

Acute responses of IGF-1a and testosterone to a single session of superset versus traditional resistance training in trained young men: The biphasic pattern of IGF-1a

Ali najeeb sayah Alomar^{ID}, Hakimeh Akbari*^{ID}

Department of physical education, Faculty of Human Sciences, Semnan University, Semnan, Iran

Abstract

Background and Purpose: Superset training, as a time-efficient method, induces higher metabolic stress compared to traditional resistance training. However, the acute hormonal responses to these two methods in trained young men have not been fully elucidated. The aim of the present study was to compare the effect of a single session of traditional and superset resistance training on serum levels of IGF-1a and testosterone in trained young men.

Materials and Methods: Twelve trained young men (mean age 27.91 ± 4.9 years, body mass index 28.49 ± 2.46 kg/m²) participated in a quasi-experimental study with a cross-over design. Each participant experienced three experimental conditions (traditional resistance training, superset training, and control) with a one-week interval between sessions. Both training protocols consisted of 4 sets of 8-10 repetitions at an intensity of 80-85% of one repetition maximum. Blood samples were collected at three time points (baseline, immediately post-exercise, and one-hour post-exercise). Serum concentrations of IGF-1a and testosterone were measured using ELISA. Data were analyzed using repeated measures ANOVA and Bonferroni post-hoc test at a significance level of 0.05.

Results: The results showed that the main effect of time, the main effect of group, and the time $\times$ group interaction effect were significant for both IGF-1a and testosterone ($P = 0.001$). In both training groups, IGF-1a decreased immediately post-exercise (574.7 ± 1.93 and 369.0 ± 9.30 pg/ml, respectively, $P = 0.001$) and then increased at one-hour post-exercise (475.3 ± 4.58 and 205.7 ± 4.19 pg/ml, respectively, $P = 0.001$). The decrease in IGF-1a was significantly greater in the superset group compared to the traditional group ($P = 0.001$). Testosterone increased immediately post-exercise in both training groups (superset: from 0.804 ± 0.023 to 3.879 ± 0.056 ng/ml; traditional: from 0.870 ± 0.180 to 3.154 ± 0.069 ng/ml, $P = 0.001$), and this increase was significantly greater in the superset group ($P = 0.001$). At one-hour post-exercise, testosterone decreased but remained significantly higher than baseline levels ($P = 0.001$). No significant changes were observed in the control group ($P > 0.05$).

Conclusion: A single session of acute resistance training, regardless of the protocol type, is a strong stimulus for increasing anabolic hormone levels in trained young men. However, superset training, due to inducing higher metabolic stress, causes a greater decrease in IGF-1a (indicating stronger temporary suppression of the GH-IGF-1 axis) and a greater increase in testosterone compared to traditional training. Given the acute study design and limited sample size, these findings reflect only short-term hormonal differences and do not provide conclusive evidence that superset training is superior for muscle hypertrophy or long-term adaptations. Further longitudinal studies with larger samples are needed to confirm these results.

Keywords: Traditional resistance training, Superset training, IGF-1a, Testosterone, Muscle hypertrophy, Acute hormonal response

How to cite this article: Alomar, ANS. Akbari, H. Acute responses of IGF-1a and testosterone to a single session of superset versus traditional resistance training in trained young men: The biphasic pattern of IGF-1a. J Sport Exerc Physiol. 2026;19(3):?-.
*Corresponding Author's E-mail: h.akbari@semnan.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2026.244240.1453>

Received: 00/00/2025

Revised: 00/00/2025

Accepted: 00/00/2025

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

نسخه
پیش
انتشار

پاسخ‌های حاد IGF-1a و تستوسترون به یک جلسه تمرین مقاومتی فوق نوبت در مقایسه با تمرین سنتی در مردان جوان تمرین کرده: الگوی دو فاز IGF-1a

علی نجیب صیاح العمر^{ID}، حکیمه اکبری^{ID*}

گروه تربیت بدنی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده

زمینه و هدف: تمرین فوق نوبت به عنوان یک روش کارآمد از نظر زمان، استرس متابولیک بالاتری نسبت به تمرین سنتی ایجاد می‌کنند. با این حال، پاسخ‌های هورمونی حاد به این دو روش در مردان جوان تمرین کرده به طور کامل مشخص نشده است. هدف از پژوهش حاضر مقایسه تأثیر یک جلسه تمرین مقاومتی سنتی و فوق نوبت بر سطوح سرمی IGF-1a و تستوسترون در مردان جوان تمرین کرده بود.

مواد و روش‌ها: دوازده مرد جوان تمرین کرده (سن: $27/91 \pm 4/9$ سال، قد: $1/77 \pm 0/04$ متر، وزن: $89/9 \pm 10/7$ کیلوگرم، شاخص توده بدنی $28/49 \pm 2/46$ کیلوگرم بر مترمربع) در یک مطالعه نیمه تجربی با طرح متقاطع شرکت کردند. هر شرکت کننده سه شرایط آزمایشی (تمرین مقاومتی سنتی، تمرین فوق نوبت و کنترل) را با فاصله یک هفته تجربه کرد. پروتکل‌های تمرینی شامل ۴ ست با ۸-۱۰ تکرار و شدت ۸۵-۸۰ درصد یک تکرار بیشینه بود. نمونه‌های خون در سه نوبت (پیش از مون، بلافاصله پس از تمرین و ۱ ساعت پس از تمرین) جمع‌آوری شد. غلظت سرمی IGF-1a و تستوسترون با روش الایزا اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معناداری ۰/۰۵ تحلیل شدند.

نتایج: نتایج نشان داد که اثر اصلی زمان، اثر اصلی گروه و اثر تعاملی زمان $\times$ گروه برای هر دو متغیر IGF-1a و تستوسترون معنادار بود ($P=0/001$) در هر دو گروه تمرینی. IGF-1a بلافاصله پس از تمرین (فوق نوبت $73/7\%$ و سنتی $57/3\%$) کاهش یافت (به ترتیب $1/93 \pm 574/7$ و $9/30 \pm 369/0$ pg/ml، $P=0/001$) و سپس در ۱ ساعت پس از تمرین (فوق نوبت $182/7\%$ و سنتی $69/9\%$) نسبت به پس از آزمون افزایش یافت (به ترتیب $4/58 \pm 475/3$ و $4/19 \pm 205/7$ pg/ml، $P=0/001$). کاهش IGF-1a در گروه فوق نوبت به طور معناداری بیشتر از گروه سنتی بود ($P<0/01$). تستوسترون در هر دو گروه تمرینی بلافاصله پس از تمرین (فوق نوبت $382/5\%$ و سنتی $262/5\%$) افزایش یافت (در گروه فوق نوبت از $0/23 \pm 0/804$ به $0/56 \pm 3/879$ ، و در گروه سنتی از $0/180 \pm 0/870$ به $0/69 \pm 3/154$ ، $P=0/001$) و این افزایش در گروه فوق نوبت به طور معناداری بیشتر بود ($P<0/01$).

$P =$ در ۱ ساعت پس از تمرین، تستوسترون (فوق نوبت $35/86\%$ و سنتی $33/45\%$) نسبت به پس آزمون کاهش یافت اما همچنان بالاتر از سطح پایه باقی ماند ($P = 0/001$). در گروه کنترل هیچ تغییر معناداری مشاهده نشد ($P > 0/05$).

