



پاسخ پروتئین‌های mTOR، AKT عضلانی به تمرینات مقاومتی مجزا در افراد سالم

سعید علی اعظم: گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
ID فرهاد غزالیان: دانشیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (✉ نویسنده مسئول) phdghazalian@gmail.com

شهرام سهیلی: استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
حسین عابد نظنزی: استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
ماندانا غلامی: استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

انقباض برون‌گرا،

انقباض درون‌گرا،

mTOR

AKT

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

تاریخ چاپ: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲

زمینه و هدف: تغییر ساختار عضله اسکلتی به‌عنوان یکی از تغییرات اصلی عضله در نتیجه تمرینات ورزشی شناخته شده است؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی پاسخ پروتئین‌های AKT/mTOR به تمرینات مقاومتی اکسنتریک و کانسنتریک مجزا در افراد سالم بود.

روش کار: ۱۰ مرد سالم به صورت تصادفی در دو گروه (گروه کانسنتریک ۵ نفر، گروه اکسنتریک ۵ نفر) تقسیم شدند. انقباض آیزوکتینیک شامل اکسنتریک و کانسنتریک اکستنشن زانو با حداکثر قدرت و سرعت بود. به منظور همسان‌سازی بارکاری در هر دو پروتکل یکسان در نظر گرفته شد و سرعت رفت‌وبرگشت ۶۰ درجه بر ثانیه بود. انقباض‌ها شامل ۱۲ ست ۱۰ تکراری برای پای راست، زمان استراحت بین هر ست ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد. در ابتدا و انتهای مطالعه بایوپسی انجام شد. بایوپسی در دو جهت دیستال و پروگزیمال عضله پهن جانی انجام شد. برای بررسی بیان پروتئین‌های mTOR و AKT در هر گروه بررسی بافت‌ها با تکنیک ایمونوسیتوشیمی استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های از روش آماری تی وابسته و آزمون کوواریانس استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، تغییرات درون‌گروهی پروتئین‌های mTOR و AKT بعد از یک جلسه فعالیت، در گروه برون‌گرا و درون‌گرا معنادار بود ($p \leq 0.05$). با این حال تغییرات بین‌گروهی پروتئین‌های mTOR و AKT نشان‌دهنده عدم تفاوت بین دو گروه بود.

نتیجه‌گیری: در مجموع مطالعه حاضر نشان داد یک جلسه فعالیت برون‌گرا و درون‌گرا منجر به تغییر فاکتورهای درگیر در قدرت و هایپرتروفی عضلات اسکلتی می‌شود. علاوه بر این، این تغییرات در مجموع در انقباض برون‌گرا بیش از درون‌گرا است.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت‌کننده: حامی مالی ندارد.

شیوه استناد به این مقاله:

Aliazam S, Ghazalian F, Soheili S, Abed Natanzi H, Gholami M. Evaluation of AKT and mTOR Protein Changes in Response to Eccentric and Concentric Physical Activity in Healthy Young Men. Razi J Med Sci. 2023;29(10):403-413.

*انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با [CC BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/) صورت گرفته است.

Evaluation of AKT and mTOR Protein Changes in Response to Eccentric and Concentric Physical Activity in Healthy Young Men

Saeed Aliazam: PhD Candidate, Department of Sport Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Farshad Ghazalian: Associate Professor, Department of Sport Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (* Corresponding Author) phdghazalian@gmail.com

Shahram Soheili: Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Faculty of Sport Sciences, University of Guilan, Guilan, Rasht, Iran

Hossein Abed Natanzi: Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Mandana Gholami: Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Background & Aims: The target of Rapamycin is a 290 kDa protein that was created in the 1970s from the isolation of a yeast resistant to cell growth inhibitory properties. Each complex is phosphorylated by a different substrate and is known as the main controller of cell growth. MTOR exists in mammals in the form of Rapamycin, which is divided into two groups, MTORC1 and MTORC2. Each complex performs different tasks according to its location in the cell. This pathway is involved in the regulation of Lipogenesis, glucose metabolism, cytoskeletal activity, and apoptosis (programmed cell death). MTOR creates conditions in the human body that are very suitable for positive cell growth; For example, it is involved in gene expression and translation of various cell proteins (enzymes and contractile proteins), ribosome biogenesis, activation of the protein kinase C (PKC) synthesis pathway that causes muscle growth, and also the strength of the cell skeleton. To be On the other hand, it prevents apoptosis, protein burning (autophagy), and excessive turnover of nutrient carriers, including glucose and amino acids. Inhibition of FoxO proteins by AKT through transcriptional mechanisms increases cell survival. AKT stimulates cell growth and proliferation through mTORC1. It also increases VEGF secretion and eNOS phosphorylation mediates vasodilation and angiogenesis. AKT increases cellular metabolism through downstream targets such as GLUT4 and GSK3. One of the main drivers of mTOR pathway activation is the pressure and mechanical load applied to the muscle. Growth factors, nutrients, hormones, and cytokines are other stimuli of the mTOR pathway. After this stage, AKT improves the activity of two pathways, mTOR and glycogen synthase kinase 3 beta; which play a key role in skeletal muscle hypertrophy in response to strength training. After mTOR is phosphorylated, PV0s6k, which stimulates protein synthesis, is phosphorylated, on the other hand, muscle growth inhibitory factors such as 4e-bp1 and eif2 are inhibited. Another importance of the AKT/mTOR pathway is the inhibition and inactivation of the FOXO or FKHR factor. FOXO is the main factor in the activation of the ubiquitin-protease system, which causes the breakdown of contractile proteins. In fact, the AKT/mTOR pathway prevents atrophy and breakdown of skeletal muscle proteins with its activity. Research shows that strength training inhibits FOXO and Atrogenin by activating the AKT/mTOR pathway and thus prevents muscle atrophy. Based on the research conducted on the relationship between mTOR/AKT pathway and sports activity, it can be said that this pathway is activated especially in strength training and for hypertrophy. Of course, it should be said that this route has other duties as well. But in

Keywords

Extrinsic Contraction,
Inward Contraction,
mTOR,
AKT

Received: 05/11/2022

Published: 02/01/2023

general, it is an anabolic pathway; but how the duration, intensity, and type of exercise affect mTOR/AKT levels in humans is still unanswered. The activity of the mTOR/AKT pathway depends on the age, sex, type, and intensity of the performed activity, the type and rate of contraction speed (introverted-extroverted), and also the type of tar. Therefore, in the present study, the researcher intends to evaluate the expression of mTOR/AKT proteins by comparing a single eccentric and concentric session.

