت‌مغذی‌های دریافتی بررسی می‌شود تا مشخص شود تغییرات احتمالی شاخص‌های پژوهش ناشی از تغییرات عمده رژیم غذایی نبوده است. همچنین از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود ۲۴ تا ۴۸ ساعت قبل از نمونه‌گیری خون از انجام فعالیت ورزشی شدید خودداری کنند و در روز پیش از خون‌گیری، از مصرف وعده غذایی بسیار پرچرب و نوشیدنی‌های محرک اجتناب کنند. زمان نمونه‌گیری پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای هر فرد تا حد امکان در ساعت مشابهی از روز انجام خواهد شد.

تعیین شدت تمرین بر اساس ضربان قلب

شدت تمرین با استفاده از روش ذخیره ضربان قلب یا فرمول کارونن تعیین می‌شود. ابتدا ضربان قلب بیشینه بر اساس فرمول زیر برآورد می‌شود:

$$\text{ضربان قلب بیشینه} = \text{سن} \times 0.7 - 20.8$$

سپس ذخیره ضربان قلب از تفاضل ضربان قلب بیشینه و ضربان قلب استراحت محاسبه می‌شود:

$$\text{HRR} = \text{HRmax} - \text{Hrrest}$$

در نهایت، ضربان قلب هدف از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{THR} = \text{Hrrest} + [(\text{HRmax} - \text{Hrrest}) \times \text{درصد شدت}]$$

استفاده از ذخیره ضربان قلب، تفاوت ضربان قلب استراحت افراد را در تعیین شدت تمرین در نظر می‌گیرد و از روش‌های متداول تجویز شدت تمرین هوازی است. بر اساس توصیه‌های علمی، فعالیت با شدت متوسط معمولاً در محدوده حدود ۴۰ تا ۵۹ درصد ذخیره ضربان قلب یا حدود ۶۴ تا ۷۶ درصد ضربان قلب بیشینه قرار می‌گیرد (گاربر و همکاران، ۲۰۱۱؛ فلریتی و شیدلر، ۲۰۲۰).

در پژوهش حاضر، به منظور ایجاد یک تمرین تناوبی با شدت متوسط و در عین حال قابل تحمل برای مردان چاق و کم‌تحرك، تناوب‌های فعالیت در محدوده ۵۵ تا ۶۵ درصد ذخیره ضربان قلب و تناوب‌های بازیافت فعال در محدوده ۴۰ تا ۵۰ درصد ذخیره ضربان قلب اجرا می‌شوند. ضربان قلب آزمودنی‌ها در تمام جلسات به وسیله ضربان‌سنج کنترل خواهد شد. همچنین شدت ادراک شده در پایان هر تناوب ثبت می‌شود و انتظار می‌رود در تناوب‌های اصلی تقریباً معادل ۱۲ تا ۱۴ مقیاس بورگ باشد.

در صورتی که ضربان قلب آزمودنی پایین‌تر از محدوده هدف باشد، سرعت یا شیب تردمیل به تدریج افزایش می‌یابد و اگر ضربان قلب از محدوده تعیین شده بالاتر رود، سرعت یا شیب کاهش داده می‌شود. به منظور کاهش خطای ناشی از تأخیر پاسخ ضربان قلب، تنظیم شدت بر اساس میانگین ضربان قلب در بخش پایانی هر تناوب انجام می‌شود.

پروتکل تمرین تناوبی با شدت متوسط

آزمودنی‌های گروه تمرین و گروه تمرین همراه با مکمل، به مدت هشت هفته و سه جلسه در هفته، با حداقل ۴۸ ساعت فاصله میان جلسات، در برنامه تمرین تناوبی با شدت متوسط شرکت می‌کنند. تمرینات روی تردمیل و تحت نظارت پژوهشگر یا متخصص فیزیولوژی ورزشی انجام خواهد شد.

هر جلسه تمرینی از سه بخش تشکیل می‌شود:

- گرم کردن
- بخش اصلی تمرین
- سرد کردن

گرم کردن شامل پنج دقیقه راه رفتن با شدت تقریبی ۴۰ درصد ذخیره ضربان قلب و انجام حرکات پویای سبک بود. سرد کردن نیز شامل پنج دقیقه راه رفتن آرام با شدت کمتر از ۴۰ درصد ذخیره ضربان قلب بود. شدت و حجم تمرین به صورت تدریجی افزایش یافت تا ضمن رعایت اصل اضافه بار، سازگاری تدریجی آزمودنی‌ها با برنامه تمرینی فراهم شده و خطر آسیب دیدگی و خروج آزمودنی‌های چاق از پژوهش کاهش یابد. شواهد موجود نشان می‌دهد که تمرینات هوازی با شدت متوسط می‌توانند برای افراد دارای اضافه وزن و چاقی قابل اجرا باشند و برنامه‌های تمرینی چند هفته‌ای می‌توانند به بهبود ترکیب بدن و برخی شاخص‌های آمادگی قلبی تنفسی و متابولیکی کمک کنند (وِوِگه^۱ و همکاران، ۲۰۱۷؛ گریپ^۲ و همکاران، ۲۰۲۱).

با اضافه کردن پنج دقیقه گرم کردن و پنج دقیقه سرد کردن، مدت هر جلسه تقریباً بین ۳۰ تا ۴۰ دقیقه خواهد بود. افزایش شدت یا سرعت فقط زمانی انجام می‌شود که آزمودنی جلسه قبلی را بدون علائم غیرطبیعی و با درک فشار قابل قبول تکمیل کرده باشد. آزمودنی‌هایی که در شروع مطالعه آمادگی کمتری دارند، می‌توانند در هفته اول حجم پایین‌تری اجرا کنند و به تدریج به حجم تعیین شده برسند.

