



2025 (Summer), 3 (2): 1-7

DOI:

Research article

Journal of Physiology of Training and Sports Injuries

(PTSIJournal@gmail.com)

(zanjan.ptsijournal@iaui.ac.ir)

<https://sanad.iaui.ac.ir/journal/eps>

Received: 2025/4/14

Accepted: 2025/7/1

(ISSN: 3060 - 6306)

Effects of resistance, endurance and combined training on interleukin-6 gene expression in fast-twitch muscle tissue of male wistar rats

Ali Akbar Ajgholi¹, Tahereh Bagherpour², Nematollah Nemati¹

1. Department of Sport Sciences, Da. C., Islamic Azad University, Damghan, Semnan, Iran.

2. Department of Sports Sciences, Da. C., Islamic Azad University, Damghan, Semnan, Iran. (Corresponding Author).

Email: bagherpour@damghaniaui.ac.ir

Abstract:

The effects of resistance and endurance training alone and separately have been investigated in numerous studies on inflammatory markers such as interleukin-6, and contradictory results have been reported. The combination of resistance and endurance training can have additive effects that require further research. Given the lack of knowledge about the effects of combined resistance and endurance training on the expression of the inflammatory marker interleukin-6 gene in muscle tissue, and especially the fact that no study has been conducted to determine and compare changes in interleukin-6 gene expression in the extensor digitorum longus muscle tissue (fast-twitch fiber), the present study aims to study the effects of different types of training on the fast-twitch fiber.

The present experimental study aimed to determine and compare the effects of eight weeks of resistance, endurance, and combined training on interleukin-6 gene expression in the extensor digitorum longus muscle tissue of two-month-old male Wistar rats using an animal model in a multi-group research design with a control group. Resistance training was performed for 8 weeks and 5 sessions per week in 3 sessions with 6 repetitions in each session. Rest intervals between sessions were 3 minutes and rest intervals between repetitions in each session were 45 seconds. Resistance was applied by tying weights to the tails of the rats' equivalent to different percentages of body weight on a constant 15 percent incline during the training period. The endurance training group participated in the endurance training program for 8 weeks. The treadmill incline was 15 percent throughout the training period. The treadmill speed also started at 20 meters per minute in the first week and reached 30 meters per minute in the last week. The duration of the exercise started from 10 minutes per day in the first week and increased to 50 minutes per day in the last week. Real Time-PCR method was used to examine the level of mRNA expression. The mean of the variables in the groups (except the control group) were compared using one-way ANOVA and Bonferroni tests to determine the differences between the groups. The mean of variables among each group and the control were compared using one-sample t-test to determine the differences within the groups. The results show a change and decrease in the relative expression of the interleukin-6 gene in the extensor digitorum longus muscle of rats due to eight weeks of resistance, endurance, and combined training. A comparison between the two resistance and endurance training groups showed that there was no difference between these two training methods in decrease of interleukin-6 gene expression. Given the optimal and more desirable effects of combined training on body weight and the interleukin-6 gene expression; it is recommended that, if necessary and appropriate conditions exist and there are no restrictions, combined training be used instead of performing resistance or endurance training separately.

Keywords: Inflammation, interleukin-6, fast twitch fibers, exercise training.

How to Cite: Ajgholi, A.A., Bagherpour, T., Nemati, N. (2025). Effects of resistance, endurance and combined training on interleukin-6 gene expression in fast-twitch muscle tissue of male wistar rats. Journal of Physiology of Training and Sports Injuries, 3(2):1-7. [Persian].



دوره ۳ - شماره ۲
تابستان ۱۴۰۴ - صص: ۷-۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۱۰
مقاله پژوهشی

اثرات تمرینات مقاومتی، استقامتی و ترکیبی بر بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه تند انقباض موش‌های نر نژاد ویستار

علی اکبر آج‌قلی^۱، طاهره باقرپور^۲، نعمت‌اله نعمتی^۱

۱. گروه علوم ورزشی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، سمنان، ایران.

۲. گروه علوم ورزشی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، سمنان، ایران. (نویسنده مسئول).

آدرس پست الکترونیک آکادمیک: bagherpour@damghaniau.ac.ir

چکیده:

اثرات تمرینات مقاومتی و استقامتی به تنهایی و جدای از هم در مطالعات متعدد روی شاخص‌های التهابی نظیر اینترلوکین شش بررسی و نتایج متناقضی مطرح شده است. با توجه به کمبود دانسته‌ها در خصوص اثرات تمرینات ترکیبی مقاومتی و استقامتی بر بیان ژن شاخص التهابی اینترلوکین شش در بافت ماهیچه و به ویژه آن که مطالعه‌ای در خصوص تعیین و مقایسه تغییرات بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست (عضله تند انقباض) انجام نشده است؛ پژوهش حاضر در نظر دارد تا اثرات نوع متفاوت تمرین در یک ماهیچه را مطالعه کند. پژوهش تجربی حاضر با هدف تعیین و مقایسه اثرات اجرای هشت هفته تمرین مقاومتی، استقامتی و ترکیبی بر بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست موش‌های نر دو ماهه نژاد ویستار با استفاده از یک مدل حیوانی در قالب یک طرح پژوهشی چند گروهی با گروه کنترل اجرا شد. تمرینات مقاومتی به مدت هشت هفته و پنج جلسه در هفته در قالب سه ست با شش تکرار در هر ست اجرا شد. فواصل استراحتی بین ست‌ها سه دقیقه و فواصل استراحتی بین تکرارها در هر ست چهل و پنج ثانیه بود. اعمال مقاومت به صورت بستن وزنه به دم موش‌ها معادل درصد‌های متفاوتی از وزن بدن در یک سطح شیب‌دار ثابت پانزده درصدی در طول دوره تمرین بود. گروه تمرین استقامتی به مدت هشت هفته در برنامه تمرین استقامتی شرکت کردند. شیب نوارگردان در سرتاسر دوره تمرین، پانزده درصد بود. سرعت نوارگردان نیز از بیست متر بر دقیقه در هفته اول شروع و به سی متر بر دقیقه در هفته هشتم رسید. مدت زمان تمرین از ده دقیقه در روز در هفته اول شروع و به پنجاه دقیقه در روز در هفته هشتم رسید. برای بررسی میزان بیان mRNA مورد نظر از روش RT-PCR استفاده شد. میانگین متغیرهای پژوهش در بین گروه‌ها (بجز گروه کنترل) با هدف تعیین تفاوت‌های بین گروهی، با استفاده از آزمون‌های آنالیز واریانس یک طرفه و بونفرونی استفاده شد. میانگین متغیرهای پژوهش در بین هر گروه با گروه کنترل با هدف تعیین تفاوت‌های درون گروهی، با استفاده از آزمون آماری تی تک نمونه مقایسه شد. نتایج نشان دهنده تغییر و کاهش میزان بیان نسبی ژن اینترلوکین شش در بافت عضله بازکننده دراز انگشتان دست موش‌ها به واسطه اجرای هشت هفته تمرینات مقاومتی، استقامتی و ترکیبی بود. مقایسه بین دو گروه تمرینات مقاومتی و استقامتی نشان داد که بین این دو شیوه تمرینی در کاهش میزان بیان نسبی ژن اینترلوکین شش تفاوتی وجود ندارد. با توجه به اثرات بهینه و مطلوب‌تر اجرای تمرین ترکیبی بر وزن بدن و میزان بیان ژن التهابی اینترلوکین شش و تعدیل اثرات نامطلوب؛ توصیه می‌شود که در صورت وجود شرایط لازم و مناسب و عدم وجود محدودیت، به جای انجام تمرینات مقاومتی یا استقامتی به صورت جداگانه، از تمرینات ترکیبی استفاده شود.

واژگان کلیدی: التهاب، اینترلوکین شش، تارهای تند انقباض، تمرین ورزشی.

شیوه استناددهی: آج‌قلی، علی اکبر؛ باقرپور، طاهره؛ نعمتی، نعمت‌اله. اثرات تمرینات مقاومتی، استقامتی و ترکیبی بر بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه تند انقباض موش‌های نر نژاد ویستار. فصلنامه فیزیولوژی تمرین و آسیب‌های ورزشی، تابستان ۱۴۰۴، ۳(۲): ۷-۱.

فصلنامه فیزیولوژی تمرین و آسیب‌های ورزشی؛ تابستان ۱۴۰۴، ۳(۲).



۱. مقدمه

التهاب، پاسخی فیزیولوژیک به محرک‌های گوناگون مثل عفونت، جراحات بافتی و ترومای بدنی است [۱۵]. تمرین ورزشی و دوره ریکاوری پس از آن، همراه با پاسخ‌هایی است که مشابهت زیادی با بسیاری از تغییرات ناشی از عفونت و التهاب دارد [۱۳، ۱]. تمرین ورزشی، همچنین، عملکرد ایمنی را تعدیل می‌کند که با تغییرات زیادی در تعادل و کاهش کلی در عملکرد سیستم ایمنی به ویژه در هنگامی که بارهای تمرینی زیاد است، همراه است [۱۳]. سلول‌های ایمنی و سایتوکاین‌ها در طی ورزش، در پاسخ به آسیب ماهیچه و همچنین رهاش هورمون‌های استرسی که در پاسخ به افزایش نیازهای متابولیکی و دمایی مرکزی بدن در طی ورزش آزاد می‌شوند، تحریک و فعال می‌شوند [۸]. فشارهای اکسایشی ناشی از ورزش، عامل دیگری است که بر تولید سایتوکاین‌ها مؤثر است [۹]. فشارهای اکسایشی در نتیجه واکنش‌های اکسایشی درون ماهیچه اسکلتی و به‌خصوص آسیب ماهیچه ناشی می‌شود [۱۶]. گونه‌های فعال نیتریک اکساید به وجود آمده از طریق متابولیسم اکسایشی و آسیب عضله می‌تواند مسیرهای انتقال سیگنال حساس به اکسایش و احیا که تولید سایتوکاین‌ها را کنترل می‌کنند، فعال کند [۱۷]. در طی ورزش، آنزیم‌های ضد اکسایشی درونی و مکمل‌های ضد اکسایشی غذایی می‌توانند به طور بالقوه تولید سایتوکاین‌ها را مستقیماً به وسیله خنثی‌سازی گونه‌های فعال نیتریک اکساید کاهش داده یا فعالیت مسیرهای انتقال سیگنال حساس به اکسایش و احیا را مهار کنند [۸].