Methods: 10 healthy men were randomly divided into two groups (concentric group of 5 people, eccentric group of 5 people). Isokinetic contraction included eccentric and concentric knee extension with maximal strength and speed. In order to equalize the workload in both protocols, it was considered the same and the round trip speed was 60°/s. The contractions included 12 sets of 10 repetitions for the right leg, the rest time between each set was 30 seconds. A biopsy was performed at the beginning and end of the study. Biopsy was performed in both distal and proximal directions of the vastus lateralis muscle. In order to check the expression of mTOR and AKT proteins in each group, the tissues were examined by immunocytochemistry technique. The dependent t statistical method and covariance test were used to analyze the data.

Results: The results showed that the intragroup changes of mTOR and AKT proteins after one activity session were significant in the extrovert and introvert groups ($p \leq 0.05$). However, the inter-group changes of mTOR and AKT proteins showed no difference between the two groups.

Conclusion: Many adaptations, such as increasing strength and lean mass, are caused by repeated resistance training, and this is due to the high degree of plasticity of skeletal muscle in response to training pressure. Different training stimuli in resistance sports can create different molecular responses related to the special adaptations of skeletal muscle to the type of resistance training. Prescribing a resistance program should be done according to the manipulations done in the variables. Exercise variables include intensity, volume, and time under tension. Manipulation of each of these variables can affect the final result. Of course, it should be kept in mind that manipulating only one variable can make it impossible to study the effect of other variables in molecular responses. In total, the present study showed that a session of eccentric and concentric activity leads to changes in the factors involved in strength and hypertrophy. In addition, these changes are generally greater in eccentric than concentric contractions.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Cite this article as:

Aliazam S, Ghazalian F, Soheili S, Abed Natanzi H, Gholami M. Evaluation of AKT and mTOR Protein Changes in Response to Eccentric and Concentric Physical Activity in Healthy Young Men. *Razi J Med Sci.* 2023;29(10):403-413.

*This work is published under [CC BY-NC-SA 3.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

مقدمه

گلوکز)، عوامل رشدی (IGF-1 و انسولین)، فشار مکانیکی، سایتوکین‌ها (IL6) و هورمون‌های استروئیدی می‌باشند. مهارکننده‌های این مسیر خود مخمر را پامایسین، استرس، التهاب و رادیکال‌های آزاد هستند و نشان‌دهنده این موضوع است که رشد سلول فقط در شرایط مطلوب اتفاق می‌افتد (۱۰). پروتئین کیناز B که به نام AKT نیز شناخته می‌شود، کیناز پروتئینی است که در انواع مختلف سلولی در بدن یافت می‌شود و نقش حیاتی را در مسیرهای سیگنالی متعددی ایفا می‌کند (۱۱). برای مثال به تنظیم رشد سلولی و تقسیم سلولی، تمایز و بقای سلول کمک می‌کند (۷). فعالیت AKT روی اهداف پایین‌دست، عملکرد آن را در روندهای قلبی عروقی مثل بقای سلولی، رشد، تکثیر، رگ‌زایی، اتساع عروق و متابولیسم سلولی مشخص می‌کند. پروتئین کیناز B (AKT) بقای سلولی را از طریق فعالیت‌های، کاسپاز ۹، YAP، Bcl-2، Bcl-X و پیش می‌برد (۷، ۱۲). مهار پروتئین‌های FoxO به وسیله AKT از طریق مکانیسم‌های نسخه‌برداری، سبب افزایش بقای سلولی می‌شود. AKT رشد و تکثیر سلولی را از طریق mTORC1 تحریک می‌کند. همچنین ترشح VEGF افزایش داده و فسفریلاسیون eNOS، اتساع عروق و رگ‌زایی را میانجی‌گری می‌کند. AKT متابولیسم سلولی را از طریق اهداف پایین‌دست مثل GLUT4 و GSK3 افزایش می‌دهد (۱۳). یکی از محرک‌های اصلی فعال‌سازی مسیر mTOR، فشار و بار مکانیکی وارد شده به عضله است. عوامل رشدی، مواد مغذی، هورمون‌ها و سایتوکین‌ها از دیگر محرک‌های مسیر mTOR هستند (۱۴). تمرین ورزشی از نوع مقاومتی-قدرتی با تحریک مکانیکی همراه است که این تحریک یک عامل بسیار قوی برای افزایش توده عضله اسکلتی است. این افزایش به دلیل ترشح IGF-1 یا MGF (فاکتور رشد مکانیکی) در عضله می‌باشد؛ که متعاقباً منجر به فعال شدن یک آبشار سیگنالینگ در سلول می‌شود که به ترتیب شامل PDK1، PI3K، PDK2 و AKT می‌باشد (۱۵). بعد از این مرحله AKT باعث بهبود فعالیت دو مسیر mTOR و گلیکوژن سنتاز کیناز ۳ بتا می‌شود؛ که نقش کلیدی در مسیر هایپرتروفی عضله اسکلتی در پاسخ به تمرینات قدرتی دارند. بعد از فسفریله شدن mTOR، PV0s6k

