University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Summer 2023, 11(26), 20-29

Received: Oct 21, 2021 Revised: Jan 5, 2022 Accepted: Jan 9, 2022

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

The effect of resistance training along with electrical muscle stimulation on serum levels of PGC-1α, IGF-1 and myostatin in athletes after ACL surgery

Ali Hoseleh[1], Ali Yaghoubi[2]*, Amir Shahriar Ariamanesh[3], Najmeh Rezaeian[2]

1. Ph.D Student in Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sport Science, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran.

2. Assistant Professor at Department of Physical Education and Sport Science, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran.

3. Associate Professor at Department of Orthopedics, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Abstract

Background and Aim: Limited studies have investigated the effect of electrical muscle stimulation (EMS) on muscle growth factors in athletes after the anterior cruciate ligament (ACL) rehabilitation. The aim of the present study was to compare the effect of resistance training and resistance training combined with EMS on serum levels of peroxisome proliferator activated receptor-gamma co-activator 1-alpha (PGC-1α), insulin-like growth factor-1 (IGF-1) and myostatin in male athletes after ACL surgery. **Materials and Methods:** Twenty volunteers with 26.01±1.12 year's old, 177.10±9.59 cm height and 71.16±6.65 kg weight were randomly divided into two groups including resistance training combined with EMS and resistance training. The subjects in both groups performed three sets of resistance training movements with an intensity of 30-70% of 10 maximum repetitions for 12 weeks. The subjects in the resistance training combined with EMS group performed exercise training with electrical stimulation with a frequency of 35-70 Hz. Blood samples were taken from all subjects before and 48 hours after the last training session. ELISA method was used to measure serum PGC-1α, IGF-1 and myostatin levels. The comparison between groups was done using analysis of covariance test at a significance level of $p<0.05$. **Results:** The results showed that 12 weeks of resistance training combined with EMS compare to resistance intervention caused a significant increase in serum IGF-1 concentration and a significant decrease in serum myostatin levels, without significant change in serum PGC-1α of the participants. **Conclusion:** Overall, resistance training combined with EMS compared to traditional resistance training may lead to changes in serum levels of myostatin and IGF-1, which in turn increases the volume and strength of quadriceps and hamstring athletes after ACL surgery and can be used in ACL rehabilitation period.

Keywords: Myostatin, Peroxisome proliferator activated receptor-gamma co-activator 1-alpha, Insulin-like growth factor-1, Exercise training, Electrical stimulation.

Cite this article:

Hoseleh, A., Yaghoubi, A., Shahriar Ariamanesh, A., & Rezaeian, N. (2023). The effect of resistance training along with electrical muscle stimulation on serum levels of PGC-1α, IGF-1 and myostatin in athletes after ACL surgery. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, 11***(26), 20-29.**

***Corresponding Author, Address: Department of Physical Education and Sport Science, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran;**

Email: Yaghoubiali65@gmail.com

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.4794.1674

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee **Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport (JPSBS)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش مقاله پژوهشی
تابستان ۱۴۰۲، دوره ۱۱، شماره ۲۶، ص ۲۹-۲۰
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹
نشریه مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش
دانشگاه بیرجند

اثر تمرین مقاومتی همراه با تحریک الکتریکی عضله بر سطوح سرمی PGC-1α، IGF-1 و مایوستاتین پس از جراحی رباط صلیبی قدامی

علی حوصله[۱]، علی یعقوبی[۲*]، امیر شهریار آریا منش[۳]، نجمه رضائیان[۲]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزش، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران.
۲. استادیار فیزیولوژی ورزش، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران.
۳. دانشیار گروه ارتوپدی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: مطالعات محدودی اثر تحریک الکتریکی عضله (EMS) بر عوامل رشدی در دوره بازتوانی ورزشکاران بعد از عمل جراحی رباط صلیبی قدامی (ACL) را مورد بررسی قرار داده‌اند. هدف از تحقیق حاضر، مقایسه اثر تمرین مقاومتی همراه با EMS و تمرین مقاومتی بر سطوح سرمی گیرنده فعال کننده تکثیر پروکسی زوم گاما هم فعال ساز-۱ آلفا (PGC-1α)، عامل رشد شبه انسولین-۱ (IGF-1) و مایوستاتین در ورزشکاران مرد پس از جراحی ACL بود.

روش تحقیق: تعداد ۲۰ داوطلب مرد با میانگین سنی ۱/۱۲±۲۶/۰۱ سال، قد ۹/۵۹±۱۷۷/۱۰ سانتی متر، و وزن ۶/۶۵±۷۱/۱۶ کیلو گرم به‌طور تصادفی به دو گروه ۱۰ نفری شامل گروه تمرین مقاومتی همراه با EMS و تمرین مقاومتی تقسیم شدند. آزمودنی‌های هر دو گروه برنامه تمرین مقاومتی را به مدت ۱۲ هفته در سه نوبت با شدت ۷۰-۳۰ درصد ۱۰ تکرار بیشینه انجام دادند. آزمودنی‌های گروه تمرین مقاومتی به همراه با EMS، حرکات ورزشی را همراه با تحریک الکتریکی با فرکانس ۷۰-۳۵ هرتز به اجرا درآوردند. نمونه‌های خونی قبل و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی از همه آزمودنی‌ها اخذ گردید. برای اندازه‌گیری سطوح PGC-1α، IGF-1 و مایوستاتین سرمی از روش الایزا استفاده شد. مقایسه بین گروهی با استفاده از آزمون تحلیل کوواریانس در سطح معنی داری $p<0/05$ انجام شد. **یافته‌ها:** در مقایسه با تمرین مقاومتی تنها، تمرین مقاومتی همراه با EMS، موجب افزایش معنی دار غلظت سرمی IGF-1 و کاهش معنی دار سطوح سرمی مایوستاتین، بدون تغییر معنی دار در PGC-1α سرمی شرکت‌کنندگان شد. **نتیجه‌گیری:** تغییرات ایجاد شده در متغیرهای وابسته دال بر آن است که تمرین مقاومتی همراه با EMS در مقایسه با تمرین مقاومتی تنها، منجر به بهبود عوامل حجم دهنده و تقویت کننده عضلات چهار سر ران و همسترینگ ورزشکاران بعد از جراحی ACL می شود و از این روش می توان در دروه بازتوانی ACL استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: مایوستاتین، گیرنده فعال کننده تکثیر پروکسی زوم گاما هم فعال ساز-۱ آلفا، عامل رشد شبه انسولین-۱، تمرین ورزشی، تحریک الکتریکی.