نتیجه‌گیری: یک جلسه تمرین مقاومتی حاد، صرف نظر از نوع پروتکل، یک محرک قوی برای افزایش سطوح هورمون‌های آنابولیک در مردان جوان تمرین‌کرده است. با این حال، تمرین فوق نوبت به دلیل القای استرس متابولیک بالاتر، باعث کاهش شدیدتر IGF-1a (نشان‌دهنده سرکوب موقت قوی‌تر مسیر GH-IGF-1) و افزایش بیشتر تستوسترون نسبت به تمرین سنتی می‌شود. با توجه به طراحی حاد مطالعه، حجم نمونه محدود، این نتایج تنها بیانگر تفاوت در پاسخ‌های هورمونی کوتاه‌مدت هستند و نباید به‌عنوان شواهد قطعی برتری فوق نوبت برای هایپرتروفی یا سازگاری‌های بلندمدت تفسیر شوند. برای تأیید این موضوع، انجام مطالعات طولی با حجم نمونه بیشتر ضروری است.

کلیدواژه‌ها: تمرین مقاومتی سنتی، تمرین فوق نوبت، IGF-1a، تستوسترون، هایپرتروفی عضلانی، پاسخ هورمونی حاد

نحوه استناد به این مقاله: العمر ع ن ص، اکبری ح. پاسخ‌های حاد IGF-1a و تستوسترون به یک جلسه تمرین مقاومتی فوق نوبت در مقایسه با تمرین سنتی در مردان جوان تمرین‌کرده: الگوی دو فاز IGF-1a. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۵؛ ۱۹(۳): ۴-۹.

* رایانامه نویسنده مسئول: h.akbari@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰

مقدمه

هایپرتروفی عضلانی اسکلتی، که به عنوان افزایش سطح مقطع فیبرهای عضلانی تعریف می‌شود، یکی از بارزترین سازگاری‌های فیزیولوژیک در پاسخ به تمرینات مقاومتی محسوب می‌گردد (۱). این فرآیند پیچیده، حاصل تعامل سه محرک اصلی است: تنش مکانیکی، استرس متابولیک و آسیب عضلانی (۲). در میان این عوامل، تنش مکانیکی به عنوان محرک اولیه شناخته می‌شود، چراکه آشناری از مسیرهای پیام‌رسانی مکانیکی را آغاز می‌کند که مهم‌ترین آنها فسفریلاسیون مسیر mTORC1 (هدف مکانیکی را پامایسین در سلول‌های پستانداران) است و در نهایت به افزایش سنتز پروتئین‌های انقباضی منجر می‌شود (۳).

محور GH/IGF-I (هورمون رشد/فاکتور رشد شبه‌انسولین-I) به عنوان واسطه غدد درون‌ریز اصلی این وضعیت آنابولیک عمل می‌کند. در حالی که ترشح GH در پاسخ به تمرینات با شدت بالا رخ می‌دهد، IGF-I می‌تواند هم به عنوان هورمون درون‌ریز (عمدتاً کبدی) و هم به عنوان عاملی اتوکراین/پاراکراین که مستقیماً در بافت عضله درگیر تولید می‌شود، عمل کند (۳، ۴). یک جلسه تمرین مقاومتی حاد به طور معناداری غلظت سرمی این هورمون‌های آنابولیک را تغییر می‌دهد و شدت این پاسخ به شدت به متغیرهای برنامه‌ریزی تمرین مانند شدت، حجم و طول دوره‌های استراحت بین ست‌ها وابسته است (۵). همچنین تستوسترون به عنوان یک هورمون استروئیدی آنابولیک قوی، با اتصال به گیرنده‌های آندروژنی درون سلول عضلانی، بیان ژن‌های مرتبط با سنتز پروتئین را افزایش می‌دهد و نقش کلیدی در هایپرتروفی و افزایش قدرت عضلانی ایفا می‌کند (۶).

در این میان، نوع چیدمان تمرینات در یک جلسه می تواند تأثیر عمیقی بر پاسخ های هورمونی و در نهایت سازگاری های عضلانی داشته باشد. تمرینات مقاومتی سنتی با ساختاری مشخص شامل اجرای کامل تمام ست های یک حرکت قبل از حرکت بعدی و با دوره های استراحت معین بین ست ها (معمولاً ۱ تا ۳ دقیقه) تعریف می شود (۷). این طراحی به حفظ سطوح بالای تنش مکانیکی و توان خروجی در ست های متوالی اولویت می دهد و عمده‌تاً سیستم انرژی فسفوکراتین را تحت فشار قرار می دهد. در مقابل، تمرینات فوق نوبت^۱ به عنوان رویکردی کارآمدتر از نظر زمان، شامل اجرای پشت سرهم دو حرکت با حداقل استراحت بین آنهاست (۸). این روش می تواند به صورت حرکات موافق-مخالف (آگونیست-آنتاگونیست) یا روی گروه عضلانی مشابه اجرا شود.

مرور سیستماتیک و متاآنالیز اخیر ژانگ و همکاران (۲۰۲۵)، نشان داد که پروتکل های فوق نوبت در مقایسه با تمرینات سنتی: (۱) حجم تمرین کل مشابهی را با زمان اجرای کوتاه تر و کارایی بالاتر ارائه می دهند، (۲) غلظت لاکتات خون بالاتری را در حین و بعد از تمرین ایجاد می کنند، (۳) شاخص درک فشار^۲ (RPE) بالاتری دارند، و (۴) سازگاری های مزمن مشابهی در حداکثر قدرت، استقامت قدرتی و هایپرتروفی عضلانی ایجاد می کنند (۹). این یافته ها نشان می دهند که در تمرینات فوق نوبت، سهم استرس متابولیک نسبت به تنش مکانیکی افزایش می یابد؛ به گونه ای که تجمع متابولیت هایی مانند لاکتات به یکی از محرک های اصلی پاسخ فیزیولوژیک حاد تبدیل می شود.

مطالعه ای دیگر در سال ۲۰۲۵ نیز نشان داد که پروتکل فوق نوبت به طور معناداری سطح لاکتات خون را تا ۱۸/۳ درصد نسبت به تمرین سنتی افزایش می دهد، در حالی که زمان اجرا را تا ۶۰ درصد کاهش می دهد (۱۰). این تمایز برای محور GH-IGF-I حیاتی است. شواهد اخیر نشان می دهد که لاکتات، که مدت ها صرفاً به عنوان یک محصول زائد متابولیک در نظر گرفته می شد، در واقع یک مولکول سیگنال دهنده کلیدی است (۱۱). تجمع لاکتات به طور مستقیم HIF-1 α (فاکتور القاکننده هیپوکسی نوع ۱-آلفا) را تثبیت کرده و بیان ژن های مرتبط با بیوژنز میتوکندریایی و مهم تر از آن، بیان موضعی IGF-I را افزایش می دهد. از این منظر، پروتکل هایی که استرس متابولیک بالایی تولید می کنند (مانند تمرینات فوق نوبت) ممکن است سیگنالینگ آنابولیک را تا حدی از طریق مسیرهای ناشی از متابولیت ها هدایت کنند. کوروویچ^۴ (۲۰۲۵) نیز در مقاله ای مروری تأکید می کند که استراتژی های تمرین مقاومتی که تجمع موضعی متابولیت ها را بیشینه می کنند (از جمله فوق نوبت ها، ست های نزولی و تمرین با محدودیت جریان خون)، می توانند از طریق مکانیسم های وابسته به استرس متابولیک، مزایای قابل توجهی برای سلامت سیستمیک و عملکردی ایجاد کنند (۱۲).