¹ Weweg

² Gripp

آزمودنی‌های گروه تمرین و گروه تمرین همراه با مکمل، به مدت هشت هفته و سه جلسه در هفته، با حداقل ۴۸ ساعت فاصله بین جلسات، تمرین تناوبی با شدت متوسط را روی تردمیل اجرا کردند. هر جلسه با پنج دقیقه گرم کردن در حدود ۴۰ درصد ذخیره ضربان قلب آغاز شد و پس از آن، تناوب‌های فعالیت دو تا چهار دقیقه‌ای با شدت ۵۵ تا ۶۵ درصد ذخیره ضربان قلب، همراه با دوره‌های دو دقیقه‌ای بازیافت فعال با شدت ۴۰ تا ۵۰ درصد ذخیره ضربان قلب انجام گرفت. در دو هفته نخست، بخش اصلی تمرین شامل پنج تا شش تناوب دو دقیقه‌ای بود و در هفته‌های بعد، مدت تناوب‌های فعالیت به سه و سپس چهار دقیقه افزایش یافت؛ به‌طوری که زمان بخش اصلی تمرین از حدود ۲۰ دقیقه در هفته اول به ۳۰ دقیقه در هفته‌های پایانی رسید. شدت و حجم تمرین به‌صورت تدریجی افزایش یافت و ضربان قلب آزمودنی‌ها در تمام جلسات با ضربان سنج کنترل شد. هر جلسه نیز با پنج دقیقه راه رفتن آرام و سرد کردن پایان یافت و مدت کل جلسات تقریباً ۳۰ تا ۴۰ دقیقه بود (وِوِگه و همکاران، ۲۰۱۷؛ گریپ و همکاران، ۲۰۲۱؛ گارپر و همکاران، ۲۰۱۱).

مکمل یاری سنجد دریایی

آزمودنی‌های گروه مکمل و گروه تمرین همراه با مکمل، به مدت هشت هفته، روزانه مجموعاً ۸۰۰ میلی گرم سنجد دریایی دریافت می‌کنند. این مقدار بر اساس یک مطالعه انسانی انتخاب شده است که در آن ۸۰۰ میلی گرم روغن پالپ سنجد دریایی در روز به مدت ۶۰ روز در افراد چاق استفاده شد و شاخص‌های التهابی، وضعیت اکسیداتیو، چربی خون و عملکرد عروقی مورد بررسی قرار گرفتند (ویرگولیچی^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین، این دوز به مدت هشت هفته از نظر طول دوره و جمعیت مورد مطالعه، تناسب بیشتری با طرح حاضر دارد.

مکمل به شکل دو کپسول ۴۰۰ میلی گرمی در روز مصرف می‌شود؛ یک کپسول پس از صبحانه و یک کپسول پس از شام. مصرف مکمل همراه غذا می‌تواند تحمل گوارشی آن را افزایش دهد. کپسول‌ها توسط **جهاد دانشگاهی** تهیه و تولید می‌شوند. باین‌حال، پیش از آغاز پژوهش لازم است نوع دقیق ماده داخل کپسول، یعنی روغن پالپ، روغن دانه، پودر میوه یا عصاره استاندارد شده، تعیین شود؛ زیرا ترکیب اسیدهای چرب، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و سایر مواد مؤثره در این فرآورده‌ها متفاوت است.

¹ Virgolici

در مطالعات انسانی، مقادیر متفاوتی از فرآورده‌های سنجید دریایی استفاده شده است؛ برای نمونه، ۸۰۰ میلی گرم روغن پالپ در روز به مدت ۶۰ روز و سه گرم روغن سنجید دریایی در روز به مدت سه ماه گزارش شده است (لارمو^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویرگولیچی و همکاران، ۲۰۱۳). این اختلاف نشان می‌دهد که نمی‌توان دوز یک نوع فرآورده را بدون توجه به شکل مکمل، مستقیماً برای نوع دیگری به کار برد. در نتیجه، دوز ۸۰۰ میلی گرم در پژوهش حاضر زمانی قابل دفاع است که فرآورده تولیدی از نظر شکل و ترکیبات اصلی با روغن پالپ یا فرآورده استفاده‌شده در مطالعه مرجع قابل مقایسه باشد.

ملاحظات ایمنی و سمیت مکمل

انتخاب دوز ۸۰۰ میلی گرم در روز به معنای تعیین «حد بالای سمیت» سنجید دریایی نیست؛ زیرا در حال حاضر یک حد بالای مصرف روزانه استاندارد و قطعی برای تمام انواع فرآورده‌های سنجید دریایی در انسان تعیین نشده است. این دوز به این دلیل انتخاب شده که قبلاً در یک مطالعه انسانی روی افراد چاق به مدت تقریباً هشت هفته استفاده شده است، نه اینکه بیشترین دوز بدون سمیت باشد. مطالعات انسانی همچنین مصرف مقادیر بالاتر، از جمله سه گرم روغن در روز به مدت سه ماه را گزارش کرده‌اند؛ ولی جمعیت، هدف پژوهش و نوع فرآورده در این مطالعات متفاوت بوده است (لارمو و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویرگولیچی و همکاران، ۲۰۱۳).

دارونما و کورسازی

برای افزایش اعتبار روش شناختی، بهتر است گروه کنترل و گروه تمرین نیز روزانه دو کپسول دارونما با ظاهر، وزن، رنگ و بسته‌بندی مشابه مکمل دریافت کنند. دارونما می‌تواند حاوی ماده خنثی و مجاز مانند نشاسته خوراکی یا سلولز میکروکریستالی باشد. در این حالت، مطالعه از نظر مکمل‌یاری به صورت دوسوکور اجرا می‌شود؛ به‌طوری که آزمودنی‌ها و فرد انجام‌دهنده آزمایش‌های خونی از محتوای کپسول‌ها آگاه نباشند.

کپسول‌ها به صورت هفتگی در بسته‌های کدگذاری شده تحویل داده می‌شوند. از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود زمان مصرف روزانه را ثبت کنند.

¹ Larmo

اندازه‌گیری‌های پژوهش

قد آزمودنی‌ها با قدسنج و با دقت تقریبی ۱/۰ سانتی‌متر و وزن با ترازوی کالیبره شده با دقت تقریبی ۱/۰ کیلوگرم اندازه‌گیری می‌شود. شاخص توده بدنی از تقسیم وزن بر مجذور قد برحسب متر محاسبه خواهد شد. دور کمر در نقطه میانی بین پایین‌ترین دنده و بالاترین بخش تاج خاصره و در پایان یک بازدم طبیعی اندازه‌گیری می‌شود.

در صورت دسترسی، درصد چربی بدن از طریق دستگاه آنالیز ترکیب بدن یا روش معتبر دیگری اندازه‌گیری خواهد شد. تمام اندازه‌گیری‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون توسط یک ارزیاب، با دستگاه یکسان و در شرایط زمانی مشابه انجام می‌شوند.