* نویسنده مسئول، آدرس: بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی؛
پست الکترونیک: yaghoubiali65@gmail.com
https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.4794.1674

مقدمه

بهبود کلیه عوامل آمادگی جسمانی و بازگشت به‌موقع و ایمن ورزشکار به سطح مسابقات، از مهم‌ترین اهداف درمانی طی دوره توان‌بخشی آسیب های ورزشی می‌باشد (کروزه[1] و دیگران، ۲۰۱۲). رباط صلیبی قدامی[2] (ACL) کنترل‌کننده حرکات چرخشی مفصل زانو می‌باشد و آسیب آن، شایع‌ترین آسیب مفصل زانو در ورزشکاران محسوب می‌شود (نیلسون و یده[3]، ۱۹۹۱). عضله چهار سر ران به دنبال آسیب ACL دچار آتروفی می‌شود و در بیشتر مطالعات، عدم دست یابی به عملکرد مطلوب عضلانی حتی تا چندین سال بعد از عمل جراحی، نیز گزارش شده است (بیلر[4] و دیگران، ۲۰۱۴).

یکی از گزینه‌های درمانی که در مراحل اولیه توان‌بخشی ACL مورد استفاده قرار می‌گیرد، تحریک الکتریکی[5] (ES) است که در بهبود نسبی قدرت عضلانی نقش دارد (هاسه گاوا[6] و دیگران، ۲۰۱۱). روش ES یک روش غیرتهاجمی با استفاده از الکترودهای پوستی است که به آسانی قابل استفاده است. در این روش، الکترودهای پوستی اعصاب حرکتی را دپولاریزه کرده و عضله اسکلتی را منقبض می‌کنند (لپلی[7] و دیگران، ۲۰۱۵). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که ES می‌تواند مشابه با ورزش اختیاری استفاده شود و عملکرد عضلانی را بهبود بخشد (هاسه گاوا و دیگران، ۲۰۱۱). اخیراً استفاده از تحریک الکتریکی عضلات[8] (EMS) کل بدن جهت بهبود قدرت عضلانی و تعدیل سارکوپنی[9] پیشنهاد شده است. مداخله ES معمولاً به‌عنوان روشی برای جلوگیری از آتروفی عضلانی در دوران بی‌تحرکی استفاده می‌شود (هاسه گاوا و دیگران، ۲۰۱۱). از آنجا که ES به‌صورت برون زا[10] عضله را تحریک می‌کند، تصور می‌شود که فیبرهای عضلانی نوع II به‌طور انتخابی به کار گرفته شوند و بالقوه نیروی عضلانی بیشتری تولید گردد (لپلی و دیگران، ۲۰۱۵).

از میان میوکاین های[11] مؤثر بر رشد عضله، مایوستاتین به‌عنوان عامل مهارکننده رشد عضلانی و عامل رشد شبه انسولین-۱[12] (IGF-1) به‌عنوان هورمون محرک رشد، بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ این عوامل خود تحت تأثیر عوامل مختلف تنظیم می‌شوند. مایوستاتین یکی از اعضای خانواده بزرگ عامل رشد تغییردهنده بتا[13] (TGFβ) است که رشد عضله را مهار می‌کند، به‌طوری‌که تنظیم افزایش ژن مسئول بیان مایوستاتین با آتروفی عضله اسکلتی رابطه دارد و جهش در ژن مایوستاتین، سبب افزایش حجم عضلانی می‌شود (لی[14]، ۲۰۰۷). بر خلاف مایوستاتین، IGF-1 یکی از مهم‌ترین عوامل محرک رشد عضله در پاسخ به محرک‌های مکانیکی است که یا به‌عنوان یک واسطه درون‌سلولی توسط هورمون رشد تنظیم می‌شود و یا مستقل از هورمون رشد عمل می‌کند (موهان و بایلینک[15]، ۲۰۰۲). به علاوه، مطالعات اخیر نشان داده اند که گیرنده فعال کننده تکثیر پروکسی زوم گاما هم فعال ساز-۱ آلفا[16] (PGC-1α) با مهار مایوستاتین و فعال کردن IGF-1، در هایپرتروفی عضله نقش دارد (کلتای[17] و دیگران، ۲۰۱۷).

در مجموع، با توجه به این که در دوره بازتوانی ACL نمی‌توان از وزنه های سنگین و شدت های بالاتر استفاده کرد و بررسی های انجام شده از شدت های پایین استفاده می‌کنند و پروتکل تمرینی ترکیبی جهت بازتوانی مورد استفاده قرار نگرفته است؛ و همچنین به دلیل لزوم برنامه‌ریزی مناسب برای کمک به بازتوانی و بازگشت سریع‌تر به ورزش که ضمن افزایش قدرت و بهبود هایپرتروفی عضلات چهار سر ران، ایمن بوده و به دیگر اجزای مفصل زانو آسیب نرساند، پژوهش حاضر درصدد برآمد تا اثر ۱۲ هفته تمرینات مقاومتی همراه با EMS بر سطوح سرمی PGC1-α، مایوستاتین و IGF-1 در ورزشکاران پس از جراحی ACL را بررسی نماید و به این سوال پاسخ دهد که آیا استفاده از EMS در کنار تمرین مقاومتی، می‌تواند موجب بهبودی بیشتر در عوامل رشدی عضله و اجزای مفصل زانو پس از پس از جراحی ACL شود؟