در پاسخ به تستوسترون نیز تفاوت های وابسته به نوع پروتکل مشاهده می شود. مطالعه ویکلی^۵ و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که ساختارهای تمرینی فوق نوبت و تری ست نسبت به تمرین سنتی پاسخ های فیزیولوژیک شدیدتری از جمله لاکتات، تستوسترون و درک فشار ایجاد می کنند (۱۳). همچنین وست^۶ و فیلیپس^۷ (۲۰۲۴) بیان کرده اند که تمرینات با استرس

^۱Superset

^۲Zhang

^۳Rate of Perceived Exertion

^۴Curovic

^۵Weakley

^۶West

^۷Phillips

متابولیک بالا می‌توانند محیط هورمونی آنابولیک و حساسیت گیرنده‌های آندروژنی را تقویت کنند. بنابراین، احتمال می‌رود افزایش بیشتر تستوسترون مشاهده شده در فوق نوبت ناشی از ترکیب استرس متابولیک و درگیری واحدهای حرکتی با آستانه بالا باشد، هرچند این مکانیسم در پژوهش حاضر به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشد (۱۴).

نکته قابل توجه این است که پاسخ IGF-I به تمرینات شدید و پُرلاکتات دارای الگوی دو فازی منحصربه‌فردی است. تحقیقات نشان می‌دهد کاهش حاد قابل توجه IGF-I بلافاصله پس از تمرین مقاومتی سنگین، ممکن است نشان‌دهنده "سرکوب" گذرای محور GH-IGF-I در پاسخ به چالش قوی التهابی و متابولیک باشد که متعاقباً در مرحله ریکاوری اولیه (۱ ساعت پس از تمرین) بازمی‌گردد (۱۵). این پاسخ دو فازی می‌تواند نشان‌دهنده حساسیت بالای این محور به نوع و شدت محرک تمرینی باشد و شاید بتواند توضیحی برای تفاوت‌های مشاهده شده بین پروتکل‌های مختلف در مطالعات حاد ارائه دهد.

علیرغم افزایش شواهد در مورد مزایای هر دو روش تمرینی و درک روزافزون از نقش سیگنالینگ متابولیک، یک شکاف پژوهشی قابل توجه وجود دارد. اکثر مطالعات موجود به بررسی سازگاری‌های بلندمدت (چند هفته تا چند ماه) این روش‌ها پرداخته‌اند (۶)، در حالی که مقایسه مستقیم پاسخ‌های حاد (یک جلسه‌ای) دو شاخص آنابولیک کلیدی یعنی IGF-1a و تستوسترون بین تمرینات سنتی و فوق نوبت در مردان جوان تمرین‌کرده - جمعیتی که به دلیل سازگاری‌های قبلی، آستانه تحریک بالاتری برای برهم خوردن هموستاز درونی دارند کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۱۶). ویکلی و همکاران (۲۰۱۷) پژوهش خود را روی مردان تمرین‌کرده انجام دادند، اما مطالعه آنها بیشتر بر شاخص‌های عملکردی و لاکتات متمرکز بود تا سینتیک کامل IGF-1a در سه نوبت زمانی (پیش، بلافاصله و ۱ ساعت پس از تمرین) (۱۳). همچنین مطالعات معدودی که به طور همزمان سینتیک واگرای این دو هورمون را در چارچوب شاخص‌های استرس متابولیک اندازه‌گیری کرده‌اند. از آنجایی که جمعیت تمرین‌کرده پاسخ التهابی و هورمونی تعدیل‌یافته‌ای دارند، بررسی پاسخ‌های حاد در این گروه می‌تواند درک دقیق‌تری از مکانیسم‌های زیربنایی سازگاری‌های بلندمدت فراهم آورد (۱۵).

بنابراین، ضرورت انجام پژوهش حاضر از آنجا ناشی می‌شود که مربیان و ورزشکاران نیازمند شواهدی روشن هستند که بتواند انتخاب بین دو روش تمرینی رایج را بر اساس اهداف خاص (مانند بیشینه‌سازی پاسخ آنابولیک حاد در زمان محدود) هدایت کند. با توجه به اینکه مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) تأکید می‌کند که فوق نوبت‌ها زمان اجرای کوتاه‌تر و استرس متابولیک بالاتری دارند، اما سازگاری‌های مزمن مشابهی با تمرینات سنتی ایجاد می‌کنند، درک پاسخ‌های هورمونی حاد به این دو روش می‌تواند راهنمایی عملی برای ورزشکارانی باشد که به دنبال بیشینه‌سازی سودآوری هر جلسه تمرینی در حداقل زمان هستند (۹).

با توجه به مطالب فوق، هدف این پژوهش مقایسه پاسخ حاد غلظت سرمی IGF-1a و تستوسترون به یک جلسه تمرین مقاومتی فوق نوبت و سنتی در مردان جوان تمرین‌کرده، تعیین تغییرات تستوسترون و IGF-1a در سه زمان اندازه‌گیری (پیش، بلافاصله و ۱ ساعت پس از تمرین) و مقایسه الگوی پاسخ زمانی این دو هورمون بین تمرین فوق نوبت، تمرین سنتی و کنترل بود. بر این اساس، پرسش اصلی پژوهش این است که آیا یک جلسه تمرین مقاومتی فوق نوبت در مقایسه با تمرین سنتی، تأثیر متفاوتی بر سطوح سرمی IGF-1a و تستوسترون در مردان جوان تمرین‌کرده دارد؟

