

## Original Article

### Serum levels of Insulin-like growth factor-1 (IGF-I) as an indicator associated with aerobic and anaerobic fitness assessment in adolescent boys

Ramin Amirsasan<sup>1\*</sup>, Mostafa Armanfar<sup>1</sup>, Javad Hesari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>PhD candidate, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

\*Corresponding author; E-mail: amirsasan@tabrizu.ac.ir

Received: 22 July 2017 Accepted: 12 August 2017 First Published online: 7 September 2019  
Med J Tabriz Uni Med Sciences Health Services. 2019 October- November; 41(4):7-16

#### Abstract

**Background:** Insulin-like growth factor -1 (IGF-I) has a variety of roles, But the abundance of scientific evidence indicates that it is a metabolic biomarker associated with indicators of physical fitness and health. The present study examined the relationship between serum levels of IGF-I and aerobic fitness, anaerobic capacity and body fat percent, systolic, and diastolic blood pressure before and after the eight weeks of high intensity intermittent training (HIIT) in adolescent boys.

**Methods:** In this experimental study, 22 adolescent boys in a randomly and double-blinded design were allocated in two equal groups: HIIT group (N=11) and control group (N=11). Training programs were conducted 3-4 times per week for 8 weeks. The HIIT program consisted of 6-8 running sprints (30-60 seconds) with a 3.5-4 min recovery. Mentioned indicators assessments were performed 18-24 hours pre and post intervention.

**Results:** IGF-1, Maximum Oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ), Peak Power Output (PPO) and mean power output (MPO) were significantly higher after 8 week HIIT than the pre-exercise training evaluations ( $P < 0.001$ ). Fatigue index and body fat percent decreased in HIIT trial after 8 week HIIT ( $P < 0.001$ ). Also, there was a significant positive correlation between IGF-I changes and aerobic fitness, anaerobic and body fat percentage. However, Systolic and diastolic blood pressure did not change significantly after the training period ( $P > 0.05$ ).

**Conclusion:** The IGF-I can be used as an indicator to assess the fitness of adolescent boys.

**Keyword:** Aerobic Fitness, Anaerobic Fitness, Insulin-Like Growth Factor -1, Body Fat Percentage, Adolescent Boys

**How to cite this article:** Amirsasan R, Armanfar M, Hesari J. [Serum levels of Insulin-like growth factor-1 (IGF-I) as an indicator associated with aerobic and anaerobic fitness assessment in adolescent boys]. Med J Tabriz Uni Med Sciences Health Services. 2019 October- November; 41(4):7-16. Persian.

## مقاله پژوهشی

## سطوح سرمی عامل رشد شبه انسولینی - ۱ (IGF-I) به عنوان نشانگر مرتبط با ارزیابی آمادگی هوازی و بی‌هوازی پسران نوجوان

رامین امیرساسان<sup>۱\*</sup>، مصطفی آرمان‌فر<sup>۱، ۲</sup>، جواد حصاری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
<sup>۳</sup> گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
 \* نویسنده مسوول: ایمیل: amirsasan@tabrizu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۴/۳۱ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۱ انتشار برخط: ۱۳۹۸/۶/۱۶  
 مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی - درمانی تبریز. مهر و آبان ۱۳۹۸؛ ۴۱(۴): ۷-۱۶

## چکیده

**زمینه:** عامل رشد شبه انسولینی - ۱ (IGF-I) نقش‌های متنوعی دارد، اما شواهد علمی نشان می‌دهد که یک نشانگر زیستی مرتبط با شاخص‌های آمادگی جسمانی و سلامتی است. از این رو، مطالعه حاضر به بررسی تاثیر و رابطه بین غلظت IGF-I و آمادگی هوازی ( $VO_{2max}$ )، بی‌هوازی، فشار خون سیستولی، دیاستولی و درصد چربی پسران نوجوان، قبل و بعد از هشت هفته تمرین تناوبی شدید (HIIT) می‌پردازد.

**روش کار:** در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۲۲ پسر نوجوان (۱۷-۱۵ ساله) انتخاب و پس از همگن‌سازی بر اساس سن، غلظت IGF-I و میزان آمادگی هوازی به صورت تصادفی در دو گروه کنترل ( $n=11$ ) و HIIT ( $n=11$ ) جایگزین شدند. سپس، هشت هفته (هر هفته ۳-۴ جلسه) تمرین HIIT را اجرا کردند که هر جلسه تمرین شامل ۸-۶ تکرار دویدن ۶۰-۳۰ ثانیه‌ای با شدت تمام و ۲-۳ دقیقه استراحت بین هر تکرار بود. در نهایت، مقادیر هر یک از شاخص‌های فوق‌الذکر، ۲۴-۱۸ ساعت قبل و پس از مداخله تمرینی اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** پس از هشت هفته تمرین HIIT، مقادیر IGF-I، اکسیژن مصرفی بیشینه ( $VO_{2max}$ )، توان بی‌هوازی اوج (PPO) و میانگین توان بی‌هوازی (MPO) نسبت به دوره قبل از تمرینات افزایش ( $P < 0.001$ ) و شاخص خستگی طی آزمون RAST و درصد چربی به طور معنی‌داری کاهش یافت ( $0.001 < P$ ). همچنین، همبستگی و رابطه مثبت معنی‌داری بین میزان تغییرات IGF-I و تغییرات آمادگی هوازی، بی‌هوازی و درصد چربی بدنی مشاهده شد. با این حال، فشار خونی سیستولی و دیاستولی پس اتمام دوره تمرینی تغییر معنی‌داری نشان نداد ( $P > 0.05$ ).

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج مطالعه حاضر به نظر می‌رسد IGF-I می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی آمادگی بدنی پسران نوجوان مورد استفاده قرار گیرد.

**کلید واژه‌ها:** آمادگی هوازی، آمادگی بی‌هوازی، عامل رشد شبه انسولینی - ۱، درصد چربی، پسران نوجوان

نحوه استناد به این مقاله: امیرساسان ر، آرمان‌فر م، حصاری ج. سطوح سرمی عامل رشد شبه انسولینی - ۱ (IGF-I) به عنوان نشانگر مرتبط با ارزیابی آمادگی هوازی و بی‌هوازی پسران نوجوان. مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی - درمانی تبریز. ۱۳۹۸؛ ۴۱(۴): ۷-۱۶

حق تألیف برای مؤلفان محفوظ است.

این مقاله با دسترسی آزاد توسط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی - درمانی تبریز تحت مجوز کربیتو کامنز (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) منتشر شده که طبق مفاد آن هرگونه استفاده تنها در صورتی مجاز است که به اثر اصلی به نحو مقتضی استناد و ارجاع داده شده باشد.

