University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

2025, 13(35), 42-55

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

Research Paper

The effect of incremental aerobic exercise on beta-aminoisobutyric acid serum level, insulin resistance index and body fat percentage in obese young women

Setareh Haghani[1], Sadegh Cheragh-Birjandi[2]*, Sara Asghari[3]

Received: Mar 29, 2024 Revised: May 15, 2024 Accepted: May 16, 2024

Article info

1. MSc in Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sport Sciences, Boj.C., Islamic Azad University, Bojnourd, Iran.
2. Assistant Professo at Department of Physical Education and Sport Sciences, Boj.C., Islamic Azad University, Bojnourd, Iran.
3. Ph.D in Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sport Sciences, Boj.C., Islamic Azad University, Bojnourd, Iran.

*** Corresponding Author Address:** Department of Physical Education and Sport Sciences, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran;
E-mail: s_birjandi2001@yahoo.com

Extended Abstract

Background and Aim: Obesity has emerged as one of the most critical health issues affecting humans in recent years. Adipose tissue (AT) is categorized into white adipose tissue (WAT), which represents 95% of AT mass, brown adipose tissue (BAT), which comprises less than 2% in adults, and beige adipose tissue, which is difficult to quantify. The findings show that BAT levels are significantly lower in obese individuals and that there is a negative relationship between BAT and body mass index (BMI) and fat percentage. One of the important factors in the conversion of WAT to BAT is beta-aminoisobutyric acid (BAIBA), which has been identified as a small exercise-mediated myokine. Overall, the mechanisms associated with BAIBA often include inhibition of adipogenesis, enhancement of lipolysis, stimulation of BAT/beige development, and improvement of glucose metabolis. Insulin resistance, as one of the complications of obesity and overweight, is caused by a decrease in the response of cell membrane receptors to insulin in the blood, leading to increased blood sugar and increased concentration of free fatty acids. Given these associations, the present study aimed to investigate the effect of eight weeks of incremental aerobic activity on serum BAIBA levels, plasma insulin resistance index, and body fat percentage in young obese women.

Materials and Methods: The statistical population of the present study consisted of obese women with BMI ≥30 kg/m^2 and an age range of 30 to 35 years. Inclusion criteria were: being in overall good health; having no known medical conditions; not taking any medications, supplements, or specific drugs; and not having participated in any structured

Cite this article:
Haghani S, Cheragh-Birjandi S, Asghari S. The effect of incremental aerobic exercise on beta-aminoisobutyric acid serum level, insulin resistance index and body fat percentage in obese young women. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2025;13(35):42-55. https://doi.org/10.22077/jpsbs.2025.7467.1856

Copyright: © 2025 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/).

exercise program during the past six months. Based on these criteria, 20 eligible participants were recruited and randomly assigned to either an exercise or a control group (n=10 per group). The incremental aerobic exercise program was implemented for eight weeks (24 sessions, three sessions per week). Each exercise session included 10 minutes of warm-up (walking, light jogging, stretching, and mobility exercises) and 10 minutes of cool-down (slow jogging, walking, and stretching exercises). The duration of the activity was 30 to 55 minutes and the intensity of the activity was 55 to 65% of the maximum heart rate reserve (HR reserve). 24 hours before the start of the training program and 48 hours after the last training session, blood sampling was performed from the brachial vein of the subjects. The obtained serum was stored in a freezer at -20 °C for subsequent measurements. The serum BAIBA and insulin concentration level were measured using an ELISA kit for human samples. Serum glucose concentration was measured using an enzymatic calorimetric method, and to assess insulin resistance, the evaluation model method insulin resistance index (HOMA-IR) was used according to the formula (fasting blood glucose × fasting insulin):22.5. After collecting data and entering the information into SPSS version 26 statistical software, the raw data were analyzed. Considering the natural distribution of the data and the homogeneity of variances, the analysis of covariance test was used to compare the means of the groups in the pre-test and post-test stages and for inter-group comparisons, a significance level of $p \leq 0.05$ was used throughout the analysis.

Results: The results revealed a significant increase in serum BAIBA levels in the training group after the intervention compared to the pre-test and in comparison to the control group (p=0.001). Additionally, the HOMA-IR and body fat percentage showed a significant decrease in the training group following the intervention, with these reductions also being statistically significant when compared to the control group (p=0.001) (Table 1).