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح متقاطع و متعادل^۱ با تک کورسازی انجام شد. جامعه آماری را مردان جوان تمرین کرده شهر تهران تشکیل دادند. نمونه گیری به روش هدفمند و در دسترس انجام شد. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار G*Power 3.1 بر اساس آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری های مکرر محاسبه شد. مقدار اندازه اثر ۰/۲۵ بر اساس طبقه بندی کوهن (۱۹۸۸)، به عنوان اندازه اثر متوسط انتخاب گردید و با در نظر گرفتن سطح معناداری ۰/۰۵ و توان آماری ۸۰٪، حداقل حجم نمونه ۱۰ نفر برآورد شد (۱۷)؛ بنابراین برای جبران ریزش احتمالی، ۱۲ شرکت کننده وارد مطالعه شدند. دوازده مرد جوان تمرین کرده با میانگین سنی $27/91 \pm 4/9$ سال، قد $1/77 \pm 0/04$ متر، وزن $89/9 \pm 10/7$ کیلوگرم و شاخص توده بدنی $28/49 \pm 2/46$ کیلوگرم بر مترمربع به صورت داوطلبانه در پژوهش شرکت کردند (جدول ۱). معیارهای ورود به مطالعه شامل دامنه سنی ۲۰ تا ۳۵ سال، داشتن حداقل ۶ ماه سابقه تمرین منظم بدنسازی (حداقل ۳ جلسه در هفته)، تأیید سلامت عمومی توسط پزشک و تکمیل پرسشنامه آمادگی برای شروع فعالیت بدنی (PAR-Q)، امضای فرم رضایت آگاهانه، عدم مصرف هرگونه دارو، مکمل، سیگار و الکل و عدم سابقه آسیب عضلانی-اسکلتی در ۶ ماه گذشته بود. معیارهای خروج از مطالعه نیز شامل غیبت در یک جلسه تمرینی، بروز هرگونه آسیب عضلانی-اسکلتی در طول پژوهش، عدم تمایل به ادامه همکاری و مصرف داروهای مؤثر بر عملکرد هورمونی در طول پژوهش بود. تمامی شرکت کنندگان به صورت متقاطع، هر سه شرایط آزمایشی (تمرین مقاومتی سنتی، تمرین فوق نوبت و کنترل) را با فاصله یک هفته از یکدیگر تجربه کردند تا اثر ترتیب تمرین حذف شود (۱). به منظور همگن سازی شرایط، تمام جلسات در ساعت ۸ صبح و به صورت ناشتا (حداقل ۱۰-۱۲ ساعت) برگزار شد. شرکت کنندگان ۲۴ ساعت قبل از هر جلسه از مصرف الکل، کافئین و فعالیت بدنی سنگین خودداری کردند. برای حفظ حجم پلاسما در حالت ناشتا، از آنها خواسته شد شب قبل ۲۵۰ میلی لیتر آب مصرف کرده و بعد از ساعت ۲۰:۰۰ غذایی نخورند (۱۱).

جدول ۱. ویژگی های آنتروپومتریک و توصیفی آزمودنی ها

متغیر	مقدار (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد)
سن (سال)	$27/91 \pm 4/9$
قد (متر)	$1/77 \pm 0/04$
وزن (کیلوگرم)	$89/9 \pm 10/7$
شاخص توده بدنی (kg/m^2)	$28/49 \pm 2/46$

روش اجرای پژوهش

یک هفته قبل از شروع جلسات اصلی، آزمون یک تکرار بیشینه (1RM) به صورت مستقیم و طبق پروتکل کرامر^۲ و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد (۱۵). شرکت کنندگان پس از گرم کردن استاندارد (۱۰ دقیقه دویدن سبک و حرکات کششی پویا)، وزنه ای معادل ۵۰ درصد 1RM تخمینی را بلند کردند. سپس وزن به تدریج ۵-۱۰ کیلوگرم افزایش یافت تا جایی که آزمودنی نتوانست بیش از یک تکرار کامل را با فرم صحیح اجرا کند. حداکثر وزنه بلند شده به عنوان یک تکرار بیشینه ثبت شد (۱۸). قبل از هر جلسه تمرینی، شرکت کنندگان ۱۵ دقیقه گرم کردن شامل دویدن روی تردمیل، حرکات کششی پویا و حرکات فعال سازی عضلات انجام دادند و در پایان هر جلسه نیز ۵ دقیقه سرد کردن با حرکات کششی ایستا انجام شد. در جلسه تمرین مقاومتی سنتی، شرکت کنندگان ۱۰ حرکت مقاومتی را در قالب ۴ ست با ۸-۱۰ تکرار و شدت ۸۰-۸۵ درصد 1RM اجرا کردند. حرکات شامل پرس پا نشسته، پشت

^۱cross-over balanced design^۲Kraemer

ران خوابیده، جلو پا دستگاه، پشت پا دستگاه، زیربغل قایقی، پرس سینه دستگاه، زیربغل سیم کش، پرس سرشانه دمبل، فلای و فلای بک بودند. فاصله استراحت بین ست ها ۱ دقیقه و بین هر حرکت ۹۰ ثانیه بود (۷). در جلسه تمرین فوق نوبت، شرکت کنندگان همان حرکات را به صورت جفت حرکت و بدون استراحت بین دو حرکت اجرا کردند. ترتیب جفت حرکات به صورت پرس پا نشسته + پشت ران خوابیده، جلو پا دستگاه + پشت پا دستگاه، زیربغل قایقی + پرس سینه دستگاه، زیربغل سیم کش + پرس سرشانه دمبل و فلای + فلای بک بود. هر جفت حرکت در ۴ ست و با همان شدت (۸۵-۸۰ درصد 1RM) و تکرار (۸-۱۰) پروتکل سنتی انجام شد. پس از اتمام هر جفت حرکت، ۳ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. این طراحی بر اساس توصیه های ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) برای القای استرس متابولیک برتر انجام گردید (۹). در جلسه کنترل، شرکت کنندگان به مدت زمان مشابه (حدود ۶۰ دقیقه) در سالن بدنسازی حاضر بودند اما هیچ فعالیت تمرینی انجام ندادند و تنها نمونه گیری خون در همان بازه های زمانی تکرار شد.

روش های آزمایشگاهی

نمونه های خون وریدی در سه نوبت (پیش آزمون: بلافاصله قبل از شروع تمرین در حالت ناشتا، پس آزمون: بلافاصله پس از اتمام پروتکل تمرینی، و ۱ ساعت پس از تمرین: جهت بررسی پاسخ تاخیری هورمونی) از هر شرکت کننده گرفته شد (۱۳، ۱۴). از هر شرکت کننده در هر نوبت، ۵ میلی لیتر خون از ورید بازویی با استفاده از سرنگ استریل گرفته شد. خون در لوله های حاوی EDTA کد گذاری شده، جمع آوری گردید تا از لخته شدن جلوگیری شود (۶). نمونه ها به مدت ۱۵-۲۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شدند تا فرآیند انعقاد کامل شود. سپس با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شدند تا سرم از سلول های خونی جدا گردد. سرم جدا شده با پیپت استریل به ویال های اپندورف ۱/۵ میلی لیتری منتقل شد و بلافاصله در فریزر ۸۰- درجه سانتی گراد تا زمان انجام آزمایش های بیوشیمیایی نگهداری گردید. غلظت سرمی IGF-1a و تستوسترون با استفاده از روش الایزا و کیت های اختصاصی انسانی اندازه گیری شد. غلظت تستوسترون با استفاده از کیت ELISA انسانی (DiaMetra, Italy; Cat. No. MBS265979) با حد حساسیت ۰,۰۶ ng/mL اندازه گیری شد. همچنین IGF-1a با کیت ELISA انسانی (MyBioSource, USA; Cat. No. MBS765203) با حد حساسیت ۳۷/۵ pg/mL سنجیده شد. ضریب تغییرات درون آزمون برای هر دو کیت کمتر از ۱۰٪ بود. تمامی مراحل الایزا شامل پوشش چاهک ها با آنتی بادی اختصاصی، افزودن ۵۰ میکرولیتر نمونه یا استاندارد، انکوباسیون ۱ ساعته در ۳۷ درجه سانتی گراد، شستشو، افزودن آنتی بادی ثانویه متصل به آنزیم HRP، انکوباسیون مجدد، شستشو، افزودن سوبسترای TMB، توقف واکنش با اسید سولفوریک و خواندن جذب نوری در طول موج ۴۵۰ نانومتر با دستگاه الایزا ریدر انجام شد. تمامی نمونه های هر شرکت کننده در یک بسته آزمایشی و به صورت تکراری آنالیز شدند تا خطای بین آزمایشی به حداقل برسد. ضریب تغییرات درون آزمایشی برای هر دو کیت کمتر از ۱۰ درصد بود. غلظت نهایی هر هورمون با درونیابی از منحنی استاندارد خطی (بر اساس جذب نوری استانداردها با غلظت مشخص) محاسبه شد. واحد اندازه گیری برای IGF-1a پیکوگرم بر میلی لیتر و برای تستوسترون نانوگرم بر میلی لیتر بود.