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح پیش آزمون و پس آزمون با دو گروه تجربی بود. جامعه آماری پژوهش حاضر را ورزشکاران نخبه با سابقه جراحی ACL با دامنه سنی ۳۵-۱۸ سال استان خراسان رضوی تشکیل دادند. نخست از نمونه‌گیری غیرتصادفی مبتنی بر هدف استفاده شد، به‌طوری‌که ورزشکاران حرفه‌ای از طریق جراح ارتوپد فوق تخصص زانو و یا فیزیوتراپیست شناسایی شدند و به‌صورت داوطلبانه وارد تحقیق گردیدند. معیارهای ورود به مطالعه، گذشتن سه ماه از جراحی و دریافت درمان‌های فیزیوتراپی مشابه طی این مدت، وجود تنها پارگی رباط ACL و سالم بودن سایر رباط‌ها و قسمت‌های زانو، عدم وجود هر گونه

1. Kruse
2. Anterior ligament
3. Nielsen & Yde
4. Bieler
5. Electrical stimulation
6. Hasegawa
7. Lepley
8. Muscle electrical stimulation
9. Sarcopenia
10. Exogenous
11. Myokines
12. Insulin-like growth factor-1
13. Transforming growth factor beta
14. Lee
15. Mohan & Baylink
16. Peroxisome proliferator activated receptor -gamma co-activator 1-alpha
17. Koltai

آسیب‌دیدگی قبلی در اندام تحتانی، و سلامت کامل از نظر بیماری‌های عضلانی - اسکلتی و مشکلات قلبی - تنفسی بود. ملاک های خروج از تحقیق نیز شامل عدم شرکت منظم در تمرینات، استفاده از مکمل های ورزشی، ابتلا به بیماری های التهابی حاد و مزمن، و مصدومیت مجدد بود. در یک جلسه، همه شرکت کنندگان فرم رضایت‌نامه را امضاء کردند و به‌صورت آگاهانه و داوطلبانه آمادگی خود را برای شرکت در این پژوهش اعلام نمودند. از بین داوطلبان، ۲۰ نفر که شرایط لازم برای شرکت در پژوهش را داشتند انتخاب گردیده و به‌طور تصادفی به دو گروه ۱۰ نفری شامل گروه تمرین مقاومتی همراه با EMS و گروه تمرین مقاومتی تنها تقسیم شدند (جدول یک). قبل از شروع پروتکل ورزشی در یک جلسه، یک تکرار بیشینه (1RM) با استفاده از فرمول برزیسکی[1] [1RM=وزن جابه‌جاشده (کیلوگرم) : ۱/۰۲۷۸ − (تعداد تکرار تا خستگی × ۰/۰۲۷۸)] برای هر فرد تعیین شد. چهار روز بعد از تعیین 1RM و قبل از شروع پروتکل‌های تمرینی، نمونه خونی (پیش‌آزمون) در حالت ناشتا اخذ گردید و اندازه‌گیری شاخص‌های قد، وزن و شاخص توده بدنی انجام شد. در ادامه، آزمودنی‌ها به مدت ۱۲ هفته مداخله مورد نظر را انجام دادند. زمان ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی و در حالت ناشتا، نمونه‌گیری خونی دوم (پس‌آزمون) اخذ گردید و برای آنالیز سطوح سرمی PGC1-α، مایوستاتین و IGF-1 به آزمایشگاه منتقل شد.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های فردی گروه‌های شرکت کننده در تحقیق

گروه ها متغیرها	تمرین مقاومتی همراه با EMS	تمرین مقاومتی
سن (سال)	۲۷/۰±۱۰/۴۲	۲۶/۲۰±۸/۵۵
قد (سانتی متر)	۱۷۷/۱۵±۱۲/۵۹	۱۷۸/۳۰±۱۰/۱۱
وزن (کیلوگرم)	۷۱/۱۶±۹/۶۵	۷۱/۸۸±۱۰/۹۲
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	۲۲/۶۹±۵/۰۶	۲۲/۵۸±۶/۶۴

نحوه اجرای پروتکل تمرین مقاومتی: پروتکل تمرین مقاومتی اجرا شده مشتمل بر دو بخش بود. در بخش اول که شامل هفته اول تا هفته دوازدهم بعد از عمل جراحی ACL بود، تمامی آزمودنی ها یک پروتکل یکنواخت فیزیوتراپی را با اهداف مشخص دنبال کردند و از هفته دوازدهم تا هفته بیست و دوم بعد از عمل ACL، هر دو گروه پروتکل معین مخصوص خود را انجام دادند. در گروه تمرین مقاومتی نوع حرکت، تعداد نوبت ها و تعداد تکرارها مشابه پروتکل گروه مقاومتی همراه با EMS بود و تفاوت بین دو گروه از نظر نوع اجرا به این صورت بود که در گروه تمرین مقاومتی همراه با EMS، از لباس های مخصوص بهره برداری گردید و برای افزایش میزان بار، از عواملی مثل فرکانس و پالس استفاده شد. در گروه تمرین مقاومتی جهت افزایش میزان بار، وزنه ها افزایش یافت، به طوری که از ۳۰ درصد 1RM در هفته اول شروع شد و تا ۷۰ درصد 1RM در هفته دوازدهم افزایش پیدا کرد.

در پروتکل گروه تمرین مقاومتی همراه با EMS از دستگاه ای ام اس مدیکال ای فیت[2] ساخت کشور لهستان استفاده شد، بدین صورت که مداخله از نظر نوع حرکت، تعداد نوبت‌ها و تعداد تکرارها، مشابه پروتکل گروه مقاومتی بود؛ اما بدلیل همزمانی استفاده از ES، باری معادل ۳۰ درصد 1RM از هفته اول تا هفته ششم، و باری معادل ۴۰ درصد 1RM از هفته هفتم تا دوازدهم در نظر گرفته شد. در این گروه، عامل مهم برای افزایش میزان بار، استفاده از فرکانس و پالس بود که به ترتیب از هفته اول با فرکانس ۲۵ هرتز و پالس ۲۷۰ شروع شد و در هفته دوازدهم به فرکانس ۷۰ هرتز و پالس ۴۰۰ رسید. برای EMS از شلوارک‌ها و جلیقه‌ای مخصوص و مجهز به پدهای الکتریکی استفاده شد. در یک جلسه تمرین، در گروه تمرین مقاومتی همراه با EMS، آزمودنی ها پس از گرم کردن، لباس های مخصوص را به تن کرده و بعد از تنظیم فرکانس و پالس، حرکات برنامه تمرینی که مشابه برنامه تمرین مقاومتی بود را همزمان با جریان الکتریکی با زمان انقباض ۲۰ ثانیه و استراحت ۱۰ ثانیه اجرا نمودند. برنامه‌های تمرینی با تعداد سه جلسه در هفته به طور منظم انجام شد (هاسه گاوا و دیگران، ۲۰۱۱).