Table 1. Results of analysis of covariance test (comparison of BAIBA levels and insulin resistance and body fat percentage)

Variable	Group		Mean ± standard deviation	Analysis of covariance test	
				F	p- value
β-Aminoisobutyric acid (μg/ml)	Exercise	Pre-test	98.75±15.73	20.73	0.001*
		Post-test	106.72±18.31		
	Control	Pre-test	97.38±18.02		
		Post-test	96.19±17.12		
Insulin resistance	Exercise	Pre-test	4.00±2.54	26.22	0.001*
		Post-test	3.00±1.67		
	Control	Pre-test	4.00±1.41		
		Post-test	4.00±3.43		
Body fat (percentage)	Exercise	Pre-test	30.97±2.53	23.21	0.001*
		Post-test	29.80±2.71		
	Control	Pre-test	30.06±1.96		
		Post-test	30.20±1.94		

*** Sign of significant difference between groups at the $p \leq 0.05$.**

Conclusion: BAIBA is a key regulator of glucose and lipid metabolism. Plasma BAIBA levels are inversely associated with metabolic risk variables and increase with exercise. As a unique myokine, BAIBA reduces insulin resistance and inflammation in skeletal muscle, promotes browning of white adipose tissue, induces fatty acid oxidation through the AMPK-PPARδ (AMP-activated protein kinase- peroxisome proliferator-activated receptor δ) pathway in skeletal muscle, and thereby regulates energy expenditure. Begriche et al. (2008) showed that BAIBA reduced body fat percentage as well as lipogenesis in mice and Tanianskii et al. (2019) stated that BAIBA acts in conditions of free fatty acid overload, such as physical activity and diabetes. Consistent with the present findings, Galdavi et al. (2022) showed that eight weeks of continuous light to moderate intensity exercise, as one of the appropriate treatment strategies, can be effective in reducing disorders related to overweight and obesity by increasing insulin sensitivity and reducing body fat percentage. Because of BAIBA, insulin resistance and body fat improvement it can be

considered of progressive aerobic training as an effective strategy in reducing disorders related to overweight and obesity.

Keywords: Aerobic exercise, Myokines, Adipose tissue, Body composition, Obesity.

Compliance with ethical guideline: In accordance with ethical research standards, the present study was conducted with full respect for the dignity and rights of participants, while ensuring strict confidentiality of medical information. The ethical principles outlined in the Declaration of Helsinki were adhered to throughout the research process. Additionally, all participants were fully informed about the nature and objectives of the study, and their voluntary participation was secured through the provision of written informed consent.

Funding: This research is based on a master's thesis from a student at the Islamic Azad University, Bojnourd Branch, and was conducted without any financial support..

Conflicts of interest: There are no conflicts of interest regarding this article.

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش
۱۴۰۴، دوره ۱۳، شماره ۳۵، ص ۵۷-۴۴
دانشگاه بیرجند
نشریه مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش

مقاله پژوهشی

اثر تمرین هوازی فزآینده بر سطح سرمی بتا آمینو ایزوبوتیریک اسید، شاخص مقاومت به انسولین و درصد چربی بدن در زنان جوان چاق

ستاره حقانی[۱]، صادق چراغ بیرجندی[۲*]، سارا اصغری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶

اطلاعات مقاله

۱. کارشناس ارشد رشته فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران.
۲. استادیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران.
۳. دکترای رشته فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران..