تولید سایتوکاین‌ها در طی ورزش به وسیله تعدادی از عوامل دیگر نیز متأثر می‌شود [۱۰]. تجزیه گلیکوژن عضله و کلاسیم دو عامل مهم هستند که تولید سایتوکاین‌ها را درون عضله اسکلتی طی ورزش تنظیم می‌کنند [۲]. بالا رفتن دمای مرکزی در طی ورزش می‌تواند جذب اندوتوکسین‌ها (لیپوپولی‌ساکارید) را از میان دیواره روده کوچک به درون جریان خون کاهش دهد و این می‌تواند تولید سایتوکاین را تغییر دهد [۷]. تداخل میان سلول‌های ایمنی و هورمون‌های استرسی در نوسانات تولید سایتوکاین‌ها سهیم هستند [۸].

پاسخ سیستمیک که به عنوان پاسخ مرحله حاد نیز شناخته می‌شود، شامل تولید تعداد زیادی از پروتئین‌های مرحله حاد نظیر اینترلوکین شش است که به عنوان شاخص التهاب سیستمی، شناخته می‌شود [۱۷]. اینترلوکین شش یک علامت خطر سیستمیک است که اساساً توسط هر بافت آسیب دیده تولید می‌شود [۲۰]. افزایش اینترلوکین شش پلاسما همچنین پس از ورزش شدید و طولانی مدت هم دیده شده و در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است [۵، ۱۸]. به نظر می‌رسد که رهاش اینترلوکین شش از ماهیچه در حال انقباض و در پی آن تجمع در گردش عمومی خون رابطه نزدیکی با مدت و شدت

فصلنامه فیزیولوژی تمرین و آسیب‌های ورزشی؛ تابستان ۱۴۰۴، ۳(۲).

ورزش دارد [۱۳]. اینترلوکین شش در عضله اسکلتی، متابولیسم کربوهیدرات و لیپید را تنظیم کرده و باعث افزایش تکثیر سلول‌های ماهواره‌ای می‌شود [۲]. به هنگام ورزش بلند مدت، سطح گلیکوژن عضلات اسکلتی در حال انقباض کاهش می‌یابد [۲]. فرض بر این است که به هنگام ورزش بلند مدت و در پاسخ به بحران انرژی و به ویژه کاهش در ذخایر گلیکوژن تارهای عضله و میوفیبریل‌های در حال انقباض، رهاش اینترلوکین شش از عضلات اسکلتی رخ دهد [۱۶]. با کاهش گلیکوژن عضله، وابستگی عضلات در حال انقباض به گلوکز خون به عنوان منبع انرژی افزایش می‌یابد [۴]. بنابراین، رهاش اینترلوکین شش از عضلات در حال انقباض ممکن است پیامی به کبد برای افزایش تولید گلوکز باشد تا از افت گلوکز خون ناشی از ورزش جلوگیری کند [۲، ۱۶]. مصرف کربوهیدرات به هنگام ورزش، غلظت سیستمیک اینترلوکین شش را کاهش می‌دهد [۲، ۱۶، ۱۸].

بر اساس سندرم سازگاری عمومی، فعالیت ورزشی و ریکاوری پس از آن می‌تواند مزایایی برای بدن توسط فعال شدن مکانیسم سازگاری طبیعی فراهم کند [۱۴، ۱۷]. فعالیت استقامتی می‌تواند از طریق افزایش مقاومت عضلات به خستگی و افزایش سوخت و ساز بافت چربی، روند تولید سایتوکاین‌های پیش التهابی را کاهش دهد [۴، ۱۱]. در حالی که تمرین مقاومتی، قدرت و توده عضلانی را افزایش داده و با کاهش توده چربی، روند تولید سایتوکاین‌های پیش التهابی را کاهش می‌دهد [۴، ۱]. اثرات تمرینات مقاومتی و استقامتی به تنهایی و جدای از هم در مطالعات متعدد روی شاخص‌های التهابی نظیر اینترلوکین شش بررسی و نتایج متناقضی مطرح شده است [۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۴].

به نظر می‌رسد که سازگاری‌های حاصل از تمرین ترکیبی ممکن است بر سایتوکاین‌های پیش التهابی نظیر اینترلوکین شش اثر متفاوتی داشته باشد [۴، ۱۱، ۱۴]. از این منظر، ترکیب تمرین استقامتی و مقاومتی می‌تواند اثرات مضاعفی نیز داشته باشد که نیازمند تحقیق بیشتر است. با توجه به کمبود دانسته‌ها در خصوص اثرات تمرینات ترکیبی مقاومتی و استقامتی بر بیان ژن شاخص التهابی اینترلوکین شش در بافت ماهیچه و به ویژه آن که مطالعه‌ای در خصوص تعیین و مقایسه تغییرات بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست (عضله تند انقباض) انجام نشده است؛ پژوهش حاضر در نظر دارد تا اثر تمرینات مقاومتی، استقامتی و ترکیبی را بر بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست (عضله تند انقباض) موش‌های نر نژاد ویستار مورد مطالعه قرار دهد تا مشخص شود که آیا نوع متفاوت تمرین در یک ماهیچه می‌تواند اثرات مختلفی در بیان این ژن ایجاد کند.