روش های تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی: در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون، نمونه‌های خونی به میزان پنج میلی لیتر از سیاهرگ بازوئی در حالت استراحت و پس از ۱۲ ساعت ناشتایی اخذ گردید. سپس نمونه خونی در دمای

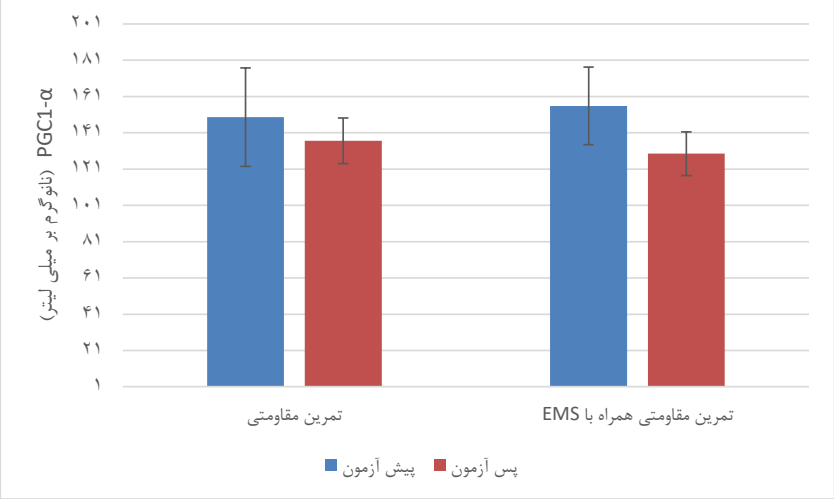
1. Brzycki
2. EMS medical E-Fit

اتـاق بـه مـدت ۲۰ دقیقـه تـا لختـه شـدن خـون نگهـداری شـدند. پـس از لختـه شـده خـون، نمونه‌هـای خونـی در دمـای چهـار درجـه سـانتی‌گراد بـه مـدت ۱۵ دقیقـه بـا سـرعت ۳۰۰۰ دور بـر در دقیقـه سـانتریفیوژ شـدند. پـس از جداسـازی سـرم، نمونه‌هـای خونـی در دمـای ۲۰- در یخچـال ذخیـره شـدند. سـطوح سـرمی PGC-1α بـا کیـت الایـزا بـا حساسـیت ۰/۰۶ نانوگـرم بـر میلـی لیتـر؛ سـطوح سـرمی IGF-1 بـا کیـت الایـزا بـا حساسـیت ۰/۰۱ نانوگـرم در میلـی لیتـر، و سـطوح سـرمی مایوسـتاتین بـا کیـت الایـزا بـا حساسـیت ۰/۲۳ نانوگـرم در میلـی لیتـر (همـه کیـت هـا از نـوع انسـانی سـاخت شـرکت ایسـتابیوفارم[1] کشـور چیـن) مـورد سـنجش قـرار گرفتنـد.

روش هـای تجزیـه و تحلیـل آمـاری: بـرای توصیـف داده‌هـا از روش‌هـای آمـاری توصیفـی (میانگیـن، انحـراف اسـتاندارد، رسـم جـداول و نمودارهـا) اسـتفاده شـد. طبیعـی بـودن توزیـع داده هـا و تجانـس واریانـس متغیرهـای مـورد مطالعـه بـه ترتیـب بـا آزمـون شـاپیرو - ویلـک[2] و لـون[3] مـورد بررسـی قـرار گرفـت. سـپس مقایسـه بیـن گروهـی بـا اسـتفاده از آزمـون تحلیـل کوواریانـس صـورت گرفـت. از آزمـون t وابسـته بـرای مقایسـه مراحـل اندازه‌گیـری (تفـاوت پیش‌آزمـون بـا پس‌آزمـون) در هـر گـروه به‌صـورت جداگانـه اسـتفاده شـد. بـرای تجزیه‌وتحلیـل اطلاعـات از نرم‌افـزار آمـاری SPSS نسـخه ۲۳ و بـرای رسـم نمودارهـا، از نرم‌افـزار EXCEL نسـخه ۲۰۱۳ بهـره بـرداری گردیـد و مقـدار p کمتـر از ۰/۰۵ در نظـر گرفتـه شـد.

یافته‌ها

روش تحلیـل کوواریانـس نشـان داد کـه در مـورد سـطوح سـرمی PGC1-α، تفـاوت معنـی‌داری بیـن گروه‌هـا وجـود نـدارد (F=۰/۲۳ ،p=۰/۷۹) و نتایـج آزمـون t وابسـته نشـان داد کـه در هیچکـدام از گروه‌هـا تغییـرات سـطوح PGC1-α در پس‌آزمـون نسـبت بـه پیش‌آزمـون معنـی دار نیسـت (شـکل یـک).