نمونه‌گیری خون و اندازه‌گیری پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸

نمونه‌گیری خون در دو مرحله، ۴۸ ساعت پیش از نخستین جلسه تمرینی و ۴۸ تا ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین انجام می‌شود. رعایت فاصله حداقل ۴۸ ساعته با آخرین جلسه تمرینی برای کاهش اثر حاد فعالیت ورزشی بر غلظت کموکاین‌ها ضروری است؛ زیرا فعالیت حاد می‌تواند به طور موقت غلظت برخی شاخص‌های التهابی را تغییر دهد.

آزمودنی‌ها پس از ۱۰ تا ۱۲ ساعت ناشتایی شبانه، در فاصله زمانی تقریباً ساعت ۸ تا ۱۰ صبح در آزمایشگاه حاضر می‌شوند. پس از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه استراحت نشسته، حدود ۱۰ میلی‌لیتر خون از ورید بازویی گرفته می‌شود. نمونه‌ها بر اساس دستورالعمل کیت آزمایشگاهی سانتی‌فیوژ شده و سرم یا پلاسما در میکروتیوب‌های کدگذاری شده در دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری خواهد شد.

غلظت پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ با استفاده از کیت‌های الایزای انسانی معتبر و بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده اندازه‌گیری می‌شود. تمام نمونه‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون هر آزمودنی ترجیحاً در یک نوبت آزمایش و به صورت دو تکرار مورد سنجش قرار می‌گیرند تا تغییرات بین آزمایشی کاهش یابد. نام شرکت سازنده، کشور، شماره کاتالوگ، حساسیت، دامنه اندازه‌گیری و ضریب تغییرات درون آزمون و بین آزمون کیت‌ها باید در گزارش نهایی ذکر شود.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تحلیل شدند. ابتدا شاخص‌های توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر برای متغیرهای مورد مطالعه محاسبه شد. وجود داده‌های پرت با استفاده از نمودار جعبه‌ای و بررسی مقادیر استاندارد شده ارزیابی

شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها و باقیمانده‌های مدل با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و بررسی نموداری ارزیابی شد. همچنین، همگنی واریانس‌ها بین گروه‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد.

برای تحلیل اصلی، از تحلیل واریانس آمیخته با طرح چهار گروه $\times$ دو زمان استفاده شد. در این تحلیل، عامل بین‌آزمودنی گروه شامل چهار سطح کنترل، تمرین، مکمل و تمرین همراه با مکمل و عامل درون‌آزمودنی زمان شامل پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. اثر متقابل گروه $\times$ زمان به‌عنوان نتیجه اصلی تحلیل در نظر گرفته شد؛ زیرا این اثر مشخص می‌کند که میزان تغییر در سطوح پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در چهار گروه با یکدیگر تفاوت دارد یا خیر.

در صورت معنادار بودن اثر متقابل گروه $\times$ زمان، مقایسه‌های زوجی مناسب برای تعیین محل تفاوت‌ها انجام شد و برای کنترل خطای ناشی از مقایسه‌های متعدد، از اصلاح بونفرونی استفاده شد. همچنین، در صورت استفاده از تحلیل کوواریانس، مقادیر پس‌آزمون بین گروه‌ها با کنترل مقدار پیش‌آزمون مقایسه شدند؛ این تحلیل با رعایت مفروضه‌های مربوط، از جمله همگنی شیب‌های رگرسیون، انجام گرفت. برای بررسی تغییرات درون هر گروه نیز، در صورت نیاز، از آزمون t وابسته به‌عنوان تحلیل تکمیلی استفاده شد. باین‌حال، تفسیر اصلی نتایج بر اساس اثر متقابل گروه $\times$ زمان و/یا تحلیل کوواریانس انجام شد و صرفاً بر اساس معناداری تغییرات درون گروهی انجام نشد.

در صورت نقض شدید مفروضه‌های آزمون‌های پارامتریک، پس از بررسی امکان تبدیل مناسب داده‌ها، از تبدیل لگاریتمی یا سایر تبدیل‌های مناسب استفاده شد. در صورت تداوم نقض مفروضه‌ها، آزمون‌های ناپارامتریک متناسب با طرح پژوهش به کار گرفته شدند. سطح معناداری آماری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد ($P < 0.05$). اندازه اثر برای تحلیل واریانس با استفاده از اتای سهمی (η^2) و برای مقایسه‌های زوجی با استفاده از d کوهن گزارش شد. همچنین، فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای اختلاف میانگین‌ها ارائه شد.

یافته‌های پژوهش:

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تحلیل شدند. ابتدا میانگین و انحراف معیار متغیرهای پژوهش محاسبه شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو - ویلک و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. برای مقایسه تغییرات پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در چهار گروه طی دو زمان، شامل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از تحلیل واریانس آمیخته با طرح ۲×۴ استفاده شد. در صورت معنادار بودن اثر متقابل گروه $\times$ زمان، مقایسه‌های زوجی با استفاده از اصلاح بونفرونی انجام شد. سطح معناداری $P < 0.05$ در نظر گرفته شد و اندازه اثر به‌صورت اتای سهمی (η^2) گزارش شد.

جدول ۱. میانگین $\pm$ انحراف معیار متغیرهای پژوهش

نتایج توصیفی نشان داد که میانگین پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در گروه کنترل پس از هشت هفته تغییر قابل توجهی نداشت، در حالی که در گروه‌های تمرین، مکمل و تمرین همراه با مکمل کاهش یافت. از نظر توصیفی، بیشترین کاهش در هر دو متغیر مربوط به گروه تمرین همراه با مکمل بود.

متغیر	گروه	پیش آزمون Mean $\pm$ SD	پس آزمون Mean $\pm$ SD
پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ (پیکوگرم بر میلی لیتر)	کنترل	285.6 $\pm$ 32.4	287.9 $\pm$ 31.8
	تمرین	284.8 $\pm$ 34.1	248.3 $\pm$ 28.5
	مکمل	286.5 $\pm$ 31.2	255.6 $\pm$ 27.9
	تمرین+مکمل	285.1 $\pm$ 33.8	221.7 $\pm$ 24.3
اینترلوکین-۸ (پیکوگرم بر میلی لیتر)	کنترل	18.2 $\pm$ 2.8	18.4 $\pm$ 2.7
	تمرین	18.5 $\pm$ 2.6	15.9 $\pm$ 2.1
	مکمل	18.3 $\pm$ 2.5	16.4 $\pm$ 2.0
	تمرین+مکمل	18.6 $\pm$ 2.7	13.9 $\pm$ 1.8

جدول ۲. نتایج آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها

نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که سطح معناداری برای تمام متغیرها در هر دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون بیشتر از 0/05 بود؛ بنابراین، فرض صفر آزمون مبنی بر نرمال بودن توزیع داده‌ها رد نشد و نرمال بودن توزیع متغیرها تأیید شد. از این رو، یکی از مفروضه‌های اصلی استفاده از روش‌های آماری پارامتریک برقرار بود.