## مقدمه

مبنای اصلی رشد و نمو طی دوران کودکی و نوجوانی محور هورمون رشد/عامل رشد شبه انسولینی-۱ (GH /IGF-I) است. هورمون رشد پس از تولید توسط هیپوفیز قدامی از طریق گردش خون به کبد و سایر بافت‌های محیطی منتقل شده و به تولید IGF-I منجر می‌شود. بخش عمده آثار این محور از طریق IGF-I روی می‌دهد. IGF-I یک عامل آنابولیک و پلی‌تروپیک است که موجب رشد بافتی می‌شود. در واقع، IGF-I میانجی اصلی اثرگذاری GH بر سلول‌ها می‌باشد که رشد نظام‌مند بدن را تحریک کرده و باعث نمو و رشد تقریباً تمامی سلول‌های بدن به ویژه عضلات اسکلتی، مفاصل، استخوان‌ها، کلیه، کبد، سلول‌های عصبی و سایر اندام‌های بدن می‌شود. ژنتیک، چرخه شبانه‌روزی، سن، جنسیت، عوامل تغذیه‌ای، بیماری و نیز فعالیت ورزشی، سایر عوامل موثر بر محور IGF-I هستند (۱، ۲).

در سطح سلولی، IGF-I دارای آثار آنابولیک، میتوژنیک، متابولیک و افزایش تمایز بافتی است، در حالی که در سطح کل بدن به عنوان یک نشانگر مهم تعدیل‌کننده آمادگی جسمانی و سازگاری با تمرینات ورزشی، هایپرتروفی عضلانی، چگالی مواد معدنی استخوان، تغییرات ترکیب بدنی، عملکرد شناختی و ابتلا به سرطان شناخته می‌شود. شواهد علمی قابل توجهی از مطالعات پایه، کاربردی، بالینی و همه‌گیرشناسی به دست آمده است که IGF-I در تمامی فرآیندهای فوق‌الذکر نقش اساسی را دارا است. از دیدگاه کاربردی، استفاده از اندازه‌گیری غلظت IGF-I احتمالاً می‌تواند به عنوان شاخصی ارزشمند برای ارزیابی وضعیت سلامتی، آمادگی جسمانی، متابولیک و بیماری استفاده شود (۳). با این حال، تا زمان افزایش اطلاعات و درک کامل چگونگی اثرگذاری هر یک از مؤلفه‌های سیستم (IGF-I) (IGF-I) تام، IGF-I آزاد، ایزوفرم‌های IGF، پروتئین پیوندی IGF (IGFBP) و غیره بر عملکرد فیزیولوژیکی، مشخص نمی‌باشد که کدام یک از این اجزا باید اندازه‌گیری شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. همچنین، این مسئله که IGF-I در چندین کمپارتمان مختلف بدن (مانند خون، بزاق، مایع میان بافتی، عضله، استخوان و بافت عصبی) موجب گردیده است تا روش نمونه‌گیری بین مطالعات متفاوت و متنوع باشد. همچنین، در مواردی بسیاری نتایج به دست آمده از مطالعات مبهم و حتی در برخی موارد متناقض است (۴).

مطالعات بسیاری به وضوح نشان داده‌اند که تمرینات ورزشی می‌تواند به افزایش رشد بافتی منجر شود و بسیاری از فواید سلامتی افراد ورزش‌ده‌تر، ریشه در افزایش آثار آنابولیک GH و IGF-I دارد، زیرا افراد آماده‌تر، مقادیر سرمی GH و IGF-I بیشتری دارند. از این رو، به نظر می‌رسد که افزایش آمادگی بدنی ناشی از تمرین به افزایش IGF-I سرمی منجر می‌شود، اما در تمام آزمون‌ها و تمرینات طراحی شده برای افزایش IGF-I،

همواره پس از تمرینات ورزشی این روند مشاهده نشده است (۵). بسیاری از محققان، با بررسی تأثیر انواع پروتکل‌های ورزشی مختلف بر فعالیت GH /IGF-I، افزایش معنی‌دار آن را گزارش کرده‌اند. ولی نتایج تحقیقات در مورد IGF-I دارای اختلافاتی است. مطالعات افزایش (۶)، کاهش (۷) و عدم تغییر (۸) مقدار IGF-I به دنبال فعالیت و تمرینات ورزشی را گزارش کرده‌اند. برخی مطالعات برای بررسی تأثیر دو نوع فعالیت ورزشی کوتاه‌مدت (۲۵ دقیقه) بیشینه و فعالیت میان‌مدت (۴۰ دقیقه) با ۸۰-۷۰ درصد بار بیشینه نتیجه گرفته‌اند که GH و IGF-I کل در هر دو نوع فعالیت افزایش معنی‌دار داشته است. همچنین، تمرینات با شدت پایین منجر به افزایش قابل توجه فعالیت محور GH/IGF-I نمی‌گردد و تمرینات تناوبی شدید (HIIT) موجب بیشترین افزایش غلظت و فعالیت عوامل هورمونی این محور رشدی گردیده است. چندین مطالعه گزارش کرده‌اند که برای دستیابی به افزایش معنی‌دار IGF-I سرمی باید شدت تمرینات بالاتر از آستانه لاکتات بوده و مدت زمان آن نیز برای تحریک کافی باشد. از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش Felsing و همکاران اشاره نمود که با بررسی تأثیر انجام وهله‌های یک، پنج و ده دقیقه‌ای فعالیت ورزشی با میزان بارکاری ثابت با شدت بالا (بالاتر از LT) یا شدت پایین (کمتر از LT) بر پاسخ و سطوح استراحتی GH، انسولین، گلوکز، لاکتات، پیروات، اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین مردان سالم ۱۸ تا ۳۵ ساله گزارش نمودند که سطوح GH افزایش چشمگیری پس از تمرینات با شدت کم (پایین‌تر از LT) پیدا نمی‌کند. نتایج مقایسه وهله‌های ۱۰ دقیقه‌ای فعالیت شدید با فعالیت با شدت پایین نشان داد که غلظت لاکتات، اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین غلظت آن‌ها در گروه تمرین شدید بالاتر بوده است. همچنین، اگرچه غلظت لاکتات پس از فعالیت ورزشی شدید ۵ دقیقه‌ای افزایش یافت، اما غلظت GH تنها پس از وهله ۱۰ دقیقه‌ای فعالیت ورزشی شدید به طور معنی‌داری افزایش یافت و به مقادیر اوج خود رسید. محققان این مطالعه پیشنهاد کردند که به نظر می‌رسد انجام حداقل ۱۰ دقیقه فعالیت ورزشی شدید (بالاتر از LT) برای دستیابی به افزایش معنی‌دار غلظت GH در گردش ضروری است (۹). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که برای دستیابی به افزایش معنی‌دار غلظت این عوامل هورمونی باید از تمرینات ورزشی با شدت بالاتر از آستانه لاکتات یا تمرینات تناوبی شدید (HIIT) استفاده نمود.