شکل ۱. مقایسه تغییرات سرمی PGC1-α در دو گروه شرکت کننده

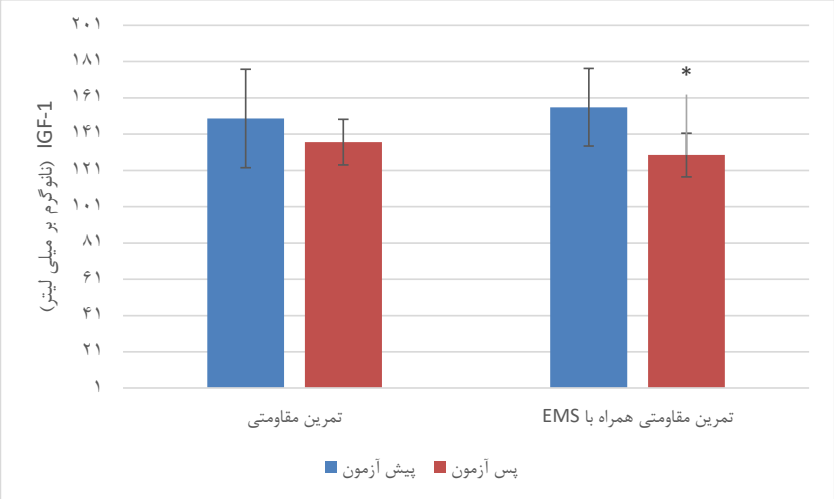
در مـورد سـطوح سـرمی IGF-1 روش تحلیـل کوواریانـس نشـان داد کـه بیـن گـروه هـا تفـاوت معنـی‌داری وجـود دارد (p=۰/۰۴، F=۳/۶۹)؛ بـه گونـه ای کـه سـطوح IGF-1 در گـروه تمریـن مقاومتـی همـراه بـا EMS در مقایسـه بـا گـروه تمریـن مقاومتـی تنهـا، بـه صـورت معنـی داری افزایـش یافـت (p=۰/۰۰۱). نتایـج آزمـون t وابسـته نشـان داد کـه در گـروه تمریـن مقاومتـی همـراه بـا EMS سـطوح سـرمی IGF-1 در پس‌آزمـون نسـبت بـه پیش‌آزمـون به‌صـورت معنـی داری افزایـش یافتـه اسـت (p=۰/۰۰۱)؛ در حالـی کـه در گـروه تمریـن مقاومتـی، تغییـرات سـطوح IGF-1 در پس‌آزمـون نسـبت بـه پیش‌آزمـون معنـی دار (p=۰/۴۳) نبـود (شـکل دو).

بـه عـلاوه، بـر اسـاس نتایـج روش تحلیـل کوواریانـس، سـطوح سـرمی مایوسـتاتین تفـاوت معنـی‌داری بیـن گروه‌هـا نداشـت (p=۰/۳۹ ،F=۰/۹۸)؛ بـا ایـن حـال، نتایـج آزمـون t وابسـته نشـان داد کـه در گـروه تمریـن مقاومتـی همراه با EMS سـطوح سـرمی مایوسـتاتین در پس‌آزمـون نسـبت بـه پیش‌آزمـون به‌صـورت معنـی داری کاهـش یافتـه اسـت (p=۰/۰۲)؛ امـا در گـروه تمرین مقاومتـی، تغییـرات سـطوح مایوسـتاتین در پس‌آزمـون نسـبت بـه پیش‌آزمـون تغییـر معنـی دار نداشـت (p=۰/۱۷) (شـکل سـه).

بحث

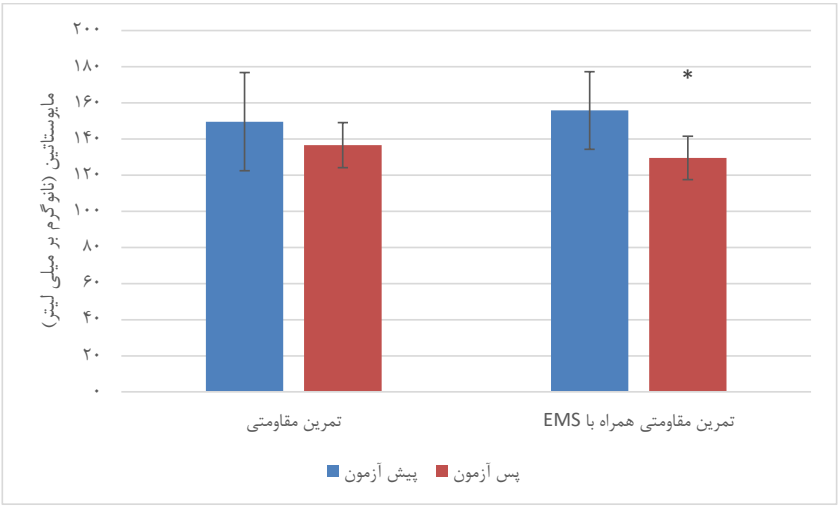
نتایـج تحقیـق حاضـر نشـان داد کـه تمریـن مقاومتـی همـراه بـا EMS و تمریـن مقاومتـی تنهـا، تأثیـر معنـی داری بـر غلظـت سـرمی PGC-1α ندارنـد. امـا سـطح سـرمی مایوسـتاتین در گروه تمریـن مقاومتـی همـراه بـا EMS به‌صـورت معنـی‌داری کاهـش و سـطح سـرمی IGF-1 در ایـن گـروه به‌صـورت معنـی‌داری