متغیر	آماره W	معنی داری	نتیجه
پیش‌آزمون پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱	0.972	0.451	نرمال

پس آزمون پروتئین شیمیایی جاذب مونوسیت-۱	0.968	0.382	نرمال
پیش آزمون اینترلوکین-۸	0.981	0.673	نرمال
پس آزمون اینترلوکین-۸	0.975	0.514	نرمال

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس آمیخته با طرح 2×4

نتایج تحلیل واریانس آمیخته نشان داد که اثر متقابل گروه $\times$ زمان برای هر دو متغیر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ معنادار بود. این یافته نشان می‌دهد که میزان تغییر این شاخص‌ها از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در چهار گروه یکسان نبود. برای پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱، اثر متقابل گروه $\times$ زمان معنادار بود ($P < 0/001$ ، $\eta^2=0/57$ ، $F = 12/64$). همچنین، برای اینترلوکین-۸ نیز اثر متقابل گروه $\times$ زمان معنادار گزارش شد ($P < 0/001$ ، $\eta^2=0/53$ ، $F=10/81$)؛ بنابراین، الگوی تغییر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در طول زمان بین گروه‌های پژوهش متفاوت بود. برای تعیین محل دقیق تفاوت‌ها، مقایسه‌های زوجی با اصلاح بونفرونی انجام شد.

متغیر	اثر	F	معنی داری	η^2
پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱	گروه $\times$ زمان	12.64	<0.001	0.57
اینترلوکین-۸	گروه $\times$ زمان	10.81	<0.001	0.53

جدول ۴. مقایسه‌های زوجی میزان تغییر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ بین گروه‌ها با اصلاح بونفرونی

پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱

مقایسه‌های زوجی با اصلاح بونفرونی نشان داد که میزان تغییر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ در گروه‌های تمرین، مکمل و تمرین همراه با مکمل در مقایسه با گروه کنترل به طور معناداری متفاوت بود ($P=0/012$ ، $P=0/021$ ، $P < 0/001$). همچنین، میزان تغییر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ در گروه تمرین همراه با مکمل در مقایسه با گروه‌های تمرین و مکمل به طور معناداری بیشتر بود ($P=0/041$ ، $P=0/017$). با این حال، بین گروه‌های تمرین و مکمل تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P=0/999$).

مقایسه	اختلاف میانگین	معنی داری
کنترل-تمرین	37.02	0.012
کنترل-مکمل	31.8	0.021
کنترل-تمرین+مکمل	66.4	<0.001
تمرین-مکمل	5.4	0.999
تمرین-تمرین+مکمل	29.2	0.041
مکمل-تمرین+مکمل	34.6	0.017

اینترلوکین-۸

مقایسه‌های زوجی با اصلاح بونفرونی نشان داد که میزان تغییر اینترلوکین-۸ در گروه‌های تمرین، مکمل و تمرین همراه با مکمل در مقایسه با گروه کنترل به طور معناداری متفاوت بود ($P=0/018$ ، $P=0/037$ ، $P < 0/001$). همچنین، میزان تغییر اینترلوکین-۸ در گروه تمرین همراه با مکمل در مقایسه با گروه‌های تمرین و مکمل به طور معناداری بیشتر بود ($P=0/028$ ، $P=0/015$). با این حال، تفاوت میزان تغییر اینترلوکین-۸ بین گروه‌های تمرین و مکمل معنادار نبود ($P=0/999$).

مقایسه	اختلاف میانگین	معنی داری
کنترل-تمرین	2.5	0.018
کنترل-مکمل	2.0	0.037

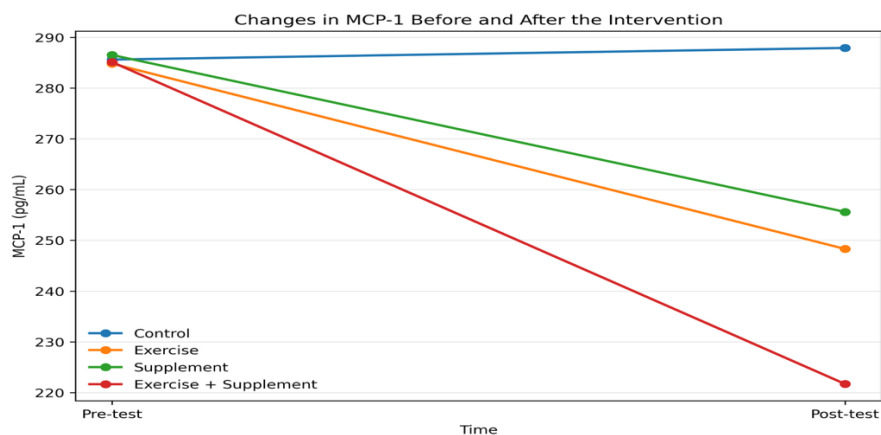
کنترل-تمرین+مکمل	4.5	<0.001
تمرین-مکمل	0.5	0.999
تمرین-تمرین+مکمل	2.0	0.028
مکمل-تمرین+مکمل	2.5	0.015

جدول ۵. اندازه اثر و معناداری آماری اثر متقابل گروه × زمان

نتایج تحلیل واریانس آمیخته نشان داد که اثر متقابل گروه × زمان برای هر دو متغیر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ معنادار بود ($P < 0/001$). اندازه اثر این اثر برای پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ برابر با $\eta^2=0/57$ و برای اینترلوکین-۸ برابر با $\eta^2=0/53$ بود که نشان دهنده اندازه اثر بزرگ است. این یافته بیانگر آن است که الگوی تغییر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ از پیش آزمون تا پس آزمون در گروه های پژوهش تفاوت قابل توجهی داشت. بر اساس مقایسه های زوجی، گروه تمرین همراه با مکمل بیشترین کاهش را در هر دو شاخص نشان داد.