تحلیل آماری

داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۷ تحلیل شدند. برای توصیف داده ها، میانگین و انحراف استاندارد هر متغیر در سه مرحله اندازه گیری و در سه گروه محاسبه و گزارش شد. برای بررسی مفروضه های آزمون های پارامتریک، طبیعی بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس ها با استفاده از آزمون لوین بررسی شد. مفروضه کرویت برای تحلیل واریانس با اندازه گیری های مکرر با استفاده از آزمون ماچلی بررسی گردید و در صورت نقض، از تصحیح گرین-هاوس-گایزر استفاده شد. از آنجا

که همه مفروضه‌ها برقرار بود، برای مقایسه تغییرات درون گروهی و بین گروهی متغیرهای وابسته در سه مرحله زمانی، از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر در طراحی ۳ (گروه) $\times$ ۳ (زمان) استفاده شد. در صورت مشاهده اثر تعاملی معنادار (زمان $\times$ گروه)، از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه‌های زوجی بین گروه‌ها و بین مراحل زمانی استفاده گردید. سطح معناداری برای تمامی آزمون‌ها $\alpha = 0.05$ در نظر گرفته شد. اندازه اثر برای تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر با استفاده از مجذور اتا گزارش شد و مقادیر ۰/۰۱، ۰/۰۶ و ۰/۱۴ به ترتیب به عنوان اثر کوچک، متوسط و بزرگ تفسیر گردیدند (۱۷).

نتایج

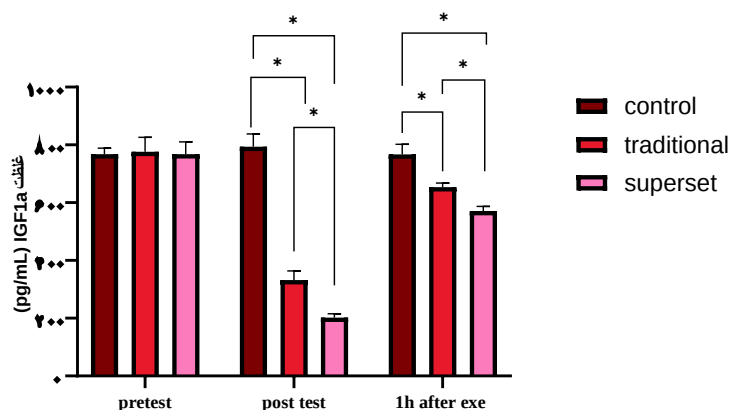
ویژگی‌های آنترپومتریکی و توصیفی آزمودنی‌ها در جدول یک آورده شده است. نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که توزیع داده‌ها برای تمام متغیرها در سه گروه و در سه مرحله زمانی نرمال بود ($P > 0.05$). همچنین نتایج آزمون لوین حاکی از همگنی واریانس‌ها بین گروه‌ها بود ($P > 0.05$). بنابراین، مفروضه‌های لازم برای استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر برقرار بود.

تغییرات غلظت سرمی IGF-1a و تستوسترون در سه گروه (تمرین فوق نوبت، تمرین سنتی و کنترل) و در سه مرحله زمانی (پیش‌آزمون، پس‌آزمون بلافاصله، و ۱ ساعت پس از تمرین) در نمودار نشان شده است. در گروه کنترل، هیچ تغییر معناداری در هیچ یک از متغیرها در طول سه مرحله اندازه‌گیری مشاهده نشد که نشان‌دهنده ثبات شرایط در غیاب مداخله تمرینی است.

برای بررسی تغییرات IGF-1a و تستوسترون در طول زمان و بین گروه‌ها، از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر در طراحی ۳ (گروه) $\times$ ۳ (زمان) استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر اصلی زمان ($F = 914.763$, $P = 0.001$, $\eta^2 = 0.965$)، اثر اصلی گروه ($F = 677.603$, $P = 0.001$, $\eta^2 = 0.976$) و اثر تعاملی زمان $\times$ گروه ($F = 279.247$, $P = 0.001$, $\eta^2 = 0.944$) برای IGF-1a معنادار بود. همانطور که در شکل یک مشاهده می‌شود، در هر دو گروه تمرینی (فوق نوبت و سنتی)، غلظت سرمی IGF-1a بلافاصله پس از تمرین به طور معناداری کاهش یافت (به ترتیب 1.93 ± 0.574 و 9.30 ± 0.369 کاهش، $P = 0.001$). این کاهش در گروه فوق نوبت به طور معناداری بیشتر از گروه سنتی بود ($P = 0.001$). سپس در ۱ ساعت پس از تمرین، IGF-1a در هر دو گروه تمرینی به طور معناداری نسبت به پس‌آزمون بلافاصله افزایش یافت (به ترتیب 4.58 ± 0.475 و 4.19 ± 0.507 افزایش، $P = 0.001$). در گروه فوق نوبت، غلظت IGF-1a 73.7% کاهش و پس از یک ساعت به 18.3% افزایش نسبت به پس‌آزمون در گروه سنتی نیز 57.3% کاهش و سپس 69.9% نسبت به پس‌آزمون افزایش یافت (شکل ۱). در گروه کنترل، هیچ تغییر معناداری در طول زمان مشاهده نشد ($P > 0.05$). همچنین در مرحله پیش‌آزمون، تفاوت معناداری بین سه گروه وجود نداشت ($P > 0.05$), که نشان‌دهنده همگنی گروه‌ها در شروع پژوهش است.

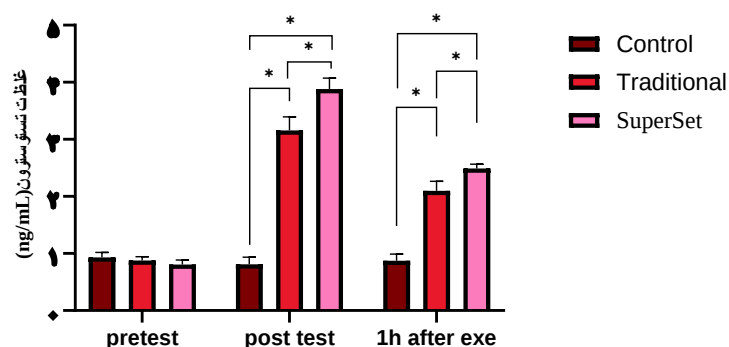
اثر اصلی زمان ($F = 583.541$, $P = 0.001$, $\eta^2 = 0.983$)، اثر اصلی گروه ($F = 53.087$, $P = 0.001$, $\eta^2 = 0.967$) و اثر تعاملی زمان $\times$ گروه ($F = 480.268$, $P = 0.001$, $\eta^2 = 0.967$)، برای تستوسترون معنادار بود. همانطور که در شکل ۲ ارائه شده است، در هر دو گروه تمرینی، غلظت سرمی تستوسترون بلافاصله پس از تمرین (فوق نوبت 382.5% و سنتی 262.5%) به طور معناداری افزایش یافت (در گروه فوق نوبت از 0.23 ± 0.804 به 0.56 ± 0.879 ، و در گروه سنتی از 0.180 ± 0.870 به 0.69 ± 0.154 ، $P = 0.001$). این افزایش در گروه فوق نوبت به طور معناداری بیشتر از گروه سنتی بود ($P = 0.001$). در ۱ ساعت پس از تمرین، تستوسترون در هر دو گروه تمرینی (فوق نوبت 35.86% و سنتی 33.45%) نسبت به پس‌آزمون کاهش یافت (به ترتیب 1.391 ± 0.021 و -1.055 ± 0.048 ، $P = 0.001$), اما همچنان به طور معناداری بالاتر از سطح پایه (پیش‌آزمون) باقی ماند.