را پامایسین هدف یک پروتئین ۲۹۰ کیلو دالتونی است که در دهه ۱۹۷۰ از جداسازی یک مخمر مقاوم در برابر ویژگی‌های مهاری رشد سلول به وجود آمده است (۱). را پامایسین می‌تواند یک عامل ضد سرطانی، ضد قارچ و همچنین ضد سرکوب‌کننده سیستم ایمنی بدن از طریق یک ترکیب تولیدشده از نوعی باکتری به نام را پانوئی باشد (۲). اختلال آن منجر به بروز بیماری‌هایی از قبیل سرطان (سینه، پروستات، تخمدان)، هایپرتروفی قلب و آتروفی عضلانی می‌شود. را پامایسین هدف به دو شکل وجود دارد: مجموعه را پامایسین هدف ۱ (TORC1) و مجموعه را پامایسین هدف ۲ (TORC2) (۳). هر مجموعه با سوپسترای متفاوتی فسفریله می‌شود به عنوان کنترل‌کننده اصلی در رشد سلول شناخته می‌شوند (۴). MTOR در پستانداران به صورت را پامایسین هدف پستانداران وجود دارد که خود به دو مجموعه MTORC1 و MTORC2 تقسیم می‌شود. هر کمپلکس با توجه به محل قرارگیری‌اش در سلول وظایف مختلفی را انجام می‌دهد (۵). MTORC1 ترکیبی از S6K، MTOR، RAPTOR و GβL می‌باشد که رشد سلول را از طریق هماهنگ کردن سنتز پروتئین تنظیم کرده و باعث تجمع توده‌ای از سلول‌ها می‌شود (هایپرتروفی). همچنین در بایوژنز هسته، لیپوژنز، گلیکولیز و اتوفاژیا (خودخوری) نقش دارد (۶). از طرفی MTORC2 از MTOR، RICTOR، SIN1 و GβL تشکیل شده است (۷). این مسیر در تنظیم لیپوژنز، متابولیسم گلوکز، فعالیت اسکلت سلولی و آپوپتوز (مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلول) نقش دارد. MTOR در بدن انسان شرایطی را به وجود می‌آورد که برای رشد مثبت سلول بسیار مناسب می‌باشد؛ مثلاً در بیان ژن و ترجمه پروتئین‌های مختلف سلول (آنزیم‌ها و پروتئین‌های انقباضی)، بایوژنز ریبوزومی، فعال کردن مسیر سنتزی پروتئین کیناز C (PKC) که باعث رشد عضله می‌شود و همچنین استحکام اسکلت سلولی درگیر می‌شود (۸). از طرفی باعث جلوگیری از آپوپتوز، پروتئین سوزی (اتوفاژیا) و ترنور بیش‌ازاندازه ناقل‌های مواد مغذی از جمله ناقل گلوکز و اسیدهای آمینه می‌شود (۹). محرک‌های تحریک‌کننده مسیر سیگنالینگ mTOR1-2، مواد مغذی (اسیدهای آمینه و

مردان استفاده شد. به‌منظور تعیین سلامتی آزمودنی‌ها و به حداقل رساندن خطرهای مرتبط با سیستم قلبی عروقی از راهنمای سلامت دانشکده پزشکی ورزشی آمریکا استفاده شد. از طرفی افراد حاضر در پژوهش با توجه به خود اظهاری، در ۶ ماه منتج به تمرین از هیچ مکمل ورزشی استفاده نکرده بودند. همچنین کد اخلاق این پژوهش IR.UT.SPORT.REC.1397.029 است که توسط دانشگاه تهران صادر و در سایت وزارت بهداشت جمهوری اسلامی ایران موجود است.

آزمودنی‌ها دو جلسه در آزمایشگاه حضور پیدا کردند. هدف از جلسه اول آشنایی با محیط آزمایشگاه، سیستم آیزوکینتیک (دستگاه دینامومتر آیزوکینتیک ساخت کمپانی Biodex کشور آمریکا) و اندازه‌گیری قد، وزن، توضیح پرسشنامه درک فشار تمرین بورگ و تعیین گشتاور بود. در جلسه دوم، آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی یکی از پروتکل‌های اکسنتریک یا کانسنتریک را در ساعت ۸ تا ۹ صبح انجام دادند. پروتکل تمرین در این مطالعه به شرح زیر بود: آزمودنی‌ها در هر جلسه ابتدا پس از مراجعه به آزمایشگاه به مدت ۱۰ دقیقه به حالت نشسته استراحت کردند و مراحل کار بار دیگر برای آن‌ها به‌منظور اطمینان از درک آن‌ها از نحوه اجرای تمرین مرور شد. پس از آن آزمودنی بر روی صندلی دینامومتر نشسته و تنظیمات برای آماده‌سازی دستگاه صورت گرفت. این تنظیمات شامل جهت‌گیری دینامومتر ۹۰ درجه، تیلت دینامومتر. درجه، جهت‌گیری صندلی ۹۰ درجه، تیلت پشتی صندلی ۸۵ درجه، دامنه حرکت ۰ تا ۹۰ درجه و محور چرخش دینامومتر در صفحه ساجیتال در راستای خطی که از کندیل خارجی محور می‌گذرد انتخاب شد. گرم کردن اختصاصی با سیستم آیزوکینتیک شامل ۲ ست ۵ تایی و زمان استراحت بین هر ست ۳۰ ثانیه بود. آزمودنی‌ها سپس یکی از دو پروتکل مختلف انقباض عضلانی آیزوکینتیک که از قبل و به‌صورت تصادفی برای آن‌ها تعیین شده بود را با پای راست اجرا کردند. پس از اتمام فعالیت پای تمرین کرده بدون هیچ فشاری تا زمان انجام بایوپسی ثابت نگاه داشته شد. بایوپسی از هر آزمودنی ۳ تا ۴ ساعت پس از اتمام پروتکل تمرینی انجام شد. طی