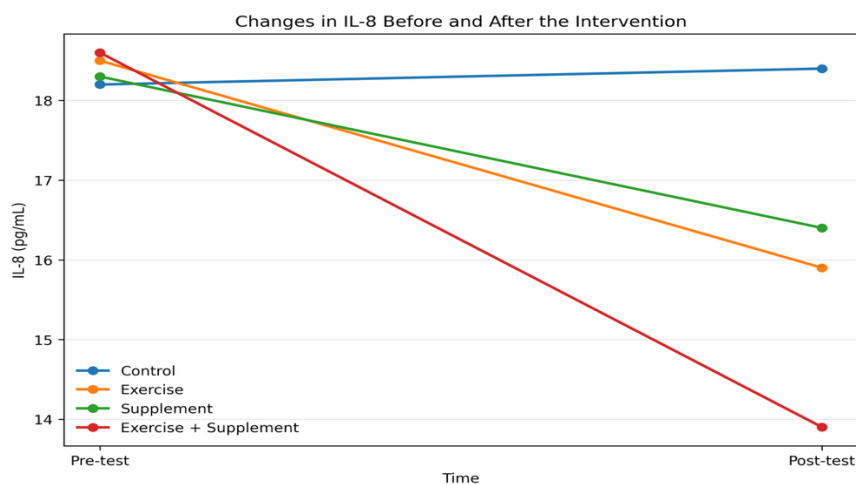
متغیر	معنی داری	η^2	نتیجه
پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱	<0.001	0.57	اثر بزرگ و معنادار
اینترلوکین-۸	<0.001	0.53	اثر بزرگ و معنادار

پس از هشت هفته، میانگین پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در گروه های تمرین، مکمل و تمرین همراه با مکمل کاهش یافت، در حالی که در گروه کنترل تغییر قابل توجهی مشاهده نشد. از نظر توصیفی، بیشترین کاهش هر دو شاخص در گروه تمرین همراه با مکمل مشاهده شد. مقایسه های زوجی با اصلاح بونفرونی نیز نشان داد که میزان تغییر در این گروه با گروه های تمرین و مکمل تفاوت معناداری داشت.



نمودار ۱. مقایسه سطوح پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ در گروه های مختلف در زمان های مختلف

میزان اینترلوکین-۸ نیز پس از مداخله در گروه های تمرین و مکمل کاهش یافت و بیشترین کاهش در گروه تمرین همراه با مکمل مشاهده شد؛ اما گروه کنترل تقریباً بدون تغییر باقی ماند.



نمودار ۲. مقایسه سطوح اینترلوکین-۸ در گروه های مختلف در زمان های مختلف

بحث و نتیجه گیری:

هدف پژوهش حاضر بررسی اثر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت متوسط و مکمل یاری سنجد دریایی، به صورت مستقل و ترکیبی، بر سطوح پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در مردان چاق بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین تناوبی با شدت متوسط و مکمل یاری سنجد دریایی موجب کاهش معنی دار پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در مردان چاق شد و بیشترین کاهش در گروه تمرین همراه با مکمل مشاهده گردید. این یافته می تواند نشان دهنده اثر مستقل و احتمالاً تقویت کننده دو مداخله بر التهاب مزمن مرتبط با چاقی باشد پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ از کموکاین های مهم در جذب و هدایت سلول های ایمنی به بافت ملتهب هستند و مقادیر در گردش آن ها در افراد چاق بیشتر از افراد غیر چاق گزارش شده است؛ همچنین این افزایش با شاخص توده بدن و دور کمر ارتباط دارد (کیم^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). در چاقی، بزرگ شدن سلول های چربی، هیپوکسی بافت چربی و افزایش نفوذ ماکروفاژها موجب تولید بیشتر کموکاین های التهابی می شود. بنابراین، کاهش این دو عامل پس از مداخله می تواند بیانگر بهبود وضعیت التهابی و کاهش فراخوانی مونوسیت ها و نوتروفیل ها به بافت چربی باشد. برتری گروه ترکیبی نیز احتمالاً ناشی از تأثیر همزمان فعالیت ورزشی بر کاهش چربی و تنظیم سیستم ایمنی و اثرات آنتی اکسیدانی و ضدالتهابی ترکیبات سنجد دریایی است. با این حال، برای اثبات وجود اثر هم افزایی واقعی باید اثر متقابل تمرین و مکمل در تحلیل آماری معنادار باشد و صرف کاهش بیشتر میانگین در گروه ترکیبی برای چنین نتیجه گیری ای کافی نیست.

یافته مربوط به کاهش پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ با نتایج برخی مطالعات پیشین همسو است. در یک مطالعه، هشت هفته فعالیت ورزشی موجب کاهش بیان پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ در بافت چربی احشایی و کاهش شاخص های مرتبط با تجمع ماکروفاژها شد (کو و کیم^۲، ۲۰۱۳). همچنین گزارش شده است که فعالیت ورزشی، حتی بدون ایجاد کاهش شدید وزن، می تواند پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ را کاهش دهد؛ اگرچه همه شاخص های التهابی الزاماً به یک اندازه تغییر نمی کنند (بیورز^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). کاهش اینترلوکین-۸ نیز با مطالعه دورنلس و همکاران همسو است که نشان دادند فعالیت تناوبی شدید موجب کاهش اینترلوکین-۸ و افزایش اینترلوکین-۱۰ در افراد دارای اضافه وزن و چاقی می شود (دورنلس^۴ و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین در مطالعه ای دیگر، تمرین هوازی با کاهش حدود ۳۵ درصدی اینترلوکین-۸ همراه بود (ماکیل^۵ و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، نتایج همه مطالعات همسو نیستند؛ برای مثال، یک دوره کوتاه تمرینی در افراد چاق، با وجود ایجاد تغییر در

¹ Kim

² Ko & Kim

³ Beavers

⁴ Dorneles

⁵ Makiel

پاسخ گیرنده‌های کموکاینی لکوسیت‌ها، تغییر معنی‌داری در کموکاین‌های در گردش ایجاد نکرد (بری^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین فعالیت هوازی حاد در یک پژوهش باعث افزایش موقت اینترلوکین-۸ شد (لاگزینا و همکاران، ۲۰۲۳). این ناهم‌سویی احتمالاً به تفاوت میان پاسخ حاد و سازگاری مزمن، شدت تمرین، مدت مداخله، زمان خون‌گیری، وضعیت چاقی، کاهش وزن و سطح اولیه التهاب مربوط است. افزایش گذرای اینترلوکین-۸ بلافاصله پس از یک جلسه ورزش لزوماً با اثر ضدالتهابی تمرین منظم در حالت استراحت تناقض ندارد.