1. Eastbiopharm
2. Shapiro-Wilk test
3. Levene test



شکل ۲. مقایسه تغییرات سرمی IGF-1 در دو گروه شرکت کننده

*** نشانه تفاوت معنی دار با پیش‌آزمون؛ # نشانه تفاوت معنی دار با گروه تمرین مقاومتی در سطح معنی داری p<۰/۰۵.**



شکل ۳. تغییرات سرمی مایوستاتین در دو گروه شرکت کننده

*** نشانه تفاوت معنی دار با پیش‌آزمون در سطح معنی داری p<۰/۰۵.**

افزایش یافت. یکی از عوارض پارگی و به دنبال آن جراحی ACL، آتروفی شدید عضلات چهار سر ران می باشد؛ زیرا در این آسیب، عوامل آتروفی عضلانی به شدت فعال می‌شوند. گزارش شده است که به دنبال آسیب ACL، ۴۰ تا ۵۰ درصد حجم و قدرت عضلانی چهار سر ران کاهش می‌یابد و در این زمینه چندین عامل می توانند تغییرات سطوح IGF-1، PGC-1α و مایوستاتین را توجیه نمایند. در تحقیق حاضر، علی‌رغم عدم‌تغییر در سطح سرمی PGC-1α، غلظت IGF-1 بعد از تمرین مقاومتی همراه با EMS به‌طور معنی داری افزایش یافت؛ هر چند تمرین مقاومتی به‌تنهایی تأثیری بر سطح سرمی آن نداشت. واکر[1] و دیگران (۲۰۰۴) نشان داده اند که ۱۰ هفته تمرین مقاومتی تأثیری بر غلظت در گردش خون IGF-1 در افراد سالم ندارد. مطالعات قبلی افزایش یا کاهش IGF-1 را بعد از تمرین ورزشی مقاومتی نشان داده‌اند (کونها[2] و دیگران، ۲۰۲۰؛ چن[3] و دیگران، ۲۰۱۷). این اختلاف‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع آزمودنی ها (سالم در مقابل بیمار) یا نوع اندازه‌گیری (سرمی در مقابل سلولی) باشد. در واقع، EMS از طریق افزایش در متابولیت‌های استرسی (در نتیجه محیط هیپوکسی/ایسکمی) باعث ایجاد سازگاری می‌شود (لی،

1. Walker
2. Cunha
3. Chen

۲۰۰۷) و این تغییرات منجر به رشد عضلانی از طریق تأثیر بر عوامل دیگری از قبیل به‌کارگیری تارهای عضلانی تند انقباض (ژانگ[1] و دیگران، ۲۰۱۹)، تورم سلولی (موهان و بایلینک، ۲۰۰۲) و افزایش در تولید گونه‌های فعال اکسیژن (حیدریه و دیگران، ۲۰۱۹) می شود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که فعالیت مقاومتی با شدت پایین، موجب تسهیل بیان هورمون‌هایی از قبیل IGF-1 (محمدی و دیگران، ۲۰۱۴) می‌شود. این در حالی است که بعضی مطالعات، افزایش ۷۸ درصدی سنتز پروتئین عضلانی در پاسخ به تمرین مقاومتی را مستقل از تغییرات هورمون رشد، IGF-1 و تستوسترون نشان داده‌اند (جنسن[2] و دیگران، ۲۰۱۶). به نظر می‌رسد که تغییرات موضعی IGF-1 به جای تغییرات سیستمیک، در هایپرتروفی نقش دارد و یک عامل برای توجیه افزایش IGF-1 در تمرین مقاومتی همراه با EMS نسبت به تمرین مقاومتی تنها، استفاده از میزان بار در شدت های پایین تر و زمان انقباض طولانی تر می باشد. همان طور که توضیح داده شد، در گروه تمرین مقاومتی همراه با EMS، علاوه بر استقاده از جریان الکتریکی حین اجرای حرکت، از شدت (بار) کم و مدت انقباض طولانی‌تر استفاده شد.

نشان داده شده است که تمرین مقاومتی در طولانی‌مدت موجب افزایش بیان IGF-1 و گیرنده‌های آن می‌شود (لو[3] و دیگران، ۲۰۱۳). متغیر IGF-1 موجب تنظیم عملکرد سلول‌های ماهواره‌ای از طریق تکثیر و تمایز طی بازسازی مجدد عضلات می شود (جانگ[4] و دیگران، ۲۰۱۱)؛ در حالی که کاهش در سطح IGF-1 موجب آتروفی عضلانی می گردد (لی[5] و دیگران، ۲۰۰۳). گزارش شده است که سطح پروتئین IGF-1 داخل سلول عضلانی بعد از فعالیت مقاومتی افزایش می‌یابد (کوزتک[6] و دیگران، ۲۰۰۵). هر چند در مطالعه حاضر هایپرتروفی عضلانی اندازه‌گیری نشد، اما تغییرات در سطح هورمون بازدارنده هایپرتروفی (مایوستاتین)، حتی در سطح سرمی، از اهمیت زیادی برخوردار است. نشان داده شده است که IGF-1 در داخل عضله بیان می‌شود و در دسترس بودن این هورمون رشدی به همراه عوامل تنظیم‌کننده منفی رشد عضله (از قبیل مایوستاتین)؛ ممکن است در تنظیم رشد عضلانی نقش داشته باشند (آبه[7] و دیگران، ۲۰۰۵).

نتایج تحقیق حاضر در ورزشکاران با جراحی ACL نشان داد که تمرین مقاومتی همراه با EMS موجب کاهش معنی‌دار غلظت مایوستاتین سرمی می‌شود. نشان داده شده است که بیان مایوستاتین موجب مهار تکثیر سلول‌های ماهواره‌ای می‌شود و در موش‌های فاقد مایوستاتین، هایپرتروفی عضلانی قابل ملاحظه ای رخ می‌دهد (لوئنکه[8] و دیگران، ۲۰۱۲). مکانیسم تأثیر مایوستاتین بر آتروفی عضلانی بدین‌صورت است که مایوستاتین منجر به فسفوریلاسیون و فعال شدن گیرنده Samd2/3[9] (خانواده Smad، مهم‌ترین انتقال دهنده سیگنال برای گیرنده های TGFβ می باشند) می گردد (تورستون[10] و دیگران، ۲۰۱۷). کمپلکس Samd2/3/4 به داخل هسته منتقل شده و ژن‌های درگیر در تکثیر و تمایز سلول‌های عضلانی را مهار می‌کند؛ فسفوریلاسیون Samd2/3 همچنین موجب نقص در فعالیت پروتئین کیناز B شده و مسیر mTOR را مهار می‌کند. شاید تمرین مقاومتی همراه با EMS از طریق تاثیر بر یکی از این مکانیسم‌ها، مثل فعال کردن تکثیر سلول‌های ماهواره ای، از طریق کاهش مایوستاتین، باعث هایپرتروفی عضلانی شود (رووس[11] و دیگران، ۱۹۹۴). از طرف دیگر، همان طور که نتایج تأثیر تمرینات مقاومتی همراه با EMS بر IGF-1 نیز نشان داد، ممکن است تمرین مقاومتی همراه با EMS در دوره بازتوانی بعد از عمل ACL، از طریق غیر فعال کردن فعالیت مایوستاتین، باعث افزایش سطح IGF-1 شده باشد که خود می تواند هایپرترفی عضلات را در شدت های پایین تر در پی داشته باشد.