که محرک سنتز پروتئین است، فسفریله می‌شود از طرف دیگر عامل‌های مهار رشد عضله یعنی 4e-bpi و eif2 مهار می‌شوند (۱۶). یکی دیگر از اهمیت‌های مسیر AKT/mTOR، مهار و غیر فعال‌سازی عامل FOXO یا FKHR می‌باشد. FOXO عامل اصلی در فعال‌سازی سیستم یوبی کوئیتین-پروتئازم است که باعث تجزیه پروتئین‌های انقباضی می‌شود (۱۷). در واقع مسیر AKT/mTOR با فعال‌یتش از آتروفی و تجزیه پروتئین‌های عضلات اسکلتی جلوگیری می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد که تمرینات قدرتی از طریق فعال‌سازی مسیر AKT/mTOR، باعث مهار عامل FOXO و آتروژن‌ها می‌شود و در نتیجه از آتروفی عضلات جلوگیری می‌کند (۱۸). بر اساس تحقیقاتی که در زمینه ارتباط بین مسیر mTOR/ AKT و فعالیت ورزشی صورت گرفته است، می‌توان گفت که این مسیر به‌طور ویژه در تمرینات قدرتی و به‌منظور هایپرتروفی فعال می‌شود (۱۵). البته باید گفت که این مسیر وظایف دیگری را نیز بر عهده دارد (۱۹). ولی در کل یک مسیر آنابولسمی می‌باشد؛ اما در اینکه آیا مدت، شدت و نوع تمرین چگونه سطوح mTOR/ AKT را در انسان تحت تأثیر قرار می‌دهد هنوز بی‌پاسخ مانده است. فعالیت مسیر mTOR/ AKT به سن، جنس، نوع و شدت فعالیت انجام‌شده، نوع و میزان سرعت انقباض (درون‌گرا-برون‌گرا) و همچنین نوع تار بستگی دارد (۲۰). لذا پژوهشگر در پژوهش حاضر در نظر دارد تا به مقایسه یک جلسه فعالیت اکسنتریک و کانسنتریک مجزا بر بیان پروتئین‌های mTOR/ AKT را مورد ارزیابی قرار دهد.

روش کار

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی بوده و در این راستا ۱۰ مرد سالم با رنج سنی ۱۸ تا ۳۰ سال که به‌صورت تفریحی تمرین قدرتی انجام می‌دهند (افرادی که به‌منظور سلامت عمومی بدن و ارتقای ترکیب بدنی ۳ تا ۶ روز در هفته تمرین می‌کنند) و به‌صورت تصادفی در هر یک از گروه‌ها (گروه کانسنتریک یک ۵ نفر- گروه اکسنتریک ۵ نفر) تقسیم شدند. در این پژوهش برای به حداقل رساندن تأثیر بین‌جنسی در بیان ژن، تنها از

به دست آمد. برای تمامی آزمودنی‌ها از پای راست استفاده شد. ناحیه بایوپسی تمیز شده و موهای پا در آن ناحیه کاملاً برداشته شد و با صابون ضد عفونی شسته و با الکل ضد عفونی شد. علاوه بر این، مکان بایوپسی با سم‌زدایی نیز با بتادین (آنتی‌سپتیک مایع) ضد عفونی شد. یک ناحیه کوچک از پوست تمیز شده، تقریباً ۲ سانتی‌متر قطر، با یک تزریق زیر جلدی ۰/۱ میلی‌لیتر موضعی لیدوکائین بی‌حس شد. پس از بی‌حسی، یک نمونه بایوپسی اسپیراسیون سوزنی با اندازه ۱۶ اینچی (Techniques, Tru-Core I Biopsy Instrument, Device Technologies, Gainesville, FL) در عمق تقریبی ۱ سانتی‌متر برای استخراج نمونه عضلانی قرار گرفت. پس از بایوپسی اولیه، بایوپسی بعدی، با استفاده از نشانه‌های پیش بایوپسی و نشانه‌های عمق روی سوزن، بافت عضلانی را از تقریباً همان مکان اولیه استخراج شد. پس از استخراج عضله، بافت چربی از نمونه‌های عضلانی برداشته شد. نمونه‌ها بلافاصله در دمای -۸۰ درجه سانتی‌گراد ذخیره شدند. در هر یک از دو جلسه آزمون، دو نمونه عضلانی به دست آمد که مجموعاً ۱۰ نمونه عضلانی طی دوره مطالعه برای هر گروه و در کل ۲۰ نمونه به دست آمد. نمونه‌های عضلانی در زمان پایه و ۳ تا ۴ ساعت پس از تمرین به دست آمد.

مکان‌یابی پروتئین یا آنتی‌ژن خاص این گونه انجام شد که ابتدا سو سپانسیون سلولی بر روی لامل‌های ژلاتیه استریل کشت داده شد. پس از ۲۴ ساعت با PBS شست‌وشو داده شد. به مدت ۲۰ دقیقه با پارافرمالدئید ۴ درصد در دمای یخچال فیکس شدند. لامل‌ها پس از شست‌وشو با PBS در HCL ۲ نرمالیت به مدت بیست دقیقه در دمای محیط انکوبه شدند. لامل‌ها پس از شست‌وشو با PBS در معرض تریتون ۰/۳ X-1002 درصد به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. تریتون غشای

اجرای پروتکل در انتهای هر ست میزان درک فشار با استفاده از مقیاس ۲۰ نمره‌ای بورگ (RPE) تعیین گردید. مقیاس بورگ همبستگی بالایی با میزان HR، میزان تنفس و تجمع اسیدلاکتیک دارد و یکی از راه‌های تعیین شدت فعالیت بدنی می‌باشد. از آزمودنی‌ها خواسته شد که پس از اتمام هر ست عدد مربوط به مقیاس بورگ را اعلام کنند. زمانیکه آزمودنی عدد ۲۰ را اعلام می‌کرد با تشویق کلامی ۲ ست دیگر تمرین ادامه پیدا می‌کرد و هنگامی که توانایی اجرای کامل پروتکل توسط آزمودنی وجود نداشت، تمرین متوقف می‌شد. پروتکل‌های انقباض آیزوکینتیک شامل اکسنتریک و کانسنتریک اکستنشن زانو با حداکثر قدرت و سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه بر ثانیه بود. گشتاورهای تعیین شده برای هر آزمودنی به منظور همسان‌سازی بارکاری در هر دو پروتکل یکسان در نظر گرفته شد و سرعت رفت‌و برگشت ۶۰ درجه بر ثانیه بود. انقباض‌ها شامل حداکثر ۱۲ ست ۱۰ تکراری برای پای راست، زمان استراحت بین هر ست ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد. بدیهی است که زمان اجرای تمرینات اکسنتریک بیشتر از تمرینات کانسنتریک بود (جدول شماره ۱).