مکانیسم اثر تمرین بر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ را می‌توان از چند مسیر توضیح داد. تمرین منظم با افزایش مصرف انرژی و کاهش اندازه بافت چربی، تعداد سلول‌های چربی هیپرتروفیک و میزان هیپوکسی بافت چربی را کاهش می‌دهد؛ در نتیجه تحریک ماکروفاژها و تولید کموکاین‌هایی مانند پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ کمتر می‌شود. فعالیت ورزشی متوسط همچنین می‌تواند فعالیت مسیر التهابی فاکتور هسته‌ای کاپا-بی را مهار کند و بیان ژن‌های تولیدکننده سایتوکاین‌ها و کموکاین‌های پیش‌التهابی را کاهش دهد (کیم و همکاران، ۲۰۰۶). کاهش پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ باعث محدود شدن فراخوانی مونوسیت‌ها به بافت چربی و کاهش تبدیل آن‌ها به ماکروفاژهای پیش‌التهابی می‌شود. از سوی دیگر، انقباض عضلات اسکلتی موجب آزاد شدن مایوکاین‌ها و ایجاد یک پاسخ تنظیمی می‌شود که با افزایش عوامل ضدالتهابی مانند اینترلوکین-۱۰ و مهار تولید فاکتور نکروز توموری آلفا همراه است. بهبود حساسیت به انسولین، عملکرد میتوکندریایی و دفاع آنتی‌اکسیدانی نیز تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تحریک مسیرهای التهابی را کاهش می‌دهد. بنابراین، کاهش پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ احتمالاً حاصل مجموعه‌ای از تغییرات در بافت چربی، عضله، سلول‌های ایمنی و مسیرهای پیام‌رسانی درون‌سلولی است و نمی‌توان آن را تنها به کاهش وزن نسبت داد.

اثر مکمل سنجید دریایی نیز می‌تواند به وجود فلاونوئیدها، ترکیبات فنولی، کاروتنوئیدها، ویتامین E و اسیدهای چرب غیراشباع مرتبط باشد. این ترکیبات با خنثی کردن گونه‌های فعال اکسیژن، تقویت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش فعال شدن فاکتور هسته‌ای کاپا-بی می‌توانند بیان عوامل پیش‌التهابی و کموکاین‌هایی مانند پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ را محدود کنند. پژوهش‌های آزمایشگاهی و حیوانی نشان داده‌اند که روغن یا فلاونوئیدهای سنجید دریایی می‌توانند فعالیت فاکتور هسته‌ای کاپا-بی و تولید سایتوکاین‌های پیش‌التهابی را کاهش دهند (بالکریشنا^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). در یک کارآزمایی انسانی نیز مصرف سنجید دریایی با کاهش معنی‌دار پروتئین واکنشی C^۳ نسبت به دارونما همراه بود که از ظرفیت ضدالتهابی آن حمایت می‌کند (لارمو و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین مصرف روغن پالپ سنجید دریایی با دوز ۸۰۰ میلی‌گرم در روز در کودکان چاق، بهبود برخی شاخص‌های قلبی‌متابولیک، اکسیداتیو و التهابی را نشان داده است؛ هرچند اثر آن بر التهاب ضعیف‌تر از برخی پیامدهای متابولیکی گزارش شد (چن^۴ و همکاران، ۲۰۲۳). در مقابل، در بیماران همودیالیزی، مکمل روغن سنجید دریایی تغییر معنی‌داری در وضعیت

¹ Barry

² Balkrishna

³ CRP

⁴ Chen

التهاب و استرس اکسیداتیو ایجاد نکرد (روده^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین، اثر مکمل ممکن است به نوع فرآورده، بخش مورد استفاده گیاه، مقدار ترکیبات فعال، دوز مصرفی، مدت مداخله و ویژگی‌های آزمودنی‌ها وابسته باشد و شواهد مستقیم انسانی درباره اثر آن بر پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ همچنان محدود است.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به حجم نمونه کم، محدود بودن آزمودنی‌ها به مردان چاق، کوتاه‌بودن دوره مداخله و نبود پیگیری پس از پایان پژوهش اشاره کرد. همچنین کنترل کامل رژیم غذایی، خواب، استرس، فعالیت بدنی خارج از جلسات تمرین و تفاوت‌های فردی در جذب مکمل دشوار است. اندازه‌گیری پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ تنها در سرم، اطلاعات مستقیمی درباره بیان ژنی یا تغییرات این عوامل در بافت چربی و عضله فراهم نمی‌کند. نبود گروه دارونما و کورسازی نیز می‌تواند احتمال سوگیری را افزایش دهد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با نمونه بزرگ‌تر، حضور زنان، دوره‌های طولانی‌تر، گروه دارونما و پیگیری پس از مداخله انجام شوند. اندازه‌گیری ترکیب بدن، چربی احشایی، حساسیت به انسولین، پروتئین واکنشی C، فاکتور نکروز توموری آلفا، اینترلوکین-۶، اینترلوکین-۱۰ و فعالیت فاکتور هسته‌ای کاپا-بی و شاخص‌های استرس اکسیداتیو می‌تواند مکانیسم اثر را دقیق‌تر مشخص کند. همچنین مقایسه دوزها و شکل‌های مختلف سنجید دریایی و انجام نمونه‌برداری در چند زمان پس از آخرین جلسه تمرین پیشنهاد می‌شود. در مجموع، نتایج حاضر نشان می‌دهد که ترکیب تمرین تناوبی با شدت متوسط و مکمل سنجید دریایی ممکن است راهکاری مؤثرتر از اجرای هر مداخله به‌تنهایی برای کاهش التهاب مرتبط با چاقی باشد؛ با این حال، این نتیجه باید با داده‌های واقعی و پژوهش‌های کنترل‌شده بیشتر تأیید شود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش، هشت هفته تمرین تناوبی با شدت متوسط و مصرف مکمل سنجید دریایی با کاهش معنادار سطوح پروتئین جاذب شیمیایی مونوسیت-۱ و اینترلوکین-۸ در مردان چاق همراه بود. بیشترین کاهش هر دو شاخص در گروه تمرین همراه با مکمل مشاهده شد و میزان تغییر در این گروه در مقایسه با گروه‌های تمرین و مکمل به‌تنهایی تفاوت معناداری داشت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب تمرین تناوبی با شدت متوسط و مکمل سنجید دریایی ممکن است در کاهش برخی شاخص‌های التهابی مرتبط با چاقی مؤثر باشد. با این حال، با توجه به محدودیت‌های پژوهش، از جمله حجم نمونه و مدت مداخله، نمی‌توان بر اساس نتایج حاضر درباره بهبود کلی وضعیت متابولیکی یا وجود اثر هم‌افزایی قطعی بین تمرین و مکمل نتیجه‌گیری کرد. بنابراین،