*آدرس نویسنده مسئول: بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی؛
پست الکترونیک:
s_birjandi2001@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: بتا آمینو ایزوبوتیریک اسید یک مایوکاین است که توسط عضلات اسکلتی تولید و ترشح می‌شود. تمرینات ورزشی به عنوان یک راهکار عملی نقش مهمی در افزایش بتا آمینو ایزوبوتیریک، بهبود مقاومت به انسولین و پیشگیری از عوارض چاقی دارند. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات هشت هفته تمرین هوازی فزآینده بر سطح سرمی بتا آمینو ایزوبوتیریک اسید، شاخص مقاومت به انسولین و درصد چربی بدن در زنان جوان چاق بود. **روش تحقیق:** در این تحقیق نیمه تجربی با طرح پیش آزمون - پس آزمون، ۲۰ زن جوان چاق و غیرفعال (میانگین سنی ۲/۶۸ ± ۳۲ /۲ سال و شاخص توده بدنی ۱/۴±۱ /۳۱ کیلوگرم بر متر مربع) به‌صورت تصادفی به گروه‌های مساوی (۱۰ نفر) کنترل و تمرین تقسیم شدند. پروتکل تمرین هوازی فزآینده به مدت هشت هفته و سه روز در هفته (با شدت ۵۵ تا ۶۵ درصد ضربان قلب ذخیره و مدت ۳۰ تا ۵۵ دقیقه) اجرا شد. پیش و پس از مداخله، نمونه‌گیری خون برای سنجش سطوح بتا آمینو ایزوبوتیریک اسید و مقاومت به انسولین انجام شد. برای تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶، از آزمون تحلیل کوواریانس در سطح معنی‌داری $p\leq ۰/۰۵$ استفاده گردید. **یافته‌ها:** پس از هشت هفته تمرین هوازی فزآینده، بتا آمینو ایزوبوتیریک اسید (p=۰/۰۰۱) در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. از طرف دیگر، درصد چربی (p=۰/۰۰۱) و شاخص مقاومت به انسولین (p=۰/۰۰۱) در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. **نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تمرینات هوازی فزآینده با افزایش بتا آمینو ایزوبوتیریک اسید و کاهش مقاومت به انسولین و درصد چربی بدن، می‌تواند یک راهکار موثر در کاهش اختلالات مرتبط با اضافه وزن و چاقی باشد.

واژه‌های کلیدی: تمرین هوازی، بتا آمینو ایزوبوتیریک اسید، بافت چربی، ترکیب بدنی، چاقی.

مقدمه

چاقی در سال‌های اخیر به یکی از بیماری‌های مهمی تبدیل شده است که سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱). تعادل مثبت بین تامین و مصرف انرژی منجر به اضافه وزن و چاقی می‌گردد. دو عامل اصلی که باعث چاقی می‌شوند، سبک زندگی بی‌تحرک و رژیم غذایی پرکالری است. البته که عوامل ژنتیکی و اپی‌ژنتیکی نیز در ایجاد چاقی نقش دارند. چاقی اغلب با بیماری‌های متابولیک مانند بیماری‌های قلبی عروقی[1] (CVD)، دیابت نوع دو[2] (T2D)، بیماری‌های التهابی مزمن مانند آرتریت روماتوئید[3]، پسوریازیس[4] یا مولتیپل اسکلروزیس[5] و سرطان‌های متعدد مرتبط است (۲). بافت چربی[6] (AT) از طریق عملکردهای ترشحی پاراکرین[7] و اندوکرین[8] خود، نقش مهمی در شروع یا تشدید چنین بیماری‌هایی دارد. AT را می‌توان به بافت چربی سفید[9] (WAT) که نشان دهنده ۹۵ درصد از توده AT است، بافت چربی قهوه‌ای[10] (BAT) که کمتر از ۲ درصد در بزرگسالان را شامل می‌شود و بافت چربی بژ[11] که تعیین کمیت آن دشوار است، طبقه بندی کرد (۳). بر خلاف عمل ذخیره سازی که مخصوص WAT است، BAT نقش گرمازایی دارد و سبب تبدیل انرژی شیمیایی به حرارتی می‌گردد (۴). یافته‌ها نشان می‌دهند که مقدار BAT در افراد چاق به‌طور معنی‌داری کم است و بین BAT و شاخص تودهٔ بدنی[12] (BMI) و درصد چربی[13] رابطه منفی وجود دارد (۵). WAT در شرایط خاص، از طریق قرار گرفتن در معرض محرک‌های خاص، مانند سرماخوردگی، هورمون‌های تیروئید[14]، رژیم غذایی، پپتیدهای ناتریورتیک[15]، داروها و ورزش؛ می‌تواند خصوصیات BAT را دریافت کند. این فرآیند قهوه‌ای شدن[16] یا بژ شدن[17] نام دارد و با چاقی و بیماری‌های مرتبط با سندروم متابولیک، مقابله می‌کند (۶). یکی از عوامل مهم در تبدیل WAT به BAT، بتا آمینو ایزوبوتیریک اسید[18] (BAIBA) است که به عنوان یک مایوکاین[19] کوچک با واسطه ورزش، شناسایی شده است. ترشح BAIBA وابسته به گیرنده یک آلفا هم‌فعال کننده گاما فعال شده با تکثیر پروکسی‌زوم[20] (PGC-1α) ترشح شده از میوسیت‌هایی است که بر اندام‌های مختلف تاثیر می‌گذارد (۷). BAIBA، محصول کاتابولیسم والین[21] و تیمین[22] در عضلات اسکلتی بوده و گزارش شده است که در تنظیم چربی، گلوکز، متابولیسم استخوان و همچنین در التهاب و استرس اکسیداتیو مشارکت دارد.