به علاوه، مقادیر پایه IGF-I با توده عضله و آمادگی کودکان پیش از سن بلوغ، نوجوانان، و بزرگسالان ارتباط دارد (۱۰). در مقابل، شواهد بسیاری وجود دارد که در کودکان و نوجوانان، هر دو، برخلاف انتظار، حتی دوره‌های نسبتاً کوتاه فعالیت ورزشی هوازی (۵ هفته) می‌تواند به کاهش مقادیر پایه

غلظت IGF-I و  $VO_{2max}$  و توان بی‌هوایی اوج در دو گروه همسان ۱۱ نفره تمرین HIIT و کنترل (بدون فعالیت) جایگزین شدند. پیش از شروع تمرینات توصیه‌هایی در مورد متعادل بودن وعده‌های غذایی و خواب شبانه کافی (۸-۹ ساعت) به آزمودنی‌ها و والدین‌شان داده شد.

همه این افراد با هدف آشناسازی و افزایش آمادگی اولیه در یک برنامه تمرین تداومی هوایی (با شدت ۶۰-۶۵ درصد ضربان قلب ذخیره به مدت ۳۰-۴۵ دقیقه، ۳ جلسه در هفته) به مدت دو هفته شرکت کردند. سپس آزمودنی‌ها در هشت هفته تمرین HIIT شرکت کردند. هر جلسه تمرین HIIT شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن (شامل حرکات کششی، درجا زدن و حرکات جنبشی)، ۸-۶ تکرار دویدن ۶۰-۳۰ ثانیه‌ای با شدت تمام و ۴-۳/۵ دقیقه استراحت بین هر تکرار) و بخش بازگشت به حالت اولیه بود. در طی برنامه تمرینی تناوبی شدید تعداد تکرار دویدن ۳۰ ثانیه‌ای با شش تکرار شروع شده پس از چهار هفته به ۴۵ ثانیه و در نهایت در دو هفته نهایی تمرینات به شش الی هشت تکرار ۶۰ ثانیه‌ای گردید. طی هر جلسه تمرینی ابتدا ۴-۳ تکرار دویدن با تمام توان با ۳/۵ دقیقه استراحت بین هر تکرار اجرا شد و سپس آزمودنی‌های نوجوان ۵ دقیقه استراحت داشته و ۴-۳ تکرار دویدن با تمام توان بعدی را اجرا نمودند (۱۴). رژیم غذایی روزانه آزمودنی‌ها طی دوره تحقیق (با استفاده از پرسش‌نامه‌ی یادآمد تغذیه‌ای ۲۴ ساعته) کنترل شد. همه آزمودنی‌های در حین تمرینات بدنی هیچ محدودیتی در رابطه با دسترسی و نوشیدن آب نداشتند. خون‌گیری ۲۴-۱۸ ساعت قبل و پس از تمرینات (ساعت ۹-۸ صبح روز بعد) انجام شد. نمونه‌گیری‌ها به مقدار ۴-۳ میلی‌لیتر خون از ورید آنته کوربیتال (بدون افزودن ماده ضد انعقاد جهت جداسازی سرم) انجام شد. تمام نمونه‌های خونی بعد از لخته شدن در دمای محیط، برای جداسازی سرم در دستگاه سانتریفیوژ قرار گرفتند. نمونه‌های سرمی تا زمان اندازه‌گیری غلظت IGF-I در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در نهایت غلظت IGF-I سرمی (ng/ml) با استفاده از کیت Diasorin ساخت کشور ایتالیا با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر و به روش کمی لومینانس اندازه‌گیری شدند.

به منظور ارزیابی توان بی‌هوایی و اکسیژن مصرفی بیشینه به ترتیب از آزمون RAST و Bruce استفاده شد. برای اجرای آزمون RAST، پسران نوجوان مسافت ۳۵ متر را ۶ نوبت و با حداکثر سرعت ممکن دویدند و بین هر مرحله فعالیت، ۱۰ ثانیه استراحت داشتند. زمان هر مرحله با استفاده از زمان‌سنج در دو طرف خط شروع و پایان، ثبت شد و افراد در نقطه پایان مجدداً مرحله بعدی دویدن را آغاز کردند (۱۵). همچنین، درصد چربی با استفاده از دستگاه Inbody ساخت کشور کره جنوبی اندازه‌گیری شد. آزمون‌های کولموگراف-اسمیرنوف، ویلک-شاپیرو و لوین برای تعیین وضعیت توزیع و همگنی واریانس‌ها و از آزمون تحلیل

استراحتی IGF-I منجر شود (۱۱). برای مثال، مطالعه Eliakim و همکاران در پسران نوجوان با میانگین سنی تقریباً ۱۶ سال با بررسی تأثیر ۵ هفته تمرین ورزشی استقامتی که گاهی با تمرین با وزنه همراه بود، کاهش مقادیر IGF-I را گزارش کردند (۱۲). با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که پاسخ IGF-I به تمرینات ورزشی دارای دو مرحله است که در ۴-۵ هفته ابتدایی تمرینات کاهش و سپس با تداوم تمرینات غلظت آن افزایش می‌یابد. از این رو به نظر می‌رسد مدت زمان تمرینات باید بیشتر از ۴-۵ هفته باشد (۱۰).

همچنین، باید خاطر نشان شود که تأثیر تمرینات HIIT در دوره اوج سرعت قلبی (PHV) بر رابطه بین سطح سرمی IGF-I به عنوان شاخص‌های ارزیابی سطح سلامتی با متغیرهای آنتروپومتریک و آمادگی هوایی و بی‌هوایی پسران نوجوان تاکنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بنابراین، تحقیقی که در راستای تعیین تأثیر و رابطه بین IGF-I و شاخص‌های مرتبط با سلامتی و آمادگی به در مورد نوجوانان سودمند به نظر می‌رسید. از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی رابطه بین سطح سرمی IGF-I با متغیرهای آنتروپومتریک و آمادگی هوایی و بی‌هوایی پسران نوجوان صورت گرفت.