($P = 0.001$). در گروه کنترل، هیچ تغییر معناداری در طول زمان مشاهده نشد ($P > 0.05$). همچنین در مرحله پیش آزمون، تفاوت معناداری بین سه گروه وجود نداشت ($P > 0.05$).



* $P < 0.001$ نشان دهنده تفاوت معنادار بین گروه‌ها در مراحل زمانی پیش آزمون، پس آزمون و یک ساعت بعد

شکل ۱. تغییرات IGF1a در مراحل مختلف اندازه گیری در سه گروه مورد مطالعه



* $P < 0.001$ نشان دهنده تفاوت معنادار بین گروه‌ها در مراحل زمانی پیش آزمون، پس آزمون و یک ساعت بعد

شکل ۲. تغییرات تستوسترون در مراحل مختلف اندازه گیری در سه گروه مورد مطالعه

بحث و نتیجه گیری

هدف از پژوهش حاضر مقایسه تأثیر یک جلسه تمرین مقاومتی سنتی و فوق نوبت بر سطوح سرمی IGF-1a و تستوسترون در مردان جوان تمرین کرده بود. یافته‌های اصلی این مطالعه نشان داد که هر دو پروتکل تمرینی باعث کاهش معنادار IGF-1a بلافاصله پس از تمرین و افزایش آن در ۱ ساعت پس از تمرین شدند، با کاهش شدیدتر در گروه فوق نوبت در مقایسه با گروه سنتی. همچنین هر

دو پروتکل تمرینی باعث افزایش معنادار تستوسترون بلافاصله پس از تمرین شدند، با افزایش بیشتر در گروه فوق نوبت در مقایسه با گروه سنتی. در ۱ ساعت پس از تمرین، تستوسترون در هر دو گروه کاهش یافت اما همچنان بالاتر از سطح پایه باقی ماند. عدم تغییر معنادار در گروه کنترل، اعتبار یافته‌ها را تأیید می‌کند. این الگوهای پاسخ نشان می‌دهد که اگرچه هر دو روش تمرینی محرک آنابولیک قوی هستند، اما ماهیت متفاوت محرک‌های غالب در هر روش (استرس متابولیک در تمرین فوق نوبت در مقابل تنش مکانیکی در تمرین سنتی) منجر به پاسخ‌های هورمونی متفاوتی می‌شود.

الگوی دو فازی کاهش و سپس افزایش IGF-1a مشاهده شده در مطالعه حاضر با شواهد قبلی مبنی بر سرکوب گذرای محور GH-IGF-1 در پاسخ به استرس حاد تمرینی و به دنبال آن فعال‌سازی مجدد در مرحله ریکاوری اولیه همسو است (۱۴). مرور سیستماتیک و متاآنالیز ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که پروتکل‌های فوق نوبت در مقایسه با تمرینات سنتی، غلظت لاکتات خون بالاتری را در حین و بعد از تمرین ایجاد می‌کنند (۹). این تجمع بیشتر لاکتات در تمرین فوق نوبت می‌تواند توجیه‌گر کاهش شدیدتر IGF-1a در این گروه باشد. در همین راستا، کروویچ (۲۰۲۵) تأکید می‌کند که استراتژی‌های تمرین مقاومتی که تجمع موضعی متابولیت‌ها را بیشینه می‌کنند (از جمله فوق نوبت‌ها)، می‌توانند از طریق مکانیسم‌های وابسته به استرس متابولیک، مزایای قابل توجهی برای سلامت سیستمیک و عملکردی ایجاد کنند (۱۲).

نقش لاکتات به عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. لاکتات، که مدت‌ها صرفاً به عنوان یک محصول زائد متابولیک در نظر گرفته می‌شد، در واقع یک مولکول سیگنال‌دهنده کلیدی است که بیان ژن‌های مرتبط با بیوژنز میتوکندریایی و بیان موضعی IGF-I را افزایش می‌دهد (۱۱). کیون و همکاران (۲۰۲۰) نیز در مطالعه‌ای بر روی موش‌ها نشان دادند که تجویز لاکتات سطح IGF-1 خون را کاهش می‌دهد در حالی که سطوح mRNA Akt و mTOR را افزایش می‌دهد (۱۹). این یافته از دیدگاه فیزیولوژیک با کاهش حاد IGF-1a مشاهده شده در مطالعه حاضر همسو است، زیرا نشان می‌دهد که استرس متابولیک ناشی از تجمع لاکتات ممکن است به طور موقت محور GH-IGF-1 را سرکوب کند، اما در عوض مسیرهای سیگنالینگ درون سلولی (Akt/mTOR) را فعال می‌کند. بازگشت IGF-1a به سطوح نزدیک به پایه در ۱ ساعت پس از تمرین نیز نشان‌دهنده فعال‌سازی مجدد مسیر GH-IGF-1 در مرحله ریکاوری اولیه است (۱۵).

در مورد تستوسترون، افزایش بیشتر این هورمون در گروه فوق نوبت را می‌توان از دو منظر تبیین کرد. نخست، همان طور که اشاره شد، مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که پروتکل‌های فوق نوبت لاکتات خون بالاتری ایجاد می‌کنند که می‌تواند از طریق کاهش pH، ترشح GnRH از هیپوتالاموس و متعاقباً ترشح LH از هیپوفیز و در نهایت تستوسترون از بیضه‌ها را تحریک کند (۹). دوم، این مطالعه همچنین نشان داد که فوق نوبت‌های آگونیست-آنتاگونیست (مانند پروتکل استفاده شده در مطالعه حاضر) به حفظ حجم تمرین کمک می‌کنند. حفظ حجم تمرین با شدت بالا (۸۰-۸۵ درصد 1RM) در کنار استرس متابولیک بیشتر، باعث فعال‌سازی تجمعی واحدهای حرکتی با آستانه بالا (فیبرهای نوع II) می‌شود که خود محرک قوی برای ترشح حاد تستوسترون از طریق فعال‌سازی محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد (HPG) است (۶، ۹). کاهش تستوسترون در ۱ ساعت پس از تمرین، که در هر دو گروه مشاهده شد، پدیده‌ای شناخته شده در پاسخ هورمونی به تمرینات مقاومتی شدید است و احتمالاً به دلیل افزایش پاکسازی تستوسترون از جریان خون، افزایش بازجذب توسط گیرنده‌های آندروژنی در بافت عضله فعال شده، و کاهش موقت محرک ترشح LH از هیپوفیز رخ می‌دهد (۲۰). پروتکل‌های تمرین مقاومتی با حجم بالا، شدت متوسط تا بالا، فواصل استراحت کوتاه و درگیری