نمونه‌برداری بافت عضله به شرح ذیل بود: در ابتدا و انتهای مطالعه از بافت عضله پهن جانبی بایوپسی انجام شد. بایوپسی در دو جهت دیستال و پروگزیمال عضله پهن جانبی انجام شد. نمونه بایوپسی در شرایط پایه برای بار اول و ۳ تا ۴ ساعت پس از انجام تمرین در شرایط کاملاً استریلیزه و در بیمارستان فوق تخصصی بقیه‌الله و توسط فوق تخصص جراحی ارتوپد انجام شد (۲۱). بایوپسی‌های عضلانی پوستی (۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم) از قسمت میانی عضله پهن جانبی در نقطه میانی بین کشکک و تروکانتر بزرگتر ران در یک عمق بین ۱ تا ۲ سانتی‌متر بر اساس روش‌های قبلاً تأیید شده

جدول ۱- پروتکل تمرین در گروه‌های اکسنتریک و کانسنتریک

گروه	تعداد ست	تعداد حرکت	استراحت بین ست
اکسنتریک	حداکثر ۱۲ ست	۱۰ تکرار	۳۰ ثانیه استراحت بین ست‌ها با سرعت پایین
کانسنتریک	حداکثر ۱۲ ست	۱۰ تکرار	۳۰ ثانیه استراحت بین ست‌ها با سرعت بالا

اسمیرنر استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌های درون‌گروهی از روش آماری تی وابسته در سطح معناداری ($P < 0.05$) استفاده شد. برای مقایسه دو گروه از آزمون کوواریانس استفاده شد. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS21 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Exell 2013 استفاده شد.

یافته‌ها

در این بخش ابتدا داده‌های توصیفی مرتبط با شاخص‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها (جدول ۲) ارائه شده است.

طبق جدول ۳ و شکل‌های شماره ۱ و ۲، بین مقادیر پیش‌آزمون و پس‌آزمون متغیرهای mTOR، AKT در گروه‌های اکسنتریک تفاوت معنادار وجود دارد ($p \leq 0.05$). همچنین بین مقادیر پیش‌آزمون و پس‌آزمون AKT در گروه کانسنتریک اختلاف معناداری مشاهده شد ($p \leq 0.05$). از آزمون کوواریانس جهت بررسی اثرات بین‌گروهی استفاده شد. نتایج نشان داد. مطابق با جدول شماره ۳ مقدار F تعامل پیش‌آزمون mTOR/۱۷۸، پیش‌آزمون AKT ۰/۳۰۲ می‌باشد ($p \geq 0.05$) که معنادار نمی‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت

سلولی را به آنتی‌بادی‌ها نفوذپذیر می‌کند. در مرحله بعد سرم بز ۱۰ درصد به مدت نیم ساعت به سلول‌ها اضافه شد. پروتئین‌های سرم بزی باعث می‌شود که محل‌های غیراختصاصی آنتی‌ژنی پوشیده شده و از واکنش غیراختصاصی جلوگیری شود. سلول‌ها به مدت ۱ ساعت با آنتی‌بادی اولیه رقیق‌شده به نسبت ۱ به ۱۰۰ در PBS به مدت یک‌شب در دمای یخچال و در اتاقک مرطوب انکوبه شدند. استفاده از پارافیلیم و مرطوب نگه‌داشتن شرایط از خشک شدن آنتی‌بادی جلوگیری می‌کند. سپس دو بار با PBS شست‌وشو داده شدند و به مدت ۶۰ دقیقه در معرض آنتی‌بادی ثانویه کونژوگه با رقت ۱ به ۲۰۰ در تاریکی و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از ۳ بار شست‌وشو با PBS به‌منظور رنگ‌آمیزی هسته‌ها از PI یا DAPI استفاده شد و سپس با میکروسکوپ فلورسنت بررسی شدند.

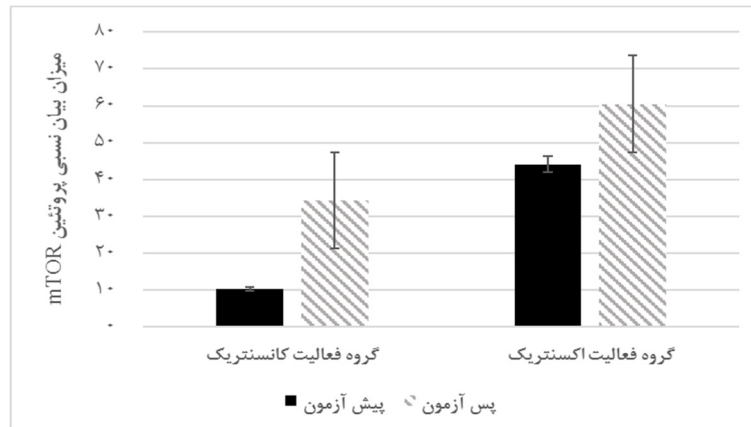
پس از جمع‌آوری داده‌ها برای تجزیه و تحلیل داده‌های این پژوهش از روش‌های آماری توصیفی و استنباطی استفاده شد. از آمار توصیفی برای محاسبه میانگین و انحراف استاندارد داده‌ها استفاده شد و از آمار استنباطی برای مقایسه گروه‌ها باهم استفاده شد. همچنین برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف

جدول ۲- شاخص‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها در دو گروه

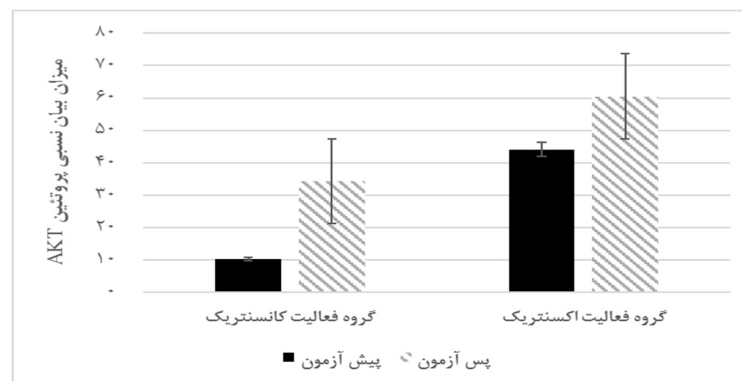
متغیر	گروه‌ها	میانگین \pm انحراف استاندارد
وزن (کیلوگرم)	گروه فعالیت کانسنتریک	۷۱/۸ \pm ۵۰/۱۶
	گروه فعالیت اکسنتریک	۷۲/۹ \pm ۱۰/۶۱
BMI (kg/m^2)	گروه فعالیت کانسنتریک	۲۳/۲ \pm ۴۵/۲۶
	گروه فعالیت اکسنتریک	۲۴/۱ \pm ۲۶/۹۷
قد (سانتیمتر)	گروه فعالیت کانسنتریک	۱۷۸/۴ \pm ۸۰/۲۶
	گروه فعالیت اکسنتریک	۱۷۶/۴ \pm ۲۶/۶۷
سن (سال)	گروه فعالیت کانسنتریک	۲۶/۳ \pm ۷۶/۴۵
	گروه فعالیت اکسنتریک	۲۵/۲ \pm ۱۵/۶۸