## روش کار

در مطالعه حاضر از میان دانش‌آموزان پسر نوجوان غیرفعال و نابالغ شهر خرم‌آباد، پس از شرح کامل موضوع، اهداف و روش تحقیق و پرسش و پاسخ‌های متعدد، با در نظر گرفتن معیارهای سن، غلظت IGF-I و شاخص‌های پیکرسنجی شامل قد و وزن، با تکمیل فرم رضایت آگاهانه والدین و پرسش‌نامه سلامتی، آزمودنی‌های سالم و واجد شرایط با در نظر گرفتن امکان انصراف داوطلبین تعداد ۲۲ نفر انتخاب شدند. سپس، آزمودنی‌ها با حضور در محل آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی شاخص‌های قد، وزن، چین‌های پوستی و پهنای استخوانی آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین، وضعیت بلوغ آزمودنی‌ها با استفاده از سن تقویمی، مقیاس تانر، پرسش‌نامه خود اظهاری وضعیت بلوغ (نظواهرات جسمانی) و هنجارهای مربوط به میزان IGF-I طی مراحل مختلف زندگی مورد بررسی قرار گرفت تا از نابالغ بودن آزمودنی‌ها اطمینان حاصل شود (۱۳). بر اساس نتایج به‌دست آمده از بررسی مراحل بلوغ (توسط سن تقویمی، مقیاس تانر و هنجارهای مربوط به میزان IGF-I) هیچ یک از آزمودنی‌ها مراحل بلوغ را طی نکرده بودند و همگی نابالغ (مرحله III و IV تانر) بودند.

به علاوه، غلظت IGF-I و آمادگی هوایی ( $VO_{2max}$ )، توان بی‌هوایی اوج، میانگین توان بی‌هوایی و شاخص خستگی و فشار خون سیستولی، دیاستولی و درصد چربی پسران نوجوان اندازه‌گیری شد. در ادامه آزمودنی‌ها به صورت تصادفی و بر اساس

HIIT نشان می‌دهد که مقادیر  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ، توان بی‌هوازی اوج، میانگین توان بی‌هوازی و IGF-I نسبت به دوره قبل از تمرینات افزایش معنی‌داری داشته است (نمودار ۱ و ۲). همچنین، درصد چربی و میزان شاخص خستگی طی آزمون RAST در گروه تمرینات HIIT نسبت به آزمون اجرا شده طی دوره پیش آزمون به طور معنی‌داری کاهش یافت ( $P > 0/001$ ). همچنین، همبستگی معنی‌داری به میزان تغییرات IGF-I با آمادگی هوازی، آمادگی بی‌هوازی، شاخص خستگی و درصد چربی وجود داشت. با این حال، فشار خونی سیستولی و دیاستولی پس اتمام دوره تمرینی تغییر معنی‌داری نشان نداد ( $P > 0/05$ ). همچنین، در گروه تمرینات HIIT کاهش وزن بدن روی داد، اما این تغییرات نسبت به پیش دوره پیش از تمرینات معنی‌دار نبود ( $P > 0/05$ ).

واریانس ( $2 \times 2$ ) برای ارزیابی تغییرات درون و بین گروهی و از آزمون همبستگی برای ارزیابی رابطه بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ در سطح  $P < 0/05$  تجزیه و تحلیل شدند.

### یافته‌ها

در جدول شماره ۱ مشخصات پیکرشناختی آزمودنی‌ها ارائه شده است. همچنین، در جدول ۲ مقادیر متغیر وابسته در هر دو گروه ذکر شده است. نتایج مربوط به میزان تغییرات اکسیژن مصرفی بیشینه، توان بی‌هوازی اوج، میانگین توان بی‌هوازی، شاخص خستگی، درصد چربی و IGF-I قبل و بعد از تمرینات HIIT با استفاده از آزمون تحلیل واریانس مکرر ( $2 \times 2$ ) در گروه

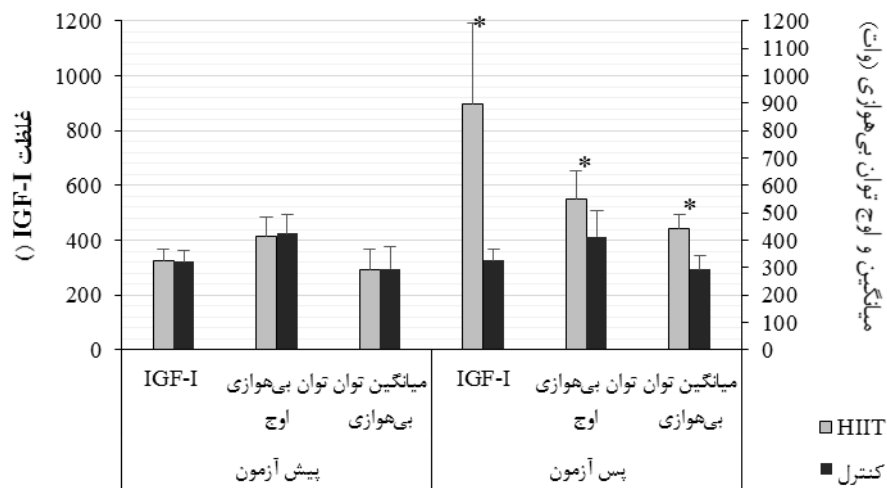
جدول ۱: مشخصات آنترپومتریک و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها (هر گروه ۱۱ نفر)

شاخص‌ها	میانگین	انحراف استاندارد
سن (سال)	۱۵/۶	۰/۶
وزن (کیلوگرم)	۶۲/۷	۱۵/۱
قد (سانتی‌متر)	۱۶۹	۳/۹

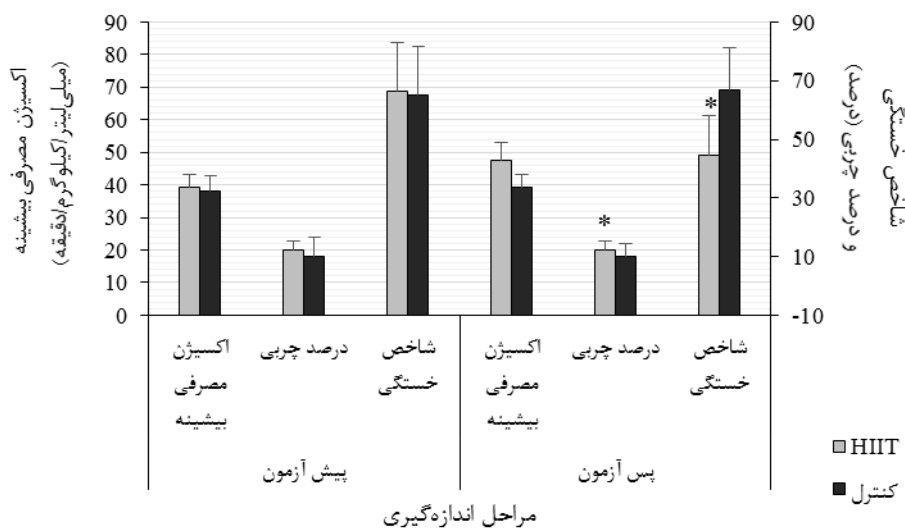
جدول ۲: تغییرات آمادگی هوازی، بی‌هوازی، فشار خون سیستولی، دیاستولی و IGF-I قبل و بعد از تمرینات HIIT (هر گروه ۱۱ نفر)