¹ Rodhe

انجام مطالعات آینده با حجم نمونه بزرگ‌تر، دوره مداخله طولانی‌تر، کنترل دقیق‌تر عوامل مداخله‌گر و بررسی شاخص‌های متابولیکی و التهابی بیشتر برای تأیید این یافته‌ها و روشن شدن سازوکارهای احتمالی توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی:

بدین وسیله، نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی را از کلیه کسانی که در انجام این مطالعه همکاری نمودند، به عمل می‌آورند.

منابع:

1. World Health Organization. Obesity and overweight
2. Rubino, F., Cummings, D. E., Eckel, R. H., Cohen, R. V., Wilding, J. P., Brown, W. A., ... & Mingrone, G. (2025). Definition and diagnostic criteria of clinical obesity. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 13(3), 221-262.
3. Kawai, T., Autieri, M. V., & Scalia, R. (2021). Adipose tissue inflammation and metabolic dysfunction in obesity. *American journal of physiology-cell physiology*, 320(3), C375-C391.
4. Weisberg, S. P., McCann, D., Desai, M., Rosenbaum, M., Leibel, R. L., & Ferrante, A. W. (2003). Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. *The Journal of clinical investigation*, 112(12), 1796-1808.
5. Kanda, H., Tateya, S., Tamori, Y., Kotani, K., Hiasa, K. I., Kitazawa, R., ... & Kasuga, M. (2006). MCP-1 contributes to macrophage infiltration into adipose tissue, insulin resistance, and hepatic steatosis in obesity. *The Journal of clinical investigation*, 116(6), 1494-1505.
6. Sartipy, P., & Loskutoff, D. J. (2003). Monocyte chemoattractant protein 1 in obesity and insulin resistance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(12), 7265-7270.
7. Strackowski, M., Dzienis-Strackowska, S., Stępien, A., Kowalska, I., Szelachowska, M., & Kinalska, I. (2002). Plasma interleukin-8 concentrations are increased in obese subjects and related to fat mass and tumor necrosis factor- α system. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 87(10), 4602-4606.
8. Bruun, J. M., Lihn, A. S., Madan, A. K., Pedersen, S. B., Schiøtt, K. M., Fain, J. N., & Richelsen, B. (2004). Higher production of IL-8 in visceral vs. subcutaneous adipose tissue. Implication of nonadipose cells in adipose tissue. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 286(1), E8-E13.
9. Gonzalo-Encabo, P., Maldonado, G., Valadés, D., Ferragut, C., & Pérez-López, A. (2021). The role of exercise training on low-grade systemic inflammation in adults with overweight and obesity: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 13258.
10. Maaloul, R., Dhia, I. B., Marzougui, H., Turki, M., Kacem, F., Makhoulouf, R., ... & Hammouda, O. (2023). Is moderate-intensity interval training more tolerable than high-intensity interval training in adults with obesity?. *Biology of Sport*, 40(4), 1159-1167.
11. Makiel, K., Suder, A., Targosz, A., Maciejczyk, M., & Haim, A. (2023). Exercise-induced alternations of adiponectin, interleukin-8 and indicators of carbohydrate metabolism in males with metabolic syndrome. *Biomolecules*, 13(5), 852.
12. Lagzdina, R., Rumaka, M., Gersone, G., & Tretjakovs, P. (2023). Circulating levels of IL-8 and MCP-1 in healthy adults: changes after an acute aerobic exercise and association with body composition and energy metabolism. *International journal of molecular sciences*, 24(19), 14725.
13. Zhang, W., Zhang, X., Zou, K., Xie, J., Zhao, S., Liu, J., ... & Wang, Y. (2017). Seabuckthorn berry polysaccharide protects against carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in mice via anti-oxidative and anti-inflammatory activities. *Food & function*, 8(9), 3130-3138.
14. Ren, Q. C., Li, X. H., Li, Q. Y., Yang, H. L., Wang, H. L., Zhang, H., ... & Shen, X. F. (2019). Total flavonoids from sea buckthorn ameliorates lipopolysaccharide/cigarette smoke-induced airway inflammation. *Phytotherapy Research*, 33(8), 2102-2117.

15. Gu, Y., Wang, X., Liu, F., Zhang, J., Zhang, X., Liu, J., ... & Hou, D. (2022). Total flavonoids of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) improve MC903-induced atopic dermatitis-like lesions. *Journal of Ethnopharmacology*, 292, 115195.
16. Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., ... & Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(7), 1334-1359.
17. Flairty, J. E., & Sheadler, C. M. (2020). Perceived and heart rate-based intensities during self-paced walking: Magnitudes and comparison. *International journal of exercise science*, 13(5), 677.
18. Wewege, M., Van Den Berg, R., Ward, R. E., & Keech, A. (2017). The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Obesity reviews*, 18(6), 635-646.
19. Gripp, F., Nava, R. C., Cardoso, C. R., Adriana, E. E., Diniz, M. C. O., Dias-Peixoto, M. F., & Trigueiro, A. F. (2021). HIIT is superior than MICT on cardiometabolic health during training and detraining. *European journal of applied physiology*, 121(1), 159-172.
20. Virgolici, B., Lixandru, D., Casariu, E. D., Stancu, M., Greabu, M., Totan, A., ... & Mohora, M. (2013). Sea buckthorn pulp oil treatment prevents atherosclerosis in obese children. *International Scholarly Research Notices*, 2013(1), 164941.
21. Larmo, P. S., Yang, B., Hyssälä, J., Kallio, H. P., & Erkkola, R. (2014). Effects of sea buckthorn oil intake on vaginal atrophy in postmenopausal women: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Maturitas*, 79(3), 316-321.
22. Larmo, P. S., Kangas, A. J., Soininen, P., Lehtonen, H. M., Suomela, J. P., Yang, B., ... & Kallio, H. P. (2013). Effects of sea buckthorn and bilberry on serum metabolites differ according to baseline metabolic profiles in overweight women: a randomized crossover trial. *The American journal of clinical nutrition*, 98(4), 941-951.
23. Mortensen, M. W., Spagner, C., Cuparencu, C., Astrup, A., Raben, A., & Dragsted, L. O. (2018). Sea buckthorn decreases and delays insulin response and improves glycaemic profile following a sucrose-containing berry meal: a randomised, controlled, crossover study of Danish sea buckthorn and strawberries in overweight and obese male subjects. *European journal of nutrition*, 57(8), 2827-2837.
24. Kim, C. S., Park, H. S., Kawada, T., Kim, J. H., Lim, D., Hubbard, N. E., ... & Yu, R. (2006). Circulating levels of MCP-1 and IL-8 are elevated in human obese subjects and associated with obesity-related parameters. *International journal of obesity*, 30(9), 1347-1355.
25. Ko, J., & Kim, K. (2013). Effects of exercise and diet composition on expression of MCP-1 and oxidative stress-related mRNA of adipose tissue in diet-induced obese mice. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, 17(4), 181.
26. Beavers, K. M., Ambrosius, W. T., Nicklas, B. J., & Rejeski, W. J. (2013). Independent and combined effects of physical activity and weight loss on inflammatory biomarkers in overweight and obese older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61(7), 1089-1094.
27. Dorneles, G. P., Haddad, D. O., Fagundes, V. O., Vargas, B. K., Kloecker, A., Romão, P. R., & Peres, A. (2016). High intensity interval exercise decreases IL-8 and enhances the immunomodulatory cytokine interleukin-10 in lean and overweight-obese individuals. *Cytokine*, 77, 1-9.