جدول ۳- نتایج آزمون T وابسته جهت مقایسه میانگین‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون mTOR، AKT در دو گروه

متغیر	گروه	اختلاف میانگین	T	درجات آزادی	p
mTOR	گروه فعالیت کانسنتریک	-۴/۰۶	-۹/۴۵۲	۴	۰/۵۹۵
	گروه فعالیت اکسنتریک	-۴/۵۱	-۳/۴۱۵	۴	۰/۰۰۱
AKT	گروه فعالیت کانسنتریک	-۳۳/۹۲۳	-۱۱/۶۷۶	۴	۰/۰۰۷
	گروه فعالیت اکسنتریک	-۲۶/۲۴۳	-۴/۸۶۹	۴	۰/۰۴۰



شکل ۱- مقادیر نسبی mTOR در پیش آزمون و پس آزمون دو گروه



شکل ۲- مقادیر AKT در پیش آزمون و پس آزمون دو گروه

گروه تمرین استقامتی، تمرین قدرتی و گروه کنترل تقسیم شدند و به مدت ۱۰ هفته فعالیت استقامتی و قدرتی را انجام دادند. نتایج نشان داد که در گروه تمرین قدرتی فعالیت، AKT/mTOR به نسبت قبل از فعالیت افزایش داشت، در حالی که هیچ تغییری در مقدار AMPK آن‌ها رخ نداد (۱۰). از طرفی در گروه تمرین استقامتی فقط مقدار AMPK افزایش داشت که با بایوژنز میتوکندریایی همراه بود (۱۱). در واقع AMPK از طریق فسفوریله کردن راپتور که بخشی از کمپلکس mTOR است، باعث مهار فعالیت AKT/mTOR می‌شود (۷). در پژوهش حاضر نشان داده شد تغییرات درون گروهی mTOR بعد از یک جلسه فعالیت، در گروه اکسنتریک ($p=0/006$) و گروه کانستریک ($p=0/019$) معنادار بود. همچنین تغییرات بین گروهی نشان‌دهنده عدم تفاوت بین دو گروه بود ($p=0/246$). همچنین

که پیش فرض همگنی شیب رگرسیون رعایت شده است. همچنین نتایج حاصل از جدول شماره ۳ تحلیل کوواریانس نشان می‌دهد که بین گروه‌های مختلف در مقادیر پس آزمون mTOR اختلاف معناداری وجود ندارد ($F=2/070$ و $p=0/246$). همچنین نتایج حاصل از جدول تحلیل کوواریانس نشان می‌دهد که بین گروه‌های مختلف در مقادیر پس آزمون AKT اختلاف معناداری وجود ندارد ($F=0/950$ و $p=0/402$).

بحث

مسیر سیگنالینگ mTOR تسهیل‌کننده اصلی رشد طبیعی عضله و مهم‌ترین مسیر سیگنالینگ درگیر در هایپرتروفی عضلات اسکلتی است. تمرین قدرتی به صورت حاد و مزمن - هر دو - مسیر AKT/mTOR را فعال می‌کند. به‌طور مثال در تحقیقی آزمودنی‌ها به سه

ورزشی با تأثیر بر بعضی از پروتئین‌ها و مکانیسم‌ها می‌تواند به صورت مستقل منجر به فعال شدن mTOR شود. با این حال باید مطالعات بیشتری در این زمینه انجام گیرد (۲۴). در تحقیقی دیگر محققان به بررسی اثر تمرینات مقاومتی بر سطوح پروتئین‌های AKT، mTOR پرداختند. نتایج این مطالعه تفاوت معنی‌داری را به دنبال فعالیت ورزشی مقاومتی در عضله چهار سر موش‌های صحرایی نشان دادند (۲۵). نتایج تحقیق حاضر افزایش را در فاکتور مورد نظر نشان داد. مهم‌ترین تأثیر مسیره‌های پیام‌رسانی mTORC1 اثر بر پروتئین‌های درگیر در کنترل ترجمه یعنی پروتئین‌های P70S6K1 است (۸). علاوه بر نوع تمرین، نوع و سرعت انقباض (درون‌گرا-برونگرا) نیز در تحریک مسیر رشد عضله تأثیر دارد. بطوریکه انقباض برونگرا به نسبت درون‌گرا باعث افزایش بیشتری در سنتز پروتئین‌های عضلانی می‌شود. چون در این نوع انقباض به نسبت انقباض درون‌گرا، تارهای عضلانی بیشتری درگیر می‌شود در نتیجه نیروی بیشتری نیز تولید شده و مسیر AKT/Mtor بیشتر درگیر می‌شود و اینکه در انقباض برونگرا آسیب بیشتری به عضله وارد می‌شود که این آسیب خود محرک ترشح IGF-1 و IL6 است که بر روی سلول‌های ماهواره‌ای گیرنده دارند و با فعال‌سازی سلول‌ها باعث هایپرتروفی عضلانی می‌شوند (۲۶). از طرفی هرچه انقباض با سرعت بیشتری همراه باشد رشد عضله بیشتر تحریک می‌شود؛ مثلاً در دو گروه که یک جلسه تمرین قدرتی (یک گروه انقباض آهسته برونگرا و گروه دیگر انقباض سریع برونگرا) را با ۵ ست، ۸ تکراری انجام دادند، طی بایوپسی که ۲ ساعت بعد از اتمام فعالیت از قسمت ران دو گروه آزمودنی گرفته شد، مشخص شد که مقدار فسفوریله شدن AKT و P70s6k در گروه انقباض سریع خیلی بیشتر از گروه انقباض آهسته بوده است (۲۷). در تحقیقی دیگر نشان داده شد که انجام تمرینات مقاومتی منجر به افزایش فاکتورهای AKT، mTOR و p70S6K می‌شود (۲۳). در مطالعه حاضر نیز نشان داده شد، فعالیت اکسنتریک باعث فسفوریلاسیون AKT شده است و این افزایش منجر به بهبود mTOR گردیده است. این نتایج نشان می‌دهد که