با جستجویی که در زمینه تأثیر تمرینات ورزشی بر سطح PGC-1α انجام شد، گزارش های مشابه در افراد با پارگی ACL بدست نیامد؛ اما می توان گفت که علیرغم نقش این عامل رونویسی در سطح سلولی و هسته سلول، تغییرات آن احتمالاً در سطح سرمی اندک می‌باشد. با این که PGC-1α به‌طور ترجیحی در عضلات غنی از تارهای نوع I از سطح بالاتری برخوردار است (گوسپیلو[12] و دیگران، ۲۰۱۴)، نشان داده شده است که سطح پایه PGC-1α پس از تمرین، در هر دو نوع تار I و II افزایش می‌یابد (نوربوم[13] و دیگران، ۲۰۰۴). همچنین شوارز[14] و دیگران (۲۰۱۶) نشان داده اند که فعالیت مقاومتی با شدت‌های متفاوت، منجر به افزایش بیان PCG1-α در عضلات اسکلتی نمونه های انسانی می شود. یک علت عدم تاثیر تمرین مقاومتی همراه با EMS و تمرین مقاومتی بر PCG1-α را می توان عدم استفاده از وزنه های سنگین تر و به نوبه خود درگیری تارهای عضلانی کمتر دانست و در تحقیق حاضر، بدلیل مطالعه بر روی ورزشکاران با جراحی ACL، امکان تمرینات با شدت بالا وجود نداشت. از طرفی، هایپرتروفی

1. Zhang
2. Jensen
3. Luo
4. Jang
5. Li
6. Kostek
7. Abe
8. Loenneke
9. Mothers against decapentaplegic homolog 2/3
10. Thurston
11. Roos
12. Gouspillou
13. Norrbom
14. Schwarz

عضلانی می‌تواند ناشی از تغییرات هورمون‌های درگیر در این فرآیند باشد. نشان داده شده است که PGC-1α ممکن است کنترل در تغییرات هیستون در نزدیکی ژن‌های IGF-1 و مایوستاتین و در نتیجه، رونویسی آن‌ها را تغییر دهد (راس[1] و دیگران، ۲۰۱۲). تحقیق حاضر با محدودیت‌هایی از جمله عدم کنترل حجم عضله و همچنین اندازه گیری درصد چربی بدن، عدم کنترل دقیق تمرین در سایر اندام‌ها (بالا تنه و عضو مقابل) مواجه بود؛ بنابراین توصیه می شود تحقیقی نیز با کنترل دقیق این عوامل انجام شود، تا نتایج دقیق‌تر و قابل استنادتری حاصل شود.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تمرین مقاومتی همراه با EMS موجب افزایش عامل رشدی IGF-1 سرمی و کاهش عامل بازدارنده رشدی مایوستاتین می شود؛ در حالی که اثر معنی داری بر سطح سرمی PGC-1α ندارد. با توجه به تحقیقات گذشته و نتایج تحقیق حاضر، احتمالاً این نوع تمرینات منجر به تغییرات بیشتری در عوامل سطح سلولی می شوند؛ موضوعی که نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. هرچند این تغییرات (در وهله اول) باعث پیشگیری از آتروفی شدید عضلات پس از جراحی ACL می‌شوند، با توجه به غیر فعال کردن فعالیت مایوستاتین، افزایش هایپرتروفی عضلانی را نیز به همراه دارند. بر این اساس، توصیه می شود در مراحل اولیه دوره بازگشت به ورزش پس از جراحی ACL، از تمرینات مقاومتی همراه با EMS استفاده شود، هرچند لزوم انجام تحقیقات بیشتری در این زمینه احساس می شود.

تعارض منافع

این مقاله مستخرج از رساله دکتری فیزیولوژی ورزش گرایش عصبی عضلانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد می باشد و هیچ نوع تضاد منافعی وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

بدین‌وسیله از تمام آزمودنی‌ها، پرسنل آزمایشگاهی و دانشگاهی و تمام کسانی که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., CF, K., Inoue, K., Koizumi, K., ... & Ishii N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research, 1***(1), 6-12.**

Bieler, T., Aue Sobol, N., Andersen, LL., Kiel, P., Løfholm, P., Aagaard, P., Peter Magnusson, S., … & Beyer N. (2014). The effects of high-intensity versus low-intensity resistance training on leg extensor power and recovery of knee function after ACL-reconstruction. *BioMed Research International, 2014*.

Chen, H.T., Chung, Y.C., Chen, Y.J., Ho, S.Y., & Wu, H.J. (2017). Effects of different types of exercise on body composition, muscle strength, and IGF-1 in the elderly with sarcopenic obesity. *Journal of the American Geriatrics Society, 65***(4), 827-32**.

Cunha, P.M., Nunes, J.P., Tomeleri, C.M., Nascimento, M.A., Schoenfeld, B.J., Antunes, M., ... & Cyrino E. (2020). Resistance training performed with single and multiple sets induces similar improvements in muscular strength, muscle mass, muscle quality, and IGF-1 in older women: A randomized controlled trial. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 34***(4), 1008-16.**

Deehan, D., & Cawston, T. (2005). The biology of integration of the anterior cruciate ligament. *The Journal of Bone and Joint Surgery British, 87***(7), 889-95.**

Gouspillou, G., Sgarioto, N., Norris, B., Barbat-Artigas, S., Aubertin-Leheudre, M., Morais, J.A., … & Hepple R.T. (2014). The relationship between muscle fiber type-specific PGC-1α content and mitochondrial content varies between rodent models and humans. *PLoS One, 9***(8), e103044.**

Hasegawa, S., Kobayashi, M., Arai, R., Tamaki, A., Nakamura, T., & Moritani, T. (2011). Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Electromyography and Kinesiology, 21***(4), 622-30.**

1. Ruas

Heidariyeh, A., Ghobakhloo, S., Abdolshahi, A., Monjazeb Marvdashti, L., Zeinali, M.K., & Ashhad, S. (2019). Concentration of nitrate, nitrite and fluoride in drinking water and bottled water in Semnan city. *Koomesh, 21***(2), 381-6. [In Persian]**

Jang, Y., Sinha, M., Cerletti, M., Dall'Osso, C., & Wagers, A.J. (2011). *Skeletal muscle stem cells: effects of aging and metabolism on muscle regenerative function***. Cold Spring Harbor Laboratory Press**.