۲. روش پژوهش

پژوهش تجربی حاضر با هدف تعیین و مقایسه اثرات اجرای هشت هفته تمرین مقاومتی، استقامتی و ترکیبی بر بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست (عضله تند انقباض) موش‌های نر دو ماهه نژاد ویستار با استفاده از یک مدل حیوانی در قالب یک طرح پژوهشی چند گروهی با گروه کنترل اجرا شد. تعداد چهل سر موش نر دو ماهه نژاد ویستار تهیه و پس از دو هفته نگهداری در شرایط کنترل شده استاندارد با هدف آشنایی و سازگاری با محیط زندگی، شرایط تغذیه‌ای و تمرینی؛ به چهار گروه مساوی تقسیم شدند. در پایان دوره دو هفته‌ای، موش‌ها پس از مطابقت وزنی به طور تصادفی در چهار گروه کنترل، تمرین مقاومتی، تمرین استقامتی و تمرین ترکیبی جایگزین شدند. متغیرهای مستقل شامل اجرای هشت هفته تمرین مقاومتی، استقامتی و ترکیبی و متغیر وابسته نیز شامل میزان بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشت شصت دست (یک عضله تند انقباض) بود. همه گروه‌ها به آب (بطری آب ۵۰۰ میلی‌لیتری) و غذای معمولی جوندگان (ده گرم پلت برای هر صد گرم وزن بدن معادل بیست تا سی گرم برای هر موش) از محصولات شرکت خوراک دام پارس به صورت آزادانه دسترسی داشتند. پروتکل اجرای پژوهش به صورت جدول ۱ بود [۱۱].

جدول ۱. پروتکل اجرای پژوهش

گروه	هفته اول و دوم	روز ۱۴	هفته سوم تا دهم (هشت هفته)	روز ۲+
کنترل	نگهداری در شرایط کنترل شده	توزین موش‌ها	اجرای تمرین مقاومتی فزاینده	اندازه‌گیری متغیرهای پژوهش
استقامتی	آشنایی و سازگاری با محیط زندگی، شرایط تغذیه و تمرین		اجرای تمرین استقامتی فزاینده	
ترکیبی			اجرای تمرین ترکیبی فزاینده	

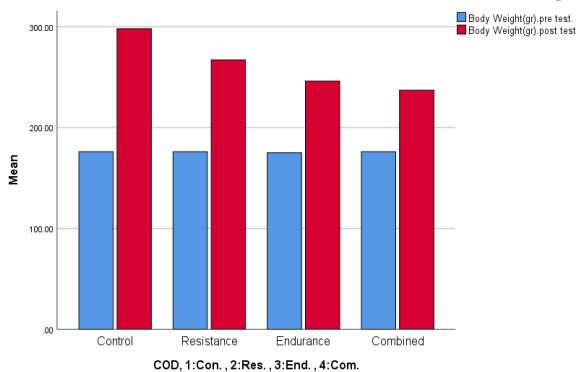
جدول ۲. برنامه هشت هفته‌ای تمرینات

پروتکل تمرین مقاومتی								
تعداد ست‌ها	3	3	3	3	3	3	3	3
تعداد تکرارها	6	6	6	6	6	6	6	6
درصد وزن بدن	20	30	50	60	70	80	90	100
شیب سطح (درصد)	15	15	15	15	15	15	15	15
هفته‌ها	1	2	3	4	5	6	7	8
پروتکل تمرین استقامتی								
مدت (دقیقه)	10	20	20	30	30	40	40	50
سرعت (متر بر دقیقه)	20	24	24	24	26	26	30	30
شیب (درصد)	15	15	15	15	15	15	15	15