تغییرات درون‌گروهی AKT بعد از یک جلسه فعالیت، در گروه اکسنتریک ($p=0/007$) و گروه کانسنتریک ($p=0/040$) معنادار بود. همچنین تغییرات بین گروهی نشان‌دهنده عدم تفاوت بین دو گروه بود ($p=0/402$). در همین راستا لین (Layne) و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تعیین تأثیر اجرای یک دوره تمرین مقاومتی بر بیان پروتئین‌های تام و فسفریله mTOR و p70s6k به‌عنوان تنظیم‌گر اصلی هایپرتروفی در عضله خم‌کننده طویل انگشتان پا (FHL) رت‌های نر سالم پرداختند. نتایج نشان داد، اجرای تمرین مقاومتی موجب افزایش معنادار شکل فسفریله پروتئین‌های mTOR و p70s6k می‌شود؛ اما موجب افزایش معنادار محتوی پروتئینی تام mTOR و p70s6k نشد (۸). همچنین پیک (Peake) و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی سازگاری هایپرتروفی عضله اسکلتی در ۳ و ۶ هفته تمرین مقاومتی برای سنتز پروتئین عضله از طریق مسیر سیگنالینگ mTORC1 پرداختند. سطوح پروتئین‌های mTOR و پروتئین AKT اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعه هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (۱۴). در مطالعه دیگری مسیر PI3K/AKT/mTOR در هایپرتروفی بطن چپ موش‌های صحرایی بررسی کردند. در این تحقیق موش‌ها به دو گروه تمرین و کنترل تقسیم شدند و گروه تمرین به مدت ۸ هفته و ۵ جلسه در هفته و یک ساعت در روز شنا می‌کردند و بیان سطوح پروتئین قلبی PI3K/AKT/mTOR بر اثر تمرین ۳۶ درصد افزایش داشت که نشان‌دهنده فعال شدن مسیر پیام‌رسانی PI3K/AKT/mTOR بود (۹). mTOR از مسیرهای مختلفی می‌تواند فعال شود اما به‌طور کامل مشخص نشده است که تمرینات ورزشی از کدام مسیر باعث فسفوریله و فعال شدن mTOR می‌شود (۲۲). یکی از مسیرهای پیشنهاد شده مسیر IGF-1/PI3K/AKT است که با توجه به نتایج تحقیق حاضر که منجر به فعال شدن mTOR شده است مورد تأیید است. نظریه‌ای که به تازگی ارائه شده است، نظریه گیرنده‌های مکانیکی در سطح سلول‌های مانند انتگرین، دسیتروفن و کانال‌های فعال شده از طریق کشش است (۲۳). با توجه به نتیجه تحقیق حاضر می‌توان گفت که فعالیت

2. Elosua R, Molina L, Fito M, Arquer A, Sanchez-Quesada JL, Covas MI, et al. Response of oxidative stress biomarkers to a 16-week aerobic physical activity program, and to acute physical activity, in healthy young men and women. *Atherosclerosis*. 2003;167(2):327-34.

3. Accattato F, Greco M, Pullano SA, Carè I, Fiorillo AS, Pujia A, et al. Effects of acute physical exercise on oxidative stress and inflammatory status in young, sedentary obese subjects. *PLoS One*. 2017;12(6):e0178900.

4. Padilha CS, Borges FH, Costa Mendes da Silva LE, Frajacomio FTT, Jordao AA, Duarte JA, et al. Resistance exercise attenuates skeletal muscle oxidative stress, systemic pro-inflammatory state, and cachexia in Walker-256 tumor-bearing rats. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2017;42(9):916-923.

5. Britto FA, Gnimassou O, De Groote E, Balan E, Warnier G, Everard A, et al. Acute environmental hypoxia potentiates satellite cell-dependent myogenesis in response to resistance exercise through the inflammation pathway in human. *FASEB J*. 2020;34(1):1885-1900.

6. Gruntman AM, Flotte TR. The rapidly evolving state of gene therapy. *FASEB J*. 2018;32(4):1733-1740.

7. Luk HY, Levitt DE, Boyett JC, Rojas S, Flader SM, McFarlin BK, et al. Resistance exercise-induced hormonal response promotes satellite cell proliferation in untrained men but not in women. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2019;317(2):E421-E432.

8. Layne AS, Larkin-Kaiser K, MacNeil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, et al. Effects of blood-flow restriction on biomarkers of myogenesis in response to resistance exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2017;42(1):89-92.

9. Jang J, Park S, Kim Y, Jung J, Lee J, Chang Y, et al. Myostatin Inhibition-Induced Increase in Muscle Mass and Strength Was Amplified by Resistance Exercise Training, and Dietary Essential Amino Acids Improved Muscle Quality in Mice. *Nutrients*. 2021;13(5):1508.

10. Morais SRL, Brito VGB, Mello WG, Oliveira SHP. l-arginine modulates inflammation and muscle regulatory genes after a single session of resistance exercise in rats. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(2):425-435.

11. Ishikawa K, Weber T, Hajjar RJ. Human Cardiac Gene Therapy. *Circ Res*. 2018;123(5):601-613.

12. Bechshøft CJL, Jensen SM, Schjerling P, Andersen JL, Svensson RB, Eriksen CS, et al. Age and prior exercise in vivo determine the subsequent in vitro molecular profile of myoblasts and nonmyogenic cells derived from human skeletal muscle. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2019;316(6):C898-C912.