Jensen, A.E., Palombo, L.J., Niederberger, B., Turcotte, L.P., Kelly, & K.R. (2016). Exercise training with blood flow restriction has little effect on muscular strength and does not change IGF-1 in fit military warfighters. *Growth Hormone & IGF Research, 27*, **33-40.**

Koltai, E., Bori, Z., Chabert, C., Dubouchaud, H., Naito, H., Machida, S., … & Rasak Z. (2017). SIRT1 may play a crucial role in overload-induced hypertrophy of skeletal muscle. *The Journal of Physiology, 595***(11), 3361-76.**

Kostek, M.C., Delmonico, M.J., Reichel, J.B., Roth, S.M., Douglass, L., Ferrell, R.E., … & Hurley B.F. (2005). Muscle strength response to strength training is influenced by insulin-like growth factor 1 genotype in older adults. *Journal of Applied Physiology, 98***(6), 2147-54.**

Kruse, L., Gray, B., & Wright, R. (2012). Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *The Journal of Bone and Joint Surgery American, 94***(19), 1737.**

Lee S.J. (2007). Quadrupling muscle mass in mice by targeting TGF-ß signaling pathways. *PloS One, 2***(8), e789.**

Lepley, A., Gribble, P., Thomas, A., Tevald, M., Sohn, D., & Pietrosimone B.G. (2015). Quadriceps neural alterations in anterior cruciate ligament reconstructed patients: A 6-month longitudinal investigation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 25***(6), 828-39.**

Li, M., Li, C., & Parkhouse W.S. (2003). Age-related differences in the des IGF-I-mediated activation of Akt-1 and p70 S6K in mouse skeletal muscle. *Mechanisms of Ageing and Development, 124***(7), 771-8.**

Loenneke, J.P., Abe, T., Wilson, JM., Ugrinowitsch, C., & Bemben, M.G. (2012). Blood flow restriction: how does it work? *Frontiers in Physiology, 3*, **392.**

Luo, L., Lu, A.M., Wang, Y., Hong, A., Chen, Y., Hu, J., … & Qin, ZH. (2013). Chronic resistance training activates autophagy and reduces apoptosis of muscle cells by modulating IGF-1 and its receptors, Akt/mTOR and Akt/FOXO3a signaling in aged rats. *Experimental Gerontology, 48***(4), 427-36.**

Marissa F. (2018). Effectivity of blood flow restriction training for gains in strength and trophism in patients with ACL injuries. *MOJ Orthopedics & Rheumatology, 10***(6), 371-5.**

Markatos, K., Kaseta, M., Lallos, S., Korres, D., & Efstathopoulos, N. (2013). The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology, 23***(7), 747-52.**

Mohammadi, S., Madizadeh, R., Khoshdel, A., & Mirzaii-Dizgah, I. (2014). The effect of blood flow restricted resistance training on serum hormone levels in relation to muscle size and strength in young men. *Ebnesina, 15***(4), 10-6. [In Persian]**

Mohan, S., & Baylink, D. (2002). Beyond carrier proteins: IGF-binding proteins are multifunctional and act via IGF-dependent and–independent mechanisms. *Journal of Endocrinolgy, 175*, **19-31.**

Nielsen, A.B., & Yde, J. (1991). Epidemiology of acute knee injuries: a prospective hospital investigation. *The Journal of Trauma, 31***(12), 1644-8.**

Norrbom, J., Sundberg, C.J., Ameln, H., Kraus, W.E., Jansson, E., & Gustafsson, T. (2004). PGC-1α mRNA expression is influenced by metabolic perturbation in exercising human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology, 96*(**1**), **189-94.**

Roos, H., Adalberth, T., Dahlberg, L., & Lohmander, L. (1994). Post-traumatic osteoarthritis of the knee, disease progress after injury to the anterior cruciate ligament or meniscus: the influence of time and age. *Transactions of the Orthopaedic Research Society, 19*, **218**.

Ruas, J.L., White, J.P., Rao, R.R., Kleiner, S., Brannan, KT.., Harrison, B.C., … & Spiegelman B.R. (2012). A PGC-1α isoform induced by resistance training regulates skeletal muscle hypertrophy. *Cell, 151*(**6**), **1319-31.**

Scheffler, T.L., Scheffler, J.M., Park, S., Kasten, S.C., Wu, Y., McMillan, R.P., ... & Gerrard, D.E. (2014). Fiber hypertrophy and increased oxidative capacity can occur simultaneously in pig glycolytic skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Cell Physiology, 306*(**4**), **C354-C63.**

Schwarz, N.A., McKinley-Barnard, S.K., Spillane, M.B., Andre, T.L., Gann, J.J., & Willoughby, D.S. (2016). Effect of resistance exercise intensity on the expression of PGC-1α isoforms and the anabolic and catabolic signaling mediators, IGF-1 and myostatin, in human skeletal muscle. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism, 41*(**8**), **856-63.**

Thurston, B.C., & Burr, J.F. (2017). Blood flow restricted training: Applications, mechanisms, and future directions. *The Health & Fitness Journal of Canada, 10*(**1**), **3-16.**

Walker, K.S., Kambadur, R., Sharma, M., Smith, H.K. (2004). Resistance training alters plasma myostatin but not IGF-1 in healthy men. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 36*(**5**), **787-93.**

Yang, S.Y., & Goldspink, G. (2002). Different roles of the IGF-I Ec peptide (MGF) and mature IGF-I in myoblast proliferation and differentiation. *FEBS Letters, 522*(**1-3**), **156-60.**

Zhang, F.X., Miao, Y., Ruan, J.G., Meng, S.P., Dong, J.D., Yin, H., ... & Lai, Y.F. (2019). Association Between Nitrite and Nitrate Intake and Risk of Gastric Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research, 25*, **1788.**