توده عضلانی بزرگ، بیشترین افزایش حاد هورمون‌های آنابولیک مانند تستوسترون و هورمون رشد را ایجاد می‌کنند (۵). یافته‌های مطالعه حاضر که افزایش بیشتر تستوسترون را در گروه فوق نوبت (با استراحت کوتاه و درگیری توده عضلانی زیاد) نشان داد، به طور کامل با این چارچوب نظری همسو است. با وجود همسویی نتایج حاضر با برخی مطالعات، همه پژوهش‌ها افزایش بیشتر تستوسترون در فوق نوبت را گزارش نکرده‌اند. در مطالعه مروری مانگ^۱ و همکاران (۲۰۲۵) از مطالعات حاد و مزمن مربوط به فوق نوبت و تمرین سنتی، نشان دادند که اگرچه پاسخ‌های هورمونی، لاکتات خون، ضربان قلب، مصرف اکسیژن و درک فشار در بسیاری از مطالعات در شرایط فوق نوبت بیشتر بوده است، اما نتایج مطالعات از نظر پاسخ‌های حاد هورمونی متفاوت هستند و به عواملی مانند شدت تمرین، حجم، مدت استراحت و وضعیت آمادگی آزمودنی‌ها وابسته است و نمی‌توان یک الگوی ثابت و قطعی برای برتری فوق نوبت در ایجاد پاسخ هورمونی ترسیم کرد (۱۶). شواهد حاصل از مرور نظام‌مند و فراتحلیل ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) نیز ضرورت تفسیر محتاطانه یافته حاضر را تقویت می‌کند. در این فراتحلیل شامل ۱۹ مطالعه و ۳۱۳ شرکت‌کننده، فوق نوبت‌ها در مقایسه با ست‌های سنتی به‌طور کلی با تعداد تکرار و حجم بار مشابه، اما غلظت لاکتات خون بالاتر، هزینه انرژی بیشتر و درک فشار بالاتر همراه بودند. با این حال، این مطالعه بر پیامدهای هورمونی تمرکز اصلی نداشت و نشان داد که تفاوت بین دو ساختار تمرینی می‌تواند به ویژگی‌های مختلف پروتکل، از جمله نوع فوق نوبت، حجم تمرین و نحوه تنظیم استراحت، وابسته باشد. بنابراین، افزایش بیشتر تستوسترون مشاهده‌شده در پژوهش حاضر را نمی‌توان صرفاً به فوق نوبت بودن پروتکل نسبت داد (۹). پژوهش حاضر با وجود یافته‌های ارزشمند، با محدودیت‌هایی مواجه بود. حجم نمونه نسبتاً کوچک (۱۲ نفر) با وجود طراحی متقاطع، ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج را به کل جمعیت مردان جوان تمرین کرده محدود کند. با این حال، طراحی متقاطع تا حدی اثرات فردی را کنترل کرده و توان آماری را افزایش داده است. عدم اندازه‌گیری غلظت لاکتات خون به عنوان شاخص مستقیم استرس متابولیک در این مطالعه، امکان تأیید مستقیم ارتباط بین تجمع لاکتات و پاسخ‌های هورمونی را فراهم نمی‌کند. هر چند شواهد قوی از مطالعات دیگر این ارتباط را تأیید می‌کنند، اندازه‌گیری مستقیم لاکتات در مطالعات آینده توصیه می‌گردد. عدم اندازه‌گیری سطوح پایه هورمون‌ها در چند نوبت قبل از تمرین (به دلیل محدودیت‌های نمونه‌گیری) ممکن است نوسانات شبانه‌روزی هورمون‌ها را به طور کامل کنترل نکرده باشد، اگرچه تمام جلسات در ساعت ۸ صبح و تحت شرایط استاندارد انجام شد. عدم ارزیابی هایپرتروفی عضلانی یا قدرت عملکردی در درازمدت، ارتباط بین پاسخ‌های هورمونی حاد مشاهده‌شده و سازگاری‌های بالینی بلندمدت را مبهم نگه داشته است. اگرچه شواهد مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) نشان می‌دهد که سازگاری‌های مزمن بین دو روش مشابه است، بررسی مستقیم این ارتباط در یک طرح طولی پیشنهاد می‌گردد (۹). محدودیت جنسیتی مطالعه (فقط مردان جوان) تعمیم نتایج به زنان یا سایر گروه‌های سنی را محدود می‌کند، زیرا پاسخ‌های هورمونی به تمرین مقاومتی تحت تأثیر جنسیت و وضعیت هورمونی قرار دارد (۱۴). همچنین عدم ارزیابی سطوح کورتیزول به عنوان شاخص کاتابولیک و نسبت تستوسترون به کورتیزول می‌توانست درک کامل‌تری از وضعیت آنابولیک-کاتابولیک فراهم آورد. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر و محدودیت‌های ذکر شده، پیشنهادات زیر برای مطالعات آینده ارائه می‌گردد. انجام مطالعات مشابه با اندازه‌گیری همزمان لاکتات خون، pH و نسبت تستوسترون به کورتیزول برای تأیید مستقیم ارتباط بین استرس متابولیک و پاسخ‌های هورمونی مشاهده‌شده توصیه می‌شود. اندازه‌گیری غلظت هورمون‌ها در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت پس از تمرین برای درک کامل پویایی‌های زمانی پاسخ آنابولیک و تعیین پنجره زمانی بهینه برای ریکاوری و سنتز پروتئین عضلانی پیشنهاد

می‌گردد. انجام مطالعات مداخله‌ای بلندمدت (۸-۱۲ هفته) با همین پروتکل‌ها برای بررسی اینکه آیا تفاوت‌های حاد مشاهده شده در پاسخ هورمونی به تفاوت‌های معنادار در هایپرتروفی عضلانی و افزایش قدرت در درازمدت منجر می‌شود یا خیر، ضروری به نظر می‌رسد. تکرار این پژوهش بر روی زنان تمرین کرده، ورزشکاران رشته‌های مختلف (قدرتی، استقامتی، تویی)، و گروه‌های سنی مختلف (نوجوانان، میانسالان، سالمندان) می‌تواند تعمیم‌پذیری نتایج را افزایش دهد. اندازه‌گیری مستقیم شاخص‌های مسیر سیگنالینگ داخل سلولی (مانند فسفریلاسیون AMPK، Akt، mTOR) از طریق بیوپسی عضلانی برای تأیید مکانیسم‌های مولکولی زیربنایی در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. همچنین اندازه‌گیری شاخص‌های سرمی دیگر مانند میوستاتین، فولیستاتین، IGFBP-3، و کراتینین کیناز (CK) برای درک جامع‌تر از پاسخ آنابولیک و کاتابولیک توصیه می‌گردد. از منظر کاربردی، مربیان می‌توانند از تمرین فوق نوبت برای بیشینه‌سازی پاسخ آنابولیک حاد در جلسات با زمان محدود استفاده کنند، اما به دلیل بار متابولیک بالاتر، دوره‌های ریکاوری کافی (۴۸-۷۲ ساعت) بین جلسات مشابه توصیه می‌شود (۱۲). طراحی دوره‌بندی تلفیقی (ترکیب هر دو روش در یک برنامه بلندمدت) و ارزیابی فردی پاسخ‌های هورمونی برای شخصی‌سازی برنامه تمرینی نیز پیشنهاد می‌گردد.