گروه تمرین مقاومتی برای پنج روز در هفته (یکشنبه، دوشنبه، سه شنبه، پنجشنبه و جمعه) و به مدت هشت هفته در برنامه تمرین مقاومتی شرکت کردند. تمرینات مقاومتی به مدت هشت هفته و پنج جلسه در هفته در قالب سه دوره با شش تکرار در هر دوره اجرا شد. فواصل استراحتی بین دوره‌ها سه دقیقه و فواصل استراحتی بین تکرارها در هر دوره چهل و پنج ثانیه بود. اعمال مقاومت به صورت بستن وزنه به دم موش‌ها معادل درصدهای متفاوتی از وزن بدن در یک سطح شیب‌دار ثابت پانزده درصدی در طول دوره تمرین بود. گروه تمرین استقامتی برای پنج روز در هفته (یکشنبه، دوشنبه، سه شنبه، پنجشنبه و جمعه) و به مدت هشت هفته در برنامه تمرین استقامتی روی نوارگردان الکترونیکی هوشمند حیوانی شرکت کردند. شیب نوارگردان در سرتاسر دوره تمرین، پانزده درصد بود. سرعت نوارگردان نیز از بیست متر بر دقیقه در هفته اول شروع و به سی متر بر دقیقه در هفته هشتم رسید. مدت زمان تمرین از ده دقیقه در روز در هفته اول شروع و به پنجاه دقیقه در روز در هفته هشتم رسید. هر یک از آزمودنی‌ها در ابتدای جلسه تمرین، پنج دقیقه با سرعت ده متر در دقیقه و شیب صفر درجه، جهت گرم کردن دویند. سپس برای رسیدن به شدت تمرین مورد نظر، سرعت و شیب نوارگردان طی پنج دقیقه به شکل پلکانی افزوده شد. در انتهای برنامه تمرینی، برای سرد کردن، شیب دستگاه به صفر درجه برگشته و سرعت نیز به آرامی به ده متر در دقیقه رسید. مدت مرحله سرد کردن در هفته‌های ابتدایی حدود پنج دقیقه و در هفته‌های پایانی حدود ده دقیقه طول کشید. کلیه جلسات تمرین در ساعات عصر بین سه تا شش اجرا شد. گروه تمرین ترکیبی به مدت هشت هفته و پنج روز در هفته (یکشنبه، دوشنبه، سه شنبه، پنجشنبه و جمعه) در برنامه تمرین ترکیبی مقاومتی و استقامتی شرکت داشتند. روزهای یکشنبه و سه شنبه و جمعه برنامه تمرینات استقامتی و روزهای دوشنبه و پنجشنبه و جمعه برنامه تمرینات مقاومتی اجرا شد. روزهای شنبه و چهارشنبه نیز روز استراحت بود. صبح روز جمعه (ساعت نه تا یازده) برنامه تمرینات استقامتی و عصر روز جمعه (ساعت چهار تا شش) برنامه تمرینات مقاومتی اجرا شد. در دیگر روزها برنامه تمرینی در عصر آن روز بین ساعات سه تا شش اجرا شد. پروتکل برنامه‌های تمرین مقاومتی و استقامتی (جدول ۲) و گرم کردن و سرد کردن مشابه گروه‌های دیگر بود [۱۱].

همه موش‌ها چهل و هشت ساعت پس از آخرین جلسه تمرین و متعاقب دوازده ساعت ناشتایی، طبق برنامه از پیش تعیین شده و با استفاده از شیوه مناسب در دستگاه سیکاتور، بیهوش (تزریق درون صفاقی ۹۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم کتامین و ۱۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم زایلازین) و در کمترین زمان ممکن و با حداقل درد و آزار توسط متخصصین کارآموده کشته و جراحی شدند. با توجه به

در گروه کنترل، ۵۱/۳۵ درصد در گروه تمرین مقاومتی، ۴۰/۲۰ درصد در گروه تمرین استقامتی و ۳۳/۹۰ درصد در گروه تمرین ترکیبی بود. افزایش طبیعی وزن بدن ناشی از افزایش سن که در گروه کنترل محاسبه شده نشان دهنده آن است که عدم انجام فعالیت‌های بدنی، افزایش وزن بیشتری را در مدت هشت هفته باعث شده است؛ در حالی که در گروه‌های تمرینی، افزایش وزن محاسبه شده کمتر از گروه کنترل بوده و این تفاوت معنی‌دار احتمالا ناشی از اثرات اجرای تمرین در این سه گروه بوده است. بر اساس در صدهای افزایش وزن بدن در گروه‌های تمرینی، مشخص می‌شود که حداقل افزایش وزن بدن و بیشترین هزینه انرژی تمرین، مربوط به گروه تمرین ترکیبی بوده و بر این اساس می‌توان اثرات مثبت این گونه تمرینات را مربوط به این متغیر دانست. با این توصیف، تمرینات استقامتی در جایگاه بعدی هزینه انرژی قرار داشته و تمرینات مقاومتی از این نظر رتبه بعدی را دارا می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱. تغییرات وزن بدن در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه‌های مختلف.

مقایسه گروه‌های تمرینی مختلف با گروه کنترل نشان دهنده اثر هشت هفته تمرینات مقاومتی، استقامتی و ترکیبی در تغییرات میزان بیان نسبی ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست (تند انقباض) موش‌های نر بالغ نژاد ویستار بود. تفاوت میانگین‌های میزان نسبی بیان ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست موش‌های نر بالغ نژاد ویستار در گروه تمرین مقاومتی با کنترل [$P \leq 0.001$ و $t(9) = 61.04$], تمرین استقامتی با کنترل [$P \leq 0.001$ و $t(9) = 24.30$] و تمرین ترکیبی با کنترل [$P \leq 0.001$ و $t(9) = 85.70$] معنی‌دار بود (جدول ۳).