28. Makiel, K., Suder, A., Targosz, A., Maciejczyk, M., & Haim, A. (2023). Exercise-induced alternations of adiponectin, interleukin-8 and indicators of carbohydrate metabolism in males with metabolic syndrome. *Biomolecules*, 13(5), 852.
29. Barry, J. C., Simtchouk, S., Durrer, C., Jung, M. E., & Little, J. P. (2017). Short-term exercise training alters leukocyte chemokine receptors in obese adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(8), 1631-1640.
30. Lagzdina, R., Rumaka, M., Gersone, G., & Tretjakovs, P. (2023). Circulating levels of IL-8 and MCP-1 in healthy adults: changes after an acute aerobic exercise and association with body composition and energy metabolism. *International journal of molecular sciences*, 24(19), 14725.
31. Liu, H. W., & Chang, S. J. (2018). Moderate exercise suppresses NF- κ B signaling and activates the SIRT1-AMPK-PGC1 α Axis to attenuate muscle loss in diabetic db/db mice. *Frontiers in physiology*, 9, 636.
32. Balkrishna, A., Sakat, S. S., Joshi, K., Joshi, K., Sharma, V., Ranjan, R., ... & Varshney, A. (2019). Cytokines driven anti-inflammatory and anti-psoriasis like efficacies of nutraceutical sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) oil. *Frontiers in Pharmacology*, 10, 453227.
33. Larmo, P., Alin, J., Salminen, E., Kallio, H., & Tahvonen, R. (2008). Effects of sea buckthorn berries on infections and inflammation: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *European journal of clinical nutrition*, 62(9), 1123-1130.
34. Chen, Y., Cai, Y., Wang, K., & Wang, Y. (2023). Bioactive compounds in sea buckthorn and their efficacy in preventing and treating metabolic syndrome. *Foods*, 12(10), 1985.
35. Rodhe, Y., Woodhill, T., Thorman, R., Möller, L., & Hylander, B. (2013). The effect of sea buckthorn supplement on oral health, inflammation, and DNA damage in hemodialysis patients: a double-blinded, randomized crossover study. *Journal of Renal Nutrition*, 23(3), 172-179.

Effects of Eight Weeks of Moderate-Intensity Interval Training Combined with Sea Buckthorn Supplementation on MCP-1 and Interleukin-8 Levels in Obese Men

Danial Asadollahi Sohi ^{*1}, Mohammad KarimiZand²

1- Senior expert in exercise physiology, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Islamic Azad University, Tehran Branch

2 - Islamic Azad University, Science and Research Branch, Faculty of Humanities, Department of Exercise Physiology and Wellness, Master's Degree (M.Sc.)

Abstract

Obesity is a major health concern associated with increased low-grade chronic inflammation and elevated production of inflammatory chemokines, including monocyte chemoattractant protein-1 (MCP-1) and interleukin-8 (IL-8), which may contribute to the progression of metabolic disorders. Therefore, non-pharmacological strategies such as exercise and antioxidant-rich herbal supplements may be effective in reducing obesity-related inflammation. The present study aimed to investigate the effects of eight weeks of moderate-intensity interval training and sea buckthorn supplementation on serum concentrations of monocyte chemoattractant protein-1 and interleukin-8 in obese men. This study employed a quasi-experimental pretest–posttest design with a control group. Thirty-two obese men were randomly assigned to four groups: control, exercise, supplementation, and exercise combined with supplementation, with eight participants in each group. The exercise program was performed on a treadmill for eight weeks, three sessions per week, at an intensity of 55–65% of heart rate reserve. Participants in the supplementation groups consumed sea buckthorn throughout the intervention period. Blood samples were collected before the intervention and 48 hours after the final exercise session, and serum concentrations of monocyte chemoattractant protein-1 and interleukin-8 were measured. Data were analyzed using mixed analysis of variance and the Bonferroni post hoc test at a significance level of 0.05. The results showed a significant group $\times$ time interaction for both monocyte chemoattractant protein-1 and interleukin-8 ($P < 0.05$). The concentrations of both biomarkers were significantly reduced in the exercise, supplementation, and combined exercise and supplementation groups compared with the control group, with the greatest reductions observed in the combined exercise and supplementation group. However, the difference between the exercise and supplementation groups was not statistically significant. Overall, eight weeks of moderate-intensity interval training and sea buckthorn supplementation, particularly when used in combination, may improve the inflammatory status of obese men by reducing monocyte chemoattractant protein-1 and interleukin-8 concentrations. Therefore, the combination of exercise and sea buckthorn supplementation may be considered a potential non-pharmacological strategy for reducing obesity-related inflammation.

Keywords: Obesity, interval training, sea buckthorn, monocyte chemoattractant protein-1, interleukin-8, inflammation.

* Correspondence: daaniyaaaal76@gmail.com