معنی‌داری	بعد از تمرینات	قبل از تمرینات	گروه	متغیر
$< 0/001^*$	$325/9 \pm 48/2$	$321/8 \pm 44/1$	کنترل HIIT	عامل رشد شبه انسولینی-1 (ng/ml)
$< 0/001^*$	$897/9 \pm 292/6$	$321/8 \pm 41/7$	کنترل HIIT	اکسیژن مصرفی بیشینه ( $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
$< 0/001^*$	$39/2 \pm 4/7$	$38/2 \pm 4/3$	کنترل HIIT	درصد چربی (%)
$< 0/001^*$	$47/4 \pm 5/6$	$39/2 \pm 3/9$	کنترل HIIT	توان بی‌هوازی اوج (وات)
$< 0/001^*$	$18/1 \pm 4/38$	$17/94 \pm 6/03$	کنترل HIIT	میانگین توان بی‌هوازی (وات)
$< 0/001^*$	$15/6 \pm 3/7$	$19/85 \pm 4/72$	کنترل HIIT	شاخص خستگی (درصد)
$< 0/001^*$	$412/22 \pm 96/26$	$425/5 \pm 70/23$	کنترل HIIT	فشار خون سیستولی (میلی‌متر جیوه)
$< 0/001^*$	$551 \pm 104/8$	$414/63 \pm 70$	کنترل HIIT	فشار خون دیاستولی (میلی‌متر جیوه)
$< 0/001^*$	$293/9 \pm 51/07$	$295/2 \pm 77/48$	کنترل HIIT	دور کمر (سانتی‌متر)
$< 0/001^*$	$443/14 \pm 49/87$	$291/14 \pm 83/18$	کنترل HIIT	
$< 0/001^*$	$69/15 \pm 12/54$	$67/53 \pm 15/32$	کنترل HIIT	
$0/979$	$49/11 \pm 13/01$	$68/6 \pm 15/43$	کنترل HIIT	
$0/979$	$82/3 \pm 8/63$	$81/4 \pm 7/74$	کنترل HIIT	
$0/647$	$79/9 \pm 7/11$	$80/2 \pm 6/51$	کنترل HIIT	
$0/647$	$122/6 \pm 8/34$	$121/8 \pm 8/74$	کنترل HIIT	
$0/937$	$120/9 \pm 8/27$	$119/4 \pm 5/51$	کنترل HIIT	
$0/937$	$82/9 \pm 8/25$	$82/8 \pm 6/74$	کنترل HIIT	
$0/937$	$79/9 \pm 7/61$	$83/9 \pm 7/61$	کنترل HIIT	

\* تفاوت معنی‌دار بین گروهی



نمودار ۱: تغییرات IGF-I توان بی‌هوایی اوج و میانگین توان بی‌هوایی در دو گروه تمرینی \* معنی‌داری درون گروهی در سطح  $(P < 0/05)$ .



نمودار ۲: تغییرات اکسیژن مصرفی پیشینه، درصد چربی و شاخص خستگی در دو گروه تمرینی \* معنی‌داری درون گروهی در سطح  $(P < 0/05)$ .

## بحث

در راستای افزایش غلظت IGF-I پس از تمرینات تناوبی شدید، بسیاری از محققان، افزایش معنی‌دار غلظت عوامل هورمونی مرتبط با رشد پس از انواع مختلف تمرینات ورزشی گزارش کرده‌اند. برای مثال، در راستای افزایش آمادگی هوازی و بی‌هوایی پس از تمرینات HIIT مطالعات بسیاری از جمله Cocks و همکاران افزایش  $VO_{2max}$  مردان غیرفعال را پس از تمرینات HIIT (۴-۶) آزمون وینگیت، ۳ مرتبه در هفته) گزارش کرده‌اند (۱۶). همچنین، در مطالعه دیگری کوک و همکاران گزارش کردند

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته HIIT موجب افزایش  $VO_{2max}$ ، توان بی‌هوایی اوج و میانگین توان بی‌هوایی و کاهش درصد چربی و شاخص خستگی شده است. در راستای این تغییرات میزان IGF-I سرمی افزایش یافته است. از طرفی یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که قبل و پس از تمرینات HIIT همبستگی معنی‌داری بین عامل هورمونی مرتبط با رشد و شاخص‌های آمادگی هوازی و بی‌هوایی وجود دارد و این همبستگی پس از هشت هفته تمرین HIIT افزایش یافته است.

به علاوه، Eliakim و همکاران با بررسی پاسخ محور GH/IGF-I طی ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه پس از آزمون بی‌هوازی و ینگیت در پسران و دختران جوان فعال افزایش غلظت و فعالیت هورمون‌های این محور را گزارش کردند (۲۰). نتایج نمونه‌های بافتی گرفته شده در برخی مطالعات حیوانی یا انسانی مربوط به IGF-I نشان داده است که، ممکن است تغییرات پلاسمایی بیانگر تغییرات آن در سطح بافتی (به ویژه بافت عضلانی) نباشد، یا حداقل نمایان شدن آن در گردش خون به زمان بیشتری نیاز داشته باشد. به همین دلیل، در این مطالعه به منظور به حداقل رساندن این تاثیر تاثیر فعالیت ورزشی بر پاسخ ۱۸-۲۴ ساعته IGF-I به تمرین تناوبی شدید مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین، به دلیل اثرات اتوکرینی، پاراکرینی و اندوکرینی IGF-I و تاثیر فرآیندهای آنابولیک و کاتابولیک بر سطوح IGF-I است، انتظار می‌رود تغییرات غلظت IGF-I در گردش خون نیز نمود پیدا کند (۲۱).