BAIBA در پاسخ به فعالیت ورزشی تولید می‌شود (۸). سازوکارهای مرتبط با BAIBA اغلب شامل مهار چربی‌زایی، افزایش لیپولیز، تحریک توسعه BAT / بژ و بهبود سوخت‌وساز گلوکز است (۹). تمرین ورزشی هوازی[23] از طریق افزایش انرژی مصرفی، به‌طور مستقیم از افزایش تجمع چربی جلوگیری کرده و موجب بهبود وضعیت التهابی می‌شود (۱۰). شرت[24] و دیگران (۲۰۱۹) نشان دادند که ۱۶ هفته تمرین هوازی، به‌صورت سه جلسه در هفته با حداقل مدت ۲۰ دقیقه در هر جلسه فعالیت بدنی متوسط تا شدید[25] (MVPA)؛ باعث افزایش BAIBA در افراد با وزن طبیعی در مقایسه با افراد چاق می‌شود (۱۱). عارفی شیروان و دیگران (۲۰۲۲) نیز گزارش کردند که تمرین هوازی سبب افزایش معنی‌دار در سطوح BAIBA در مردان مبتلا به سندروم متابولیک[26] می‌شود. مدت انجام تمرین هوازی برای این بیماران مساوی یا بیشتر از ۳۰ دقیقه در هر جلسه، دورهٔ ۴۵ دقیقه‌ای همراه با ۱۵ دقیقه گرم و سرد کردن بود که با شدت متوسط و توالی سه جلسه در هفته به مدت ۱۲ هفتهٔ متوالی انجام گرفت (۹). در مقابل، مورالس[27] و دیگران (۲۰۱۷) دریافتند که تمرین هوازی به‌صورت دو جلسه دوچرخه سواری حاد با شدت ۷۰ درصد اوج اکسیژن مصرفی[28] (VO_2peak) هیچ تاثیری بر سطوح BAIBA در نوجوانان چاق ندارد (۱۲).

1. Cardiovascular disease
2. Type 2 diabetes
3. Rheumatoid arthritis
4. Psoriasis
5. Multiple sclerosis
6. Adipose tissue
7. Paracrine
8. Endocrine
9. White adipose tissue
10. Brown adipose tissue
11. Beige adipose tissue
12. Body mass index
13. Body fat percent
14. Thyroid hormones
15. Natriuretic peptides
16. Browning
17. Beiging
18. β-Aminoisobutyric acid
19. Myokines
20. Peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator- 1 alpha
21. Valine
22. Thymine
23. Aerobic exercise
24. Short
25. Moderate to vigorous physical activity
26. Metabolic Syndrome
27. Morales
28. Peak oxygen consumption
29. Insulin resistance

مقاومت به انسولین[۲۹] نیز به‌عنوان یکی از عوارض چاقی و اضافه وزن با کاهش پاسخ گیرنده‌های غشاء سلولی به انسولین در خون ایجاد می‌شود و سبب افزایش قند خون و افزایش غلظت اسیدهای چرب آزاد می‌گردد (۱۳). کاظمی و نادری‌پور (۲۰۲۱) نشان دادند که هشت هفته تمرین هوازی سبب کاهش معنی‌دار مقاومت انسولین در زنان چاق و دارای اضافه وزن می‌گردد (۱۴). حق‌جو و دیگران (۲۰۲۲) نشان دادند که هشت هفته تمرین زومبا[۱]، باعث کاهش معنی‌دار درصد چربی بدن، BMI و توده چربی زنان دارای اضافه‌وزن می‌گردد (۱۵).

با توجه به این‌که افزایش فعالیت بدنی و تحرک جسمانی به‌عنوان یک اصل مهم و کم‌هزینه در فرآیند چاقی و اضافه وزن پیشنهاد شده است؛ مطالعات محدودی در زمینهٔ تأثیر تمرینات ورزشی بر سطوح سرمی BAIBA در افراد چاق انجام شده است؛ لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر هشت هفته فعالیت هوازی فزآینده بر سطح سرمی BAIBA و شاخص مقاومت به انسولین پلاسما و درصد چربی بدن زنان جوان چاق انجام شد.