تفاوت میانگین‌های متغیر بیان نسبی ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست (تند انقباض) موش‌های نر بالغ نژاد ویستار پس از اجرای هشت هفته تمرینات مقاومتی، استقامتی و ترکیبی معنی‌دار بود [$P \leq 0.001$ و $F(2, 27) = 185.087$]. این تفاوت بین گروه‌های تمرین مقاومتی با تمرین ترکیبی ($P \leq 0.001$) و تمرین استقامتی با تمرین ترکیبی ($P \leq 0.001$) معنی‌دار بود.

هدف مطالعه حاضر، بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست استخراج شده و درون میکروتیوب‌های ۱/۵ میکرولیتری حاوی RNA Later در دمای ۷۰- درجه قرار داده شدند. برای بررسی میزان بیان mRNA مورد نظر از روش Real Time-PCR استفاده شد. پرایمرها به صورت ویال لیوفیلیزه دریافت شده و سپس با بافر TE شرکت سینا ژن و به نسبتی که روی ویال ذکر شده بود، رقیق شد. واکنش PCR با استفاده از کیت Real Q Plus 2X Master Mix Green شرکت ویراژن انجام شد. سیکل‌های آستانه به دست آمده از نمونه‌های گروه‌ها با قرار دادن آن‌ها در فرمول‌های $\Delta\Delta Ct$ و $2^{-\Delta\Delta Ct}$ نسبت میزان بیان ژن هدف و مرجع تعیین شد. توالی، طول و نوع پرایمر طراحی شده برای ژن اینترلوکین شش و ژن مرجع به صورت زیر است.

- CCACCCACAACAGACCAGTA (F)20bp
- AATTGCCATTGCACAACCTCTTT (R)22bp
- توالی پرایمر ژن HPRT^۱ نیز به صورت زیر است.
- CTCATGGACTGATTATGGACAGGAC (F)25bp
- GCAGGTCAGCAAAGAACTTATAGCC (R)25bp

برای آزمون طبیعی بودن توزیع متغیرها از آزمون شاپیرو-ویلک و برای آزمون تجانس واریانس متغیرها از آزمون لوین استفاده شد. میانگین متغیرهای پژوهش در بین گروه‌ها (بجز گروه کنترل) با هدف تعیین تفاوت‌های بین گروهی، با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه مقایسه شد. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار، از آزمون تکمیلی بونفرونی جهت تعیین دقیق تفاوت‌های بین گروهی استفاده شد. میانگین متغیرهای پژوهش در بین هر گروه با گروه کنترل با هدف تعیین تفاوت‌های درون گروهی، با استفاده از آزمون آماری تی تک نمونه مقایسه شد. سطح معنی‌داری در کلیه آزمون‌ها $p \leq 0.05$ بود.

۳. یافته‌ها

نتایج آزمون‌های آماری شاپیرو-ویلک و لوین نشان داد که متغیرهای پژوهش دارای شرط طبیعی بودن توزیع و برابری واریانس‌ها بودند. نتایج آزمون آماری آنالیز واریانس یک راهه نشان داد که تفاوت متغیر وزن بدن در پیش‌آزمون در بین گروه‌های پژوهشی مختلف معنی‌دار نبود [$P = 0.82$ و $F(3, 36) = 0.308$]. تفاوت متغیر وزن در پس‌آزمون معنی‌دار بود [$P \leq 0.001$ و $F(3, 36) = 400.40$]. این تفاوت در بین تمامی گروه‌ها با یکدیگر معنی‌دار بود ($P \leq 0.001$). نتایج آزمون تی زوج نیز نشان داد که تغییرات درون گروهی وزن بدن در گروه‌های کنترل [$P \leq 0.001$ و $t(9) = 52.826$], تمرین مقاومتی [$P \leq 0.001$ و $t(9) = 53.880$], تمرین استقامتی [$P \leq 0.001$ و $t(9) = 42.076$] و تمرین ترکیبی [$P \leq 0.001$ و $t(9) = 44.133$] معنی‌دار بود که نشان دهنده افزایش وزن بدن به میزان ۶۹/۵۰ درصد

داد که اجرای تمرین، مقادیر خونی اینترلوکین شش را تغییری نداد، اما؛ سبب کاهش معنی‌دار این متغیر در عضلات بیماران گردید [۲۰].