چندین مطالعه مقطعی با بررسی رابطه بین غلظت IGF-I در گردش و آمادگی هوازی (ارزیابی شده از طریق اکسیژن مصرفی بیشینه) گزارش کرده‌اند که تمرینات ورزشی احتمالاً غلظت IGF-I در گردش را افزایش می‌دهد. با این حال، برخی مطالعات نیز عدم تاثیر این نوع تمرینات بر شاخص‌های فیزیولوژیک (IGF-I) و آمادگی هوازی و بی‌هوازی را گزارش نموده‌اند. برای مثال Bickham و همکاران نتوانستند تغییر معنی‌داری در  $VO_{2max}$  پس از اجرای برنامه تمرینی تناوبی بی‌هوازی دویدن در طول ۶ هفته (۳۰-۱۴ تکرار از دوهای ۱۵-۵ ثانیه‌ای با شدت ۱۰۰-۹۰ درصد) را نشان دهند (۲۲). از جمله دلایل ناهمبندی نتایج با مطالعه حاضر می‌توان به تفاوت در نوع آزمودنی اشاره نمود، به نحوی که آزمودنی‌های مطالعه حاضر افراد پسران نوجوان غیرفعال بودند که دارای بالاترین ظرفیت بالقوه برای دستیابی به بالاترین بهبود ممکن در هر یک از شاخص‌های فوق‌الذکر هستند. علاوه بر این، بیشتر مطالعاتی که نتوانسته‌اند بهبود آمادگی هوازی و بی‌هوازی پس از تمرینات HIIT را نشان دهند عموماً از جلسات تمرینات HIIT بسیار کوتاه مدت (۱۵-۵ ثانیه‌ای) یا آن‌که مداخله تمرینی کمتر از این مطالعات کمتر از ۲ هفته طول کشیده است. در حالی که وهله‌های تمرینی مطالعه حاضر بین ۶۰-۳۰ ثانیه بوده و مدت اجرای تمرینات نیز هشت هفته بوده است. همچنین، کوتاه بودن مدت زمان ریکاوری غیرفعال استفاده بین وهله‌های تمرینی ممکن است ریکاوری دستگاه هوازی را ممکن است چراکه در این زمان تا حد قابل توجهی کلیرانس اسید لاکتیک و ستر مجدد کراتین فسفات روی می‌دهد. به علاوه، تعداد تناوب‌های اجرا شده، زمان بندی بین آخرین جلسه تمرینی و پس‌آزمون و متفاوت بودن تغذیه بین مطالعات مختلف نیز ممکن است تاثیرگذار باشد (۲۳).

مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که تمرینات HIIT موجب بهبود آمادگی قلبی-عروقی و آمادگی بی‌هوازی و نیز در مدت زمان

۴ هفته تمرین HIIT با بار ثابت (در ۲۰۰ درصد توان بیشینه) موجب افزایش  $VO_{2max}$ ، PPO، MPO گردید (۱۷).

همچنین در راستای، یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر افزایش غلظت IGF-I پس از تمرینات ورزشی شدید (بالاتر از آستانه لاکتات) با نتایج برخی مطالعات از جمله Hejazi، Tourinho و همکاران، هربرت و همکاران، باقری و همکاران و گرگوری و همکاران همسو می‌باشد. در راستای نتایج مطالعه حاضر، Hejazi در مطالعه خود نشان داد که هشت هفته HIIT شامل ۸-۲ وهله تمرین دوچرخه‌سواری با شدت بیشینه موجب افزایش معنی‌دار غلظت IGF-I پسران جوان گردیده است. همچنین، نتایج مطالعه باقری و همکاران نشان داد که هشت هفته تمرین با شدت بالا در آب (سه جلسه یک ساعته در هفته با شدت ۷۰ تا ۸۰ درصد ضربان قلب بیشینه) موجب افزایش غلظت سرمی IGF-I کودکان ۹ تا ۱۱ ساله پسر گردیده است.

با توجه به نتایج فوق و آگاهی از این مطلب که اندازه پاسخ خطی GH و IGF-I به شدت فعالیت ورزشی بستگی دارد، در برخی مطالعات تاکید شده است که شدت مورد نیاز برای فراخوان افزایش GH و IGF-I باید بالاتر از آستانه لاکتات باشد (۱۸). در این راستا، الیاکیم و همکاران با بررسی تاثیر ۱۰ وهله فعالیت ۲ دقیقه‌ای روی چرخ کارسنج با بار بالاتر از آستانه بی‌هوازی با یک دقیقه استراحت بین هر وهله در کودکان و نوجوانان چاق افزایش ترشح GH و IGF-I را گزارش کردند. این محققان استدلال کردند که افزایش غلظت این عوامل هورمونی ناشی از افزایش ترشح ایپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین و تحریک فعالیت نوروهای مرکزی آدرنژیک و به دنبال آن تحریک ترشح هورمون محرک ترشح هورمون رشد (GHRH) یا کاهش ترشح سوماتواستاتین است (۱۲).

عوامل اصلی موثر بر افزایش IGF-I در پاسخ به فعالیت ورزشی به طور کامل شناخته نشده‌اند، با این حال سازوکار عمومی افزایش رهایش IGF-I کبدی در پاسخ به افزایش ترشح GH ناشی از تمرینات ورزشی است. محققان بر این باورند که علاوه بر افزایش مقدار GH به عنوان محرک اصلی ترشح IGF-I بعد از فعالیت‌های ورزشی شدید، شدت (بالاتر از آستانه لاکتات)، نوع انقباض عضلانی، تعداد تکرار و مدت زمان استراحت بین وهله‌های تمرینی عوامل اثرگذار هستند. همچنین، افزایش غلظت لاکتات خون یکی از دلایل افزایش ترشح GH پس از اجرای تمرینات ورزشی بیان شده است. به نظر می‌رسد اتکای بیشتر به دستگاه انرژی بی‌هوازی و افزایش غلظت برخی فرآورده‌های سوخت و سازی مانند نیتریک اکساید (NO) و اسید لاکتیک طی تمرینات HIIT شده که می‌تواند با تحریک گیرنده‌های متابولیک و اثرگذاری بر هیپوتالاموس، در نهایت باعث افزایش آزاد شدن GH از هیپوفیز قدامی شود (۱۹).