روش تحقیق

طرح پژوهش و آزمودنی‌ها: تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح پیش آزمون - پس آزمون با دو گروه کنترل و تمرین بود. جامعه آماری مطالعه حاضر شامل زنان چاق با BMI≥۳۰ کیلوگرم بر متر مربع و دامنه سنی ۳۰ تا ۳۵ سال بود. معیارهای ورود به تحقیق شامل برخورداری از سلامت کامل و عدم ابتلا به هرگونه بیماری، عدم استفاده از هر گونه مواد مخدر، مکمل و داروی خاص و همچنین، عدم شرکت در فعالیت‌های ورزشی منظم طی شش ماه اخیر در نظر گرفته شد. معیارهای خروج از مطالعه نیز شامل عدم تمایل آزمودنی‌ها به ادامه همکاری و بروز هر نوع آسیب‌دیدگی و تشخیص پزشک متخصص برای عدم ادامه فعالیت ورزشی بود. آزمودنی‌های تحقیق حاضر، پس از اطلاع‌رسانی و فراخوان در سطح شهرستان بجنورد از بین داوطلبان شرکت در پژوهش و بررسی شرایط افرادی که معیارهای ورود به تحقیق را داشتند، انتخاب شدند. در یک جلسه هماهنگی، کلیه اهداف و روش‌های اندازه‌گیری تحقیق برای آزمودنی‌ها تشریح شد و پس از توجیه کامل شرکت‌کنندگان، فرم رضایت‌نامه از آنان اخذ و پرسش‌نامه آمادگی برای فعالیت بدنی[۲] (PAR-Q) تکمیل و معاینات پزشکی لازم انجام شد.. با توجه به معیارهای ورود به طرح و از بین افراد داوطلب شرکت در پژوهش، ۲۰ نفر به عنوان آزمودنی انتخاب شدند. به‌منظور گروه‌بندی شرکت‌کنندگان، افراد واجد شرایط به صورت تصادفی در دو گروه تمرین و کنترل (هر گروه ۱۰ نفر) قرار گرفتند.

نحوه اجرای پروتکل تمرینی: برنامه تمرین هوازی فزآینده به مدت هشت هفته (۲۴ جلسه و هفته‌ای سه جلسه) اجرا شد. هر جلسه تمرین ۱۰ دقیقه گرم کردن (راه‌رفتن، دویدن نرم، حرکات کششی و جنبش‌پذیری) و ۱۰ دقیقه سرد کردن (دویدن آهسته، راه‌رفتن و حرکات کششی) را شامل می‌شد. مدت زمان فعالیت ۳۰ تا ۵۵ دقیقه و شدت فعالیت نیز ۵۵ تا ۶۵ درصد حداکثر ضربان قلب ذخیره[۳] (HR reserve) در نظر گرفته شد. تمرینات به این صورت بود که پس از ۱۰ دقیقه گرم کردن، با راه رفتن سریع و حرکات کششی و دویدن آرام و ۵۵ درصد از ضربان قلب در هفته اول به مدت ۱۰ دقیقه شروع شد و با ۱۰ دقیقه سرد کردن به پایان رسید. بدنه تمرینات (جدا از گرم و سرد کردن) در هفته هشتم به ۶۵ درصد HR reserve و مدت ۳۵ دقیقه رسید. محاسبه HR reserve با استفاده از فرمول کاروونن[۴] و به‌صورت معادله زیر محاسبه گردید (۱۶). ضربان قلب استراحت + درصد شدت تمرین × (ضربان قلب استراحت – ضربان قلب بیشینه) = ضربان قلب ذخیره. در این معادله، حداکثر ضربان قلب بیشینه، حاصل تفریق سن (سال) از عدد ثابت ۲۲۰ است. همچنین برای کنترل شدت تمرین از ضربان‌سنج پلار[۵] استفاده گردید (جدول یک) (۱۷).