در نهایت، یک جلسه تمرین مقاومتی حاد، صرف نظر از نوع پروتکل، یک محرک قوی برای افزایش سطوح هورمون‌های آنابولیک در مردان جوان تمرین کرده است. با این حال، کیفیت و شدت این پاسخ هورمونی به طور معناداری تحت تأثیر نوع پروتکل قرار دارد. تمرین فوق نوبت به دلیل القای استرس متابولیک بالاتر (تجمع بیشتر لاکتات)، باعث کاهش شدیدتر IGF-1a (نشان‌دهنده سرکوب موقت قوی‌تر مسیر GH-IGF-1) و افزایش بیشتر تستوسترون می‌شود. از آنجایی که پاسخ هورمونی حاد به عنوان یک نشانگر زیستی معتبر برای پتانسیل سازگاری‌های بلندمدت در نظر گرفته می‌شود (۵)، به نظر می‌رسد تمرین فوق نوبت بتواند جایگزین زمانی-کارآمدی برای تمرینات سنتی باشد، به ویژه برای ورزشکارانی که در جستجوی بیشینه‌سازی پاسخ آنابولیک در زمان محدود هستند (۹). با توجه به طراحی حاد مطالعه، حجم نمونه محدود، این نتایج تنها بیانگر تفاوت در پاسخ‌های هورمونی کوتاه‌مدت هستند و نباید به عنوان شواهد قطعی برتری فوق نوبت برای هایپرتروفی یا سازگاری‌های بلندمدت تفسیر شوند. برای تأیید این موضوع، انجام مطالعات بلندمدت با حجم نمونه بیشتر پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی شرکت‌کنندگان پژوهش که با انگیزه و تعهد کامل در تمامی مراحل مطالعه همکاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین از مسئولین و کارکنان آزمایشگاه تحقیقاتی تهران که در انجام دقیق مراحل آزمایشگاهی همکاری لازم را داشتند، سپاسگزاری می‌گردد.

حمایت مالی

این پژوهش هیچگونه حمایت مالی از هیچ سازمان، نهاد یا شخص حقیقی و حقوقی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور یکسان در این پژوهش مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچگونه تعارض منافع (رقابتی یا مالی) در ارتباط با این پژوهش وجود ندارد.

تأییدیه‌های اخلاقی

این پژوهش با کد اخلاق IR.SEMUMS.RES.1404.007 از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی سمنان تأیید شد و تمامی مراحل مطابق با بیانیه هلسینکی (نسخه ۲۰۱۳) انجام گردید. کلیه شرکت‌کنندگان پیش از شروع مطالعه، فرم رضایت آگاهانه را تکمیل کردند.

منابع

1. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(10):2857–72. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
2. Wackerhage H, Schoenfeld BJ, Hamilton DL, Lehti M, Hulmi JJ. Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of applied physiology*. 2019;126(1):30–43. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00685.2018>. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00685.2018>
3. You J-S, McNally RM, Jacobs BL, Privett RE, Gundermann DM, Lin K-H, et al. The role of raptor in the mechanical load-induced regulation of mTOR signaling, protein synthesis, and skeletal muscle hypertrophy. *The FASEB Journal*. 2018;33(3):4021. <https://doi.org/10.1096/fj.201801653RR>
4. Philippou A, Maridakis M, Halapas A, Koutsilieris M. The role of the insulin-like growth factor 1 (IGF-1) in skeletal muscle physiology. *in vivo*. 2007;21(1):45–54. [PMID 17354613](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17354613/)
5. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports medicine*. 2005;35(4):339–61. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00004>
6. Vingren JL, Kraemer WJ, Ratamess NA, Anderson JM, Volek JS, Maresh CM. Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements. *Sports medicine*. 2010;40(12):1037–53. <https://doi.org/10.2165/11536910-000000000-00000>
7. Grgic J, Schoenfeld BJ, Skrepnik M, Davies TB, Mikulic P. Effects of rest interval duration in resistance training on measures of muscular strength: a systematic review. *Sports Medicine*. 2018;48(1):137–51. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0788-x>
8. Krzysztofik M, Wilk M, Wojdała G, Gołaś A. Maximizing muscle hypertrophy: a systematic review of advanced resistance training techniques and methods. *International journal of environmental research and public health*. 2019;16(24):4897. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244897>
9. Zhang X, Weakley J, Li H, Li Z, García-Ramos A. Superset Versus Traditional Resistance Training Prescriptions: A Systematic Review and Meta-analysis Exploring Acute and Chronic Effects on Mechanical, Metabolic, and Perceptual Variables: X. Zhang et al. *Sports Medicine*. 2025;55(4):953–75. <https://doi.org/10.1007/s40279-025-02176-8>
10. Myraunet PA, Saeterbakken AH, Andersen V. A comparison of acute affective responses, physiological measures and training volume between superset and traditional resistance training in untrained adults. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2025;7:1536747. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1536747>
11. Nalbandian M, Takeda M. Lactate as a signaling molecule that regulates exercise-induced adaptations. *Biology*. 2016;5(4):38. <https://doi.org/10.3390/biology5040038>
12. Curovic I. The role of resistance exercise-induced local metabolic stress in mediating systemic health and functional adaptations: could condensed training volume unlock greater benefits beyond time efficiency? *Frontiers in physiology*. 2025;16:1549609. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1549609>
13. Weakley JJ, Till K, Read DB, Roe GA, Darrall-Jones J, Phibbs PJ, et al. The effects of traditional, superset, and tri-set resistance training structures on perceived intensity and physiological responses. *European journal of applied physiology*. 2017;117(9):1877–89. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3680-3>
14. West DW, Phillips SM. Anabolic processes in human skeletal muscle: restoring the identities of growth hormone and testosterone. *The Physician and sportsmedicine*. 2010;38(3):97–104. <https://doi.org/10.3810/psm.2010.10.1814>
15. Kraemer WJ, Ratamess NA, Hymer WC, Nindl BC, Fragala MS. Growth hormone (s), testosterone, insulin-like growth factors, and cortisol: roles and integration for cellular development and growth with exercise. *Frontiers in endocrinology*. 2020;11:33. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00033>

16. Mang ZA, Beam JR, Kravitz L. The Acute and Chronic Effects of Superset Resistance Training Versus Traditional Resistance Training—A Narrative Review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2025;39(11):1216–34. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000005246>
17. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*: routledge; 2013.
18. Baechle TR, Earle RW. *Essentials of strength training and conditioning*: Human kinetics Champaign, IL; 2000. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
19. Kyun S, Yoo C, Park H-Y, Kim J, Lim K. The effects of exogenous lactate administration on the IGF1/Akt/mTOR pathway in rat skeletal muscle. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(21):7805. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217805>
20. Fry A, Lohnes C. Acute testosterone and cortisol responses to high power resistance exercise. *Human physiology*. 2010;36(4):457–61. <https://doi.org/10.1134/S0362119710040110>

نسخه
پیش
انتشار