موجب افزایش فعالیت و غلظت آنزیم‌های درگیر در بتا-اکسیداسیون و همچنین افزایش سطوح ناقلین انتقال چربی به درون عضله میتوکندری اسکلتی می‌گردد که به نوبه خود به افزایش اکسیداسیون چربی برای تولید انرژی منجر می‌شود (۲۹). با این حال، این نکته باید خاطر نشان شود که افزایش، کاهش و عدم تغییر در IGF-I در گردش برای تمرینات و فعالیت ورزشی حاد و طولانی مدت گزارش شده است و چنین یافته‌های مبهم و حتی متناقضی موجب گردیده است تا دستیابی به یک نتیجه‌گیری قطعی دشوار باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در کنار سایر روش‌های ارزیابی سطح سلامتی و آمادگی جسمانی، به نظر می‌رسد استفاده از غلظت IGF-I ممکن است روش مناسبی برای ارزیابی سطح سلامتی و آمادگی جسمانی پسران نوجوان نابالغ باشد. با این حال، به نظر می‌رسد برای تعیین کمپارتمان اندازه‌گیری نمونه و این که کدامیک از مولفه‌های هر یک از این هورمون‌ها اندازه‌گیری شود به انجام تحقیقات بیشتری نیاز است.

### قدردانی

مطالعه حاضر حاصل پایان‌نامه دانشجویی دکتری در دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تبریز می‌باشد. از تمام افرادی که در این تحقیق همکاری کرده‌اند، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

### ملاحظات اخلاقی

پروتکل این مطالعه در کمیته پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز استان آذربایجان شرقی به شماره مرجع IR.TBZMED.REC.1396.258 به تایید رسیده است.

### منابع مالی

منابع مالی این طرح تحقیقاتی توسط نویسندگان تامین شده است.

### منافع متقابل

مؤلف اظهار می‌دارد که منافع متقابلی از تالیف یا انتشار این مقاله ندارد.

### مشارکت مؤلفان

۱. اس به عنوان استاد راهنما در انتخاب موضوع، طراحی پروتکل، تحلیل نتایج و تدوین مقاله مطالعه و ۲. م آ انتخاب موضوع، طراحی پروتکل، اجرا، تحلیل نتایج و تدوین مقاله مطالعه و ۳. ج ح در طراحی و اجرای پروتکل تحقیق نقش داشتند، همچنین، اساتید راهنما و مشاور مقاله نسخه نهایی تهیه شده توسط م آ را خوانده و تایید کرده‌اند.

کمتری باعث بهبود وضعیت ترکیب بدن می‌گردد. در این راستا، Whyte و همکاران کاهش مقدار و درصد چربی و وزن بدن را پس از یک مداخله تنها ۲ هفته‌ای HIIT (شامل اجرای ۶-۴ وینگیت با فواصل استراحتی ۴/۵ دقیقه) گزارش نمودند (۲۴). همچنین، Tjonna و همکاران با بررسی تاثیر ۱۲ هفته تمرین HIIT (۴ × ۴ دقیقه با فواصل استراحتی ۳ دقیقه‌ای) روی مردان و زنان میانسال به ترتیب کاهش ۷ و ۸ درصدی چربی زیرپوستی و چربی ناحیه شکمی را گزارش کردند (۲۵). Chicharro و همکاران نشان دادند که بعد از ۳ هفته تمرین مقدار IGF-I کل افزایش یافته و IGF-I در گردش کاهش یافته است. از طرفی در تمرینات مزمن تغییرات ناشی از تمرین در ترکیب بدنی و تعادل منفی کالری می‌تواند غلظت IGF-I را تنظیم کند که می‌تواند یکی از سازوکارهای احتمالی کاهش درصد چربی متعاقب تمرینات HIIT و افزایش اکسیداسیون چربی باشد (۲۶). در راستای تایید این فرضیه، یک مطالعه نشان داده است که جلسات تمرینات HIIT موجب کاهش و در برخی موارد مهار گلیکوژنولیز بی هوازی و افزایش بازسازی ATP از طریق افزایش تجزیه PCr و ذخایر تری آسپیل گلیسرول درون عضلانی گردیده است (۲۷). همچنین، در برخی مطالعات افزایش گلیسرول در گردش حین تمرینات HIIT در زنان و مردان دوچرخه سوار تمرین کرده نشان داده‌اند که در راستای تایید افزایش انتقال و استفاده از اسیدهای چرب آزاد طی یک وهله تمرین HIIT است. به علاوه، در برخی مطالعات بیان شده است که فعالیت ورزشی HIIT اکسیداسیون ۲۴ ساعته چربی را همانند تمرینات تداومی هوازی تحت تاثیر قرار دهد. یکی دیگر از دلایل افزایش اکسیداسیون چربی پس از تمرینات HIIT افزایش غلظت آنزیم های اکسایشی است (۲۸). سایر سازوکارهای بیان شده شامل نقش احتمالی افزایش کاتکولامین‌ها طی و پس از تمرین HIIT است که می‌تواند افزایش اکسیداسیون چربی پس از جلسه تمرین ورزشی HIIT را تحت تاثیر قرار دهد. افزایش هورمون رشد و متعاقب آن IGF-I پس از یک وهله تمرین HIIT مشاهده شده است که ممکن است در افزایش اکسیداسیون چربی پس از این نوع تمرینات ورزشی سهیم باشد (۲۸، ۲۹).

به علاوه، بر اساس شواهد موجود در وهله‌های ورزشی حاد، فعالیت ورزشی تداومی هوازی با شدت متوسط موجب افزایش اتکا به اکسیداسیون چربی طی فعالیت ورزشی می‌گردد، در حالی که فعالیت ورزشی HIIT عمدتاً باعث افزایش اکسیداسیون چربی در دوره پس از فعالیت ورزشی می‌شود. این مسئله نیز می‌تواند تاییدکننده نتایج مطالعه حاضر در راستای افزایش IGF-I در ۲۴-۱۸ ساعته پس از فعالیت ورزشی شدید باشد. همچنین، این سازوکارها موجب افزایش استفاده از چربی برای تولید انرژی در دوره ریکاوری تمرینات HIIT می‌شود. همچنین، تمرینات HIIT