نحوه اندازه‌گیری‌های ترکیب بدنی: سنجش

ضربان قلب استراحت + درصد شدت تمرین × (ضربان قلب استراحت – ضربان قلب بیشینه) = ضربان قلب تمرین

1. Zumba
2. Physical activity readiness questionnaire
3. Heart rate reserve
4. Karvonen

جدول ۱. جزئیات پروتکل تمرین

هفته‌ها	مدت زمان کل تمرین در هر جلسه (دقیقه)	شدت HR reserve
اول	۳۰	۵۵
دوم	۳۵	۵۵
سوم	۴۰	۶۰
چهارم	۴۵	۶۰
پنجم	۵۰	۶۰
ششم	۵۰	۶۵
هفتم	۵۵	۶۵
هشتم	۵۵	۶۵

شاخص‌های آنتروپومتریکی مانند وزن با استفاده از ترازوی دیجیتال هایتک[1] مدل DS84-HI (ساخت کشور کانادا با دقت ۰/۰۱ کیلوگرم) و قد با استفاده از قدسنج بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. BMI نیز با استفاده از معادله وزن بدن (کیلوگرم) تقسیم بر مجذور قد (متر) محاسبه گردید. برای تعیین درصد چربی بدن، ابتدا ضخامت چربی زیر پوستی در سه نقطهٔ سه سر بازو، ران و فوق خاصره با استفاده از کالیپر (یاگامی[2] ساخت کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد (۱۸، ۱۹) سپس اعداد به‌دست آمده در معادله جکسون و پولاک[3] قرار گرفت و با قرار دادن مقدار عددی محاسبه شده در معادله سیری[4]، درصد چربی بدن محاسبه شد (۲۰، ۲۱).

۴۵۰- (چگالی بدن ÷ ۴۹۵) = درصد چربی بدن

خون‌گیری و ارزیابی‌های بیوشیمیایی: ۲۴ ساعت پیش از شروع برنامه تمرین و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، نمونه‌گیری خون به میزان ۱۰ میلی‌لیتر از ورید بازویی آزمودنی‌ها انجام گرفت. پس از ۱۰ دقیقه ماندن نمونه‌ها در دمای اتاق و جداسازی لخته، برای سانتریفیوژ کردن خون از دستگاه بهداد مدل ۱۶شاخه، ساخت کشور ایران به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه استفاده شد. سرم حاصل برای سنجش های بعدی در فریزر با دمای منفی ۲۰ سانتی‌گراد نگهداری شد. سطح سرمی BAIBA با استفاده از کیت الایزا مخصوص نمونه‌های انسانی ساخت کمپانی زل‌بیو[5] کشور آلمان، با حساسیت ۰/۱ میکرومول در میلی‌لیتر و ضریب تغییرات ۵/۸ درصد، اندازه‌گیری شد. غلظت انسولین سرم نیز با استفاده از کیت الایزا مخصوص نمونه‌های انسانی ساخت کمپانی مونوباینده[6] کشور آمریکا، با حساسیت ۰/۷۵ میکرو واحد بین‌المللی در میلی‌لیتر و ضریب تغییرات درون سنجی و میان سنجی کمتر از ۶/۳ درصد، اندازه‌گیری شد. غلظت گلوکز سرم به روش کالریمتریک آنزیماتیک اندازه‌گیری شد و برای بررسی مقاومت به انسولین از روش

$$\text{مقاومت به انسولین} = \frac{\text{گلوکز خون ناشتا (میلی‌مول بر لیتر)} \times \text{انسولین ناشتا (میلی‌واحد بین‌المللی بر میلی‌لیتر)}}{۲۲/۵}$$

مدل ارزیابی طبق فرمول زیر استفاده گردید (۲۲).

روش‌های آماری: پس از جمع‌آوری داده‌ها و ورود اطلاعات به نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۶، داده‌های خام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو - ویلک[7] بررسی شد و از آزمون لون[8] برای بررسی همگنی واریانس‌ها استفاده گردید. با توجه به طبیعی بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها، برای مقایسهٔ میانگین‌های گروه‌ها در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون و به‌منظور مقایسه بین گروهی، از آزمون تحلیل کوواریانس[9] در سطح معنی‌داری $p\leq ۰/۰۵$ استفاده گردید.

یافته‌ها

داده های مربوط به شاخص های آنتروپومتریک

1. Hitech
2. Yagami
3. Jackson & Pollock
4. Siri
5. ZellBio GmbH
6. Monobind
7. Shapiro-Wilk
8. Levene
9. ANCOVA

آزمودنی‌های تحقیق در جدول دو آمده است. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس نشان داد که سطوح سرمی BAIBA در گروه تمرین در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش داشت و این افزایش در مقایسه با گروه کنترل معنی‌دار بود (p=۰/۰۰۱) (جدول سه). از طرفی، طبق نتایج آزمون تحلیل کوواریانس، شاخص مقاومت به انسولین و درصد چربی در گروه تمرین در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون کاهش معنی‌داری داشت و این کاهش در مقایسه با گروه کنترل