با این توصیف، به نظر می‌رسد که اینترلوکین شش یک علامت خطر سیستمیک است که اساساً توسط هر بافت آسیب‌دیده تولید می‌شود [۲۰]. افزایش اینترلوکین شش پلاسما همچنین پس از ورزش شدید و طولانی مدت هم دیده شده و در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است [۵، ۱۸]. اینترلوکین شش در عضله اسکلتی متابولیسم کربوهیدرات و لیپید را تنظیم کرده و باعث افزایش تکثیر سلول‌های ماهواره‌ای می‌شود [۲]. به نظر می‌رسد رهایش اینترلوکین شش از عضلات در حال انقباض و در پی آن تجمع در گردش عمومی رابطه نزدیکی با مدت و شدت فعالیت دارد [۱۳]. به هنگام ورزش بلند مدت سطح گلیکوژن عضلات اسکلتی در حال انقباض کاهش می‌یابد [۲]. فرض بر این است که به هنگام ورزش بلند مدت و در پاسخ به بحران انرژی به ویژه کاهش در ذخایر گلیکوژن عضله و میوفیبریل‌های در حال انقباض، رهایش اینترلوکین شش از عضلات اسکلتی رخ دهد [۱۶]. بنابراین رهایش اینترلوکین شش از عضلات در حال انقباض ممکن است پیامی به کبد برای افزایش تولید گلوکز باشد تا از افت گلوکز خون ناشی از ورزش جلوگیری کند [۲، ۱۶]. نتایج نشان دهنده تغییر و کاهش میزان بیان نسبی ژن اینترلوکین شش در بافت عضله بازکننده دراز انگشتان دست (تند انقباض) موش‌های نر بالغ نژاد ویستار به واسطه اجرای هشت هفته تمرینات مقاومتی، استقامتی و ترکیبی است. مقایسه بین دو گروه تمرینات مقاومتی و استقامتی نشان داد که بین این دو شیوه تمرینی در تغییر و کاهش میزان بیان نسبی ژن اینترلوکین شش تفاوتی وجود ندارد. بنابراین، با توجه به اثرات بهینه و مطلوب‌تر اجرای تمرین ترکیبی بر وزن بدن و میزان بیان ژن التهابی اینترلوکین شش و تعدیل اثرات نامطلوب آن؛ توصیه می‌شود که در صورت وجود شرایط لازم و مناسب و عدم وجود محدودیت، به جای انجام تمرینات مقاومتی یا استقامتی به صورت جداگانه، از تمرینات ترکیبی استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی، تاثیر شدت‌ها و مدت‌های متفاوت انواع برنامه‌های تمرینی روی این ژن و ژن‌های مرتبط و هم چنین فاکتورهای فرادستی و فرودستی ژن‌ها و میزان سنتز پروتئین‌های وابسته در بافت ماهیچه و بافت‌های دیگر مطالعه شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از نتایج رساله دکتری نویسنده است. نویسنده مراتب قدردانی خود را از همکاران محترمی که در انجام این پژوهش مساعدت فرمودند اعلام می‌دارد.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در پژوهش وجود ندارد.

بین گروه‌های تمرین مقاومتی با استقامتی معنی‌دار ($P = 0/119$) نبود (جدول ۴). در حالی که این نتایج نشان دهنده تغییر و کاهش میزان بیان نسبی ژن اینترلوکین شش در بافت عضله بازکننده دراز انگشتان دست (تند انقباض) موش‌های نر بالغ نژاد ویستار به واسطه اجرای هشت هفته تمرینات مقاومتی، استقامتی و ترکیبی است. مقایسه بین دو گروه تمرینات مقاومتی و استقامتی نشان داد که بین این دو شیوه تمرینی در تغییر و کاهش میزان بیان نسبی ژن اینترلوکین شش تفاوتی وجود ندارد.

جدول ۳. نتایج آزمون تی تک نمونه در مقایسه ژن اینترلوکین شش بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست (تند انقباض) با گروه کنترل.

گروه‌ها	M	SD	diff	t	df	P
مقاومتی	۰/۴۴۸	۰/۰۲۸	-۰/۵۵۲	۶۱/۰۴	۹	$P \leq 0/001$
استقامتی	۰/۴۹۲	۰/۰۶۶	-۰/۵۰۸	۲۴/۳۰	۹	$P \leq 0/001$
ترکیبی	۰/۱۳۳	۰/۰۳۲	-۰/۸۶۷	۸۵/۷۰	۹	$P \leq 0/001$
کنترل	۱/۰۰					گروه مرجع

جدول ۴. نتایج آزمون آماری تفاوت میانگین‌های بیان نسبی ژن اینترلوکین شش در بافت ماهیچه بازکننده دراز انگشتان دست.

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	df	میانگین مجزورات	F	P
بین گروهی	۰/۷۶۷	۲	۰/۳۸۳	۱۸۵/۰۸۷	$P \leq 0/001$
درون گروهی	۰/۰۵۶	۲۷	۰/۰۰۲		
کل	۰/۸۲۳	۲۹	////		

۴. بحث و نتیجه‌گیری

سیندوس و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که اینترلوکین شش با چاقی در افراد دیابتی ارتباط دارد، به طوری که با افزایش شاخص توده بدنی، میزان بیان اینترلوکین شش هم افزایش می‌یابد [۱۹]. در عضله اسکلتی زنان چاق سالمند، افزایش بیان ژن‌های التهابی نظیر اینترلوکین شش باعث ایجاد یک وضعیت التهابی بالا شده و می‌تواند قدرت عضلانی را تحت تاثیر قرار دهد [۳]. نایاک (۲۰۱۵) نشان داد که در زنان با شاخص توده بدنی بالا، جهش یا خطا در ژن اینترلوکین شش می‌تواند باعث چاقی بشود [۱۲]. تمرین هوازی باعث تغییر اینترلوکین شش در موش‌های نر نژاد ویستار دریافت کننده غذای پرچرب شد [۵]. میزان خستگی و سطح فعالیت بدنی در زنان تحت درمان با اینترلوکین را مطالعه کردند و نشان دادند که اینترلوکین با کاهش میزان فعالیت بدنی افزایش یافته است [۱۵]. در پژوهشی اثرات ضد التهابی تمرینات ورزشی بر عضلات اسکلتی بیماران با ناتوانی قلبی مزمن مطالعه شد. نتایج نشان