## References

- Carter-Su C, Schwartz J, Argetsinger L S. Growth hormone signaling pathways. *Growth Horm IGF Res* 2016; **28**: 11-15. doi: 10.1016/j.ghir.2015.09.002
- Kawai M. Role of GH/IGF-1 in bone growth and bone mass. *Handbook of nutrition and diet in therapy of bone diseases*: Wageningen Academic Pub, 2016; PP: 2674-82. doi: 10.3920/978-90-8686-823-0\_6
- Nindl B C, Pierce J R. Insulin-like growth factor I as a biomarker of health, fitness, and training status. *Med Sci Sports Exerc* 2010; **42**(1): 39-49. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181b07c4d
- Nindl B C. Insulin-like growth factor-I as a candidate metabolic biomarker: military relevance and future directions for measurement. *J Diabetes Sci Technol* 2009; **3**(2): 371-376. doi: 10.1177/1932296809000300220
- Nindl B C, Alemany J A, Tuckow A P, Kellogg MD, Sharp MA, Patton JF. Effects of exercise mode and duration on 24-h IGF-I system recovery responses. *Med Sci Sports Exerc* 2009; **41**(6): 1261-1270. doi: 10.1249/MSS.0b013e318197125c.
- Rubin M R, Kraemer W J, Maresh C M, Volek J S, Ratamess N A, Vanheest J L, et al. High-affinity growth hormone binding protein and acute heavy resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2005; **37**(3): 395-403. doi: 10.1249/01.mss.0000155402.93987.c0
- Widdowson W M, Healy M-L, Sönksen PH, Gibney J. The physiology of growth hormone and sport. *Growth Horm IGF Res* 2009; **19**(4): 308-319. doi: 10.1016/j.ghir.2009.04.023.
- Eliakim A, Nemet D, Zaldivar F, McMurray R G, Culler F L, Galassetti P, et al. Reduced exercise-associated response of the GH-IGF-I axis and catecholamines in obese children and adolescents. *J Appl Physiol* 2006; **100**(5): 1630-1637. doi: 10.1152/jappphysiol.01072.2005
- Felsing N E, Brasel J, Cooper D M. Effect of low and high intensity exercise on circulating growth hormone in men. *J Clin Endocrinol Metab* 1992; **75**(1): 157-162.
- Nindl B C, Alemany J A, Kellogg M D, Rood J, Allison S A, Young A J, et al. Utility of circulating IGF-I as a biomarker for assessing body composition changes in men during periods of high physical activity superimposed upon energy and sleep restriction. *J Appl Physiol* 2007; **103**(1): 340-346. doi: 10.1152/jappphysiol.01321.2006
- Bar-Or O, Rowland T W. *Pediatric exercise medicine: from physiologic principles to health care application*: Human Kinetics; 2004.
- Eliakim A, Brasel J A, Mohan S, Wong WLT, Cooper D M. Increased physical activity and the growth hormone-IGF-I axis in adolescent males. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 1998; **2**(1): R308-R314. doi: 10.1152/ajpregu.1998.275.1.r308
- Rasmussen A R, Wohlfahrt-Veje C, de Renzy-Martin K T, Hagen C P, Tinggaard J, Mouritsen A, et al. Validity of self-assessment of pubertal maturation. *Acad Pediatr* 2015; **135**(1): 86-93. doi: 10.1542/peds.2014-0793
- Siahkhouian M, Khodadadi D, Shahmoradi K. Effects of high-intensity interval training on aerobic and anaerobic indices: Comparison of physically active and inactive men. *Sci & Spor* 2013; **28**(5): e119-e125. doi: 10.1016/j.scispo.2012.11.006
- Andrade V, Zagatto A, Kalva-Filho C, Mendes O, Gobatto C, Campos E, et al. Running-based anaerobic sprint test as a procedure to evaluate anaerobic power. *Int J Sports Med* 2015; **36**(14): 1156-1162. doi: 10.1055/s-0035-1555935.
- Cocks M, Shaw C S, Shepherd S O, Fisher J P, Ranasinghe A M, Barker T A, et al. Sprint interval and endurance training are equally effective in increasing muscle microvascular density and eNOS content in sedentary males. *J Physiol* 2013; **591**(3): 641-656. doi: 10.1113/jphysiol.2012.239566.
- Cocks M, Shaw C S, Shepherd S O, Fisher J P, Ranasinghe A, Barker T A, et al. Sprint interval and moderate-intensity continuous training have equal benefits on aerobic capacity, insulin sensitivity, muscle capillarisation and endothelial eNOS/NAD (P) Hoxidase protein ratio in obese men. *J Physiol* 2015. doi: 10.1113/jphysiol.2014.285254.
- Hejazi S M. Effects of High Intensity Interval Training on Plasma Levels of GH and IGF-I. *Health Sciences* 2017; **6**(4): 55-59.
- Zinner C, Wahl P, Achtzehn S, Reed J, Mester J. Acute hormonal responses before and after 2 weeks of HIT in well trained junior triathletes. *Int J Sports Med* 2014; **35**(4): 316-322. doi: 10.1055/s-0033-1353141.
- Eliakim A, Nemet D, Most G, Rakover N, Pantanowitz M, Meckel Y, et al. The Effect of Gender on the GH-IGF-I Response to Anaerobic Exercise in Young Adults. *J Strength Cond Res* 2014. doi: 10.1519/JSC.0000000000000605.
- Eliakim A, Scheett T P, Newcomb R, Mohan S, Cooper D M. Fitness, Training, and the Growth Hormone→ Insulin-Like Growth Factor I Axis in Prepubertal Girls 1. *J Clin Endocrinol Metab* 2001; **86**(6): 2797-2802. doi: 10.1210/jcem.86.6.7560
- Bickham D, Le Rossignol P. Effects Of High-Intensity Interval Training On The Accumulated Oxygen Deficit of Endurance-Trained Runners. *Journal of Exercise Physiology* 2004; **7**: 40-47.
- Tourinho Filho H, Pires M, Puggina E, Papoti M, Barbieri R, Martinelli C. Serum IGF-I, IGFBP-3 and ALS concentrations and physical performance in young swimmers during a training season. *Growth Horm IGF Res* 2017; **32**: 49-54. doi: 10.1016/j.ghir.2016.12.004.
- Whyte L J, Gill J M, Cathcart A J. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism* 2010; **59**(10): 1421-1428. doi: 10.1016/j.metabol.2010.01.002

25. Tjonna A, Stolen T, Bye A, Volden M, Slordahl S, Odegard R, et al. Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clin Sci* 2009; **116**: 317-326. doi: 10.1042/CS20080249.
26. Chicharro J, López-Calderon A, Hoyos J, Martin-Velasco A, Villa G, Villanua M, et al. Effects of an endurance cycling competition on resting serum insulin-like growth factor I (IGF-I) and its binding proteins IGFBP-1 and IGFBP-3. *Br J Sports Med* 2001; **35**(5): 303-307. doi: 10.1136/bjism.35.5.303
27. Gaitanos G C, Williams C, Boobis L H, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* 1993; **75**(2): 712-719. doi: 10.1152/jappl.1993.75.2.712
28. Trapp E, Chisholm D, Freund J, Boutcher S. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes* 2008; **32**(4): 684-691. doi: 10.1038/sj.ijo.0803781.
29. Saris W, Schrauwen P. Substrate oxidation differences between high-and low-intensity exercise are compensated over 24 hours in obese men. *Int J Obes* 2004; **28**(6): 759-765. doi: 10.1038/sj.ijo.0802631