دو نوع انقباض اکسنتریک و کانسنتریک ممکن است از مکانیسم‌های مختلف فیزیولوژیکی بر تغییرات سنتر پروتئین نقش داشته باشند.

نتیجه‌گیری

بسیاری از سازگاری‌ها مانند افزایش قدرت و توده بدون چربی، ناشی از تمرینات مقاومتی تکراری می‌باشد و این به دلیل درجه بالای شکل‌پذیری عضله اسکلتی در پاسخ به فشار تمرینی است. محرک‌های تمرینی متفاوت در ورزش‌های مقاومتی می‌تواند پاسخ‌های مولکولی متفاوتی را در ارتباط با سازگاری‌های ویژه عضله اسکلتی به نوع تمرین مقاومتی ایجاد کند. تجویز یک برنامه مقاومتی باید با توجه به دستکاری‌های انجام شده در متغیرها صورت گیرد. متغیرهای تمرینی شامل شدت، حجم و زمان تحت تنش می‌باشد. دستکاری هر یک از این متغیرها می‌تواند در نتیجه نهایی تأثیرگذار باشد. البته باید در نظر داشت که دستکاری تنها یک متغیر می‌تواند مطالعه اثر دیگر متغیرها را در پاسخ‌های مولکولی غیر ممکن کند. در مجموع مطالعه حاضر نشان داد یک جلسه فعالیت اکسنتریک و کانسنتریک منجر به تغییر فاکتورهای درگیر در قدرت، هایپرتروفی می‌شود. علاوه بر این، این تغییرات در مجموع در انقباض اکسنتریک بیش از کانسنتریک است.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری فیزیولوژی ورزشی آقای سعید علی اعظم می‌باشد. لذا از مساعدت و همکاری صمیمانه مسئولین دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و بیمارستان بقیه‌الله و تمام افرادی که موجب تسهیل اجرای رساله شدند، تقدیر و تشکر می‌گردد.

References

1. Venkatasamy VV, Pericherla S, Manthuruthil S, Mishra S, Hanno R. Effect of Physical activity on Insulin Resistance, Inflammation and Oxidative Stress in Diabetes Mellitus. *J Clin Diagn Res*. 2013;7(8):1764-6.

13. Sailani MR, Halling JF, Møller HD, Lee H, Plomgaard P, et al. Lifelong physical activity is associated with promoter hypomethylation of genes involved in metabolism, myogenesis, contractile properties and oxidative stress resistance in aged human skeletal muscle. *Sci Rep.* 2019;9(1):3272.
14. Peake JM, Markworth JF, Cumming KT, Aas SN, Roberts LA, Raastad T, et al. The effects of cold water immersion and active recovery on molecular factors that regulate growth and remodeling of skeletal muscle after resistance exercise. *Front Physiol.* 2020;11:737.
15. Moore NA, Morral N, Ciulla TA, Bracha P. Gene therapy for inherited retinal and optic nerve degenerations. *Expert Opin Biol Ther.* 2018;18(1):37-49.
16. Choi Y, Lee SY. Biosynthesis of inorganic nanomaterials using microbial cells and bacteriophages. *Nat. Rev. Chem.* 2020;4(12):638-56.
17. Iqbal P, Ghani MA, Ali B, Shahid M, Iqbal Q, Ziaf K, et al. Exogenous application of glutamic acid promotes cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth under salt stress conditions. *EJFA.* 2021:407-16.
18. Bhardwaj AK, Naraian R. Cyanobacteria as biochemical energy source for the synthesis of inorganic nanoparticles, mechanism and potential applications: a review. *Biotech.* 2021;11(10):1-6.
19. Hassan F, Mobarez S, Mohamed M, Attia Y, Mekawy A, Mahrose K. Zinc and/or Selenium Enriched Spirulina as Antioxidants in Growing Rabbit Diets to Alleviate the Deleterious Impacts of Heat Stress during Summer Season. *Animals (Basel).* 2021;11(3):756.
20. Nasrollahzadeh M, Sajjadi M, Iravani S, Varma RS. Green-synthesized nanocatalysts and nanomaterials for water treatment: Current challenges and future perspectives. *J Hazard Mater.* 2021;401:123401.
21. Godfrey JK, Kayser BD, Gomez GV, Bennett J, Jaque SV, Sumida KD. Interrupted resistance training and BMD in growing rats. *Int J Sports Med.* 2009;30(8):579-84.
22. Kemmler W, Kohl M, Fröhlich M, Schoene D, von Stengel S. Detraining effects after 18 months of high intensity resistance training on osteosarcopenia in older men-Six-month follow-up of the randomized controlled Franconian Osteopenia and Sarcopenia Trial (FrOST). *Bone.* 2021;142:115772.
23. Hohman TC. Hereditary Retinal Dystrophy. *Handb Exp Pharmacol.* 2017;242:337-367
24. Farsani ZH, Banitalebi E, Faramarzi M, Bigham-Sadegh A. Effects of different intensities of strength and endurance training on some osteometabolic miRNAs, Runx2 and PPAR γ in bone marrow of old male wistar rats. *Mol Biol Rep.* 2019;46(2):2513-2521.
25. Jafarzadeh G, Shakerian S, Farbood Y, Ghanbarzadeh M. Effects of Eight Weeks of Resistance Exercises on Neurotrophins and Trk Receptors in Alzheimer Model Male Wistar Rats. *Basic Clin Neurosci.* 2021;12(3):349-359.
26. Bourzac C, Bensidhoum M, Manassero M, Chappard C, Michoux N, Pallu S, et al. Preventive Moderate Continuous Running-Exercise Conditioning Improves the Healing of Non-Critical Size Bone Defects in Male Wistar Rats: A Pilot Study Using μ CT. *Life (Basel).* 2020;10(12):308.
27. Bosiacki M, Gutowska I, Piotrowska K, Lubkowska A. Concentrations of Ca, Mg, P, Prostaglandin E2 in Bones and Parathyroid Hormone; 1,25-dihydroxyvitamin D3; 17- β -estradiol; Testosterone and Somatotropin in Plasma of Aging Rats Subjected to Physical Training in Cold Water. *Biomolecules.* 2021;11(5):616.