منابع

- [17] Radar, Z., Chung, H.Y., Got, S. (2008). Systemic adaptation to oxidative challenge induced by regular exercise. *Free Radica. Boil Med*, 44:153–159.
- [18] Reihmane, D., Dela, F. (2014). Interleukin-6: possible biological roles during exercise. *Eur J Sport Sci*, 14(3): 242-250.
- [19] Sindhu, S., Thomas, R., Shihab, P., Sriraman, D., Behbahani, K., Ahmad, R. (2015). Obesity is a positive modulator of IL-6R and IL-6 expression in the subcutaneous adipose tissue: significance for metabolic inflammation. *PLoS one*, 10(7): e0133494.
- [20] Tanaka, T., Narazaki, M., Kishimoto, T. (2014). IL-6 in inflammation, immunity, and disease. *Cold Spring Harbor perspective in biology*, 6(10): a016295.
- [1] Calle, M.C., Fernandez, M.L. (2010). Effects of resistance training on the inflammatory response. *Nutr Res Pract*, 4(4): 259-269.
- [2] Carey, A.L., Steinberg, G.R., Macaulay, S.L., Thomas, W.G., Holmes, A.G., Ramm, G., and et al. (2006). Interleukin-6 increases insulin-stimulated glucose disposal in humans and glucose uptake and fatty acid oxidation in vitro via AMP-activated protein kinase. *Diabetes*, 55(10):2688-97.
- [3] Da Cunha Nascimento, D., de Sousa, N.M.F., de Sousa Neto, I.V., Tibana, R.A., de Souza, V.C., Vieira, D.C.L., and et al. (2015). Classification of pro-inflammatory status for interleukin-6 affects relative muscle strength in obese elderly women. *Aging Clinical and Experimental research*, 27(6):791-7.
- [4] Dhooge, R., Hellinckx, T., Van Laethem, C., Stegen, S., De Schepper, J., Van Aken, S., and et al. (2011). Influence of combined aerobic and resistance training on metabolic control, cardiovascular fitness and quality of life in adolescents with type 1 diabetes: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*, 25(4):349-59.
- [5] Ebrahimi, M., Khenar Sanami, S. (2015). Effects of high fat diet and high intensity aerobic training on interleukin 6 plasma levels in rats. *Modares Journal of Medical Sciences: Pathobiology*, 18(3): 110-6.
- [6] Eftekhari, E., Zafari, A., Gholami, M. (2016). Physical activity, lipid profiles and leptin, *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 56(4): 465-469.
- [7] Heled, Y., Fleschmann, C., and et al. (2013). Cytokines and their role in hyperthermia and heat stroke. *J Basic Clin Physiol Pharmacol*, 24(2): 85-96.
- [8] Izquierdo, M., Ibanez, J. and et al. (2009). Cytokine and hormone responses to resistance training. *Eur Appl physiol*, 107(4): 397-409.
- [9] Kumanogoh, A., Ogata, M. (2010). The study of cytokines by Japanese researchers: a historical perspective. *International immunology*, 22(5):341-5.
- [10] Loos, R.J. (2012). Genetic determinant of common obesity and their value in prediction. *Best practice & research clinical endocrinology & metabolism*, 26(2):211-26.
- [11] Malekian, Z., Bagherpoor, T., Nemati, N. (2024). Comparison of the effect of resistance, endurance and concurrent exercises on adiponectin gene expression in hand and foot muscle tissues of male Wistar rats. *Journal of Plasma & Biomarkers*, 17(2): 68-79.
- <https://sanad.iau.ir/en/Journal/qjaphd/Article/928176>
- [12] Na, Y.K., Hong, H.S., Lee, W.K., Kim, D.S. (2015). Increased methylation of interleukin 6 gene is associated with obesity in Korean women. *Molecular and Cells*, 38(5):452-6.
- [13] Niemen, D.C., Konrad, M., and et al. (2012). Variance in the acute inflammatory response to prolonged cycling is linked to exercise intensity. *J Interferon Cytokine Res*, 32(1):12-17.
- [14] Noura, M., Arshadi, S., Zafari, A., Banaeifar, A. (2020). The effect of running on positive and negative slopes on TNF- α and INF- γ gene expression in the muscle tissue of rats with Alzheimer's disease. *Journal of Basic Research in Medical Science*, 7(1):35-42.
- [15] Ouchi, N., Parker, J.L., Lugus, J.J., Walsh, K. (2011). Adipokines in inflammation and metabolic disease. *Nature Reviews Immunology*, 11(2):85-97.
- [16] Pedersen, B.k. Febbraio, M.A. (2012). Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nat Rev Endocrinol*, 8(8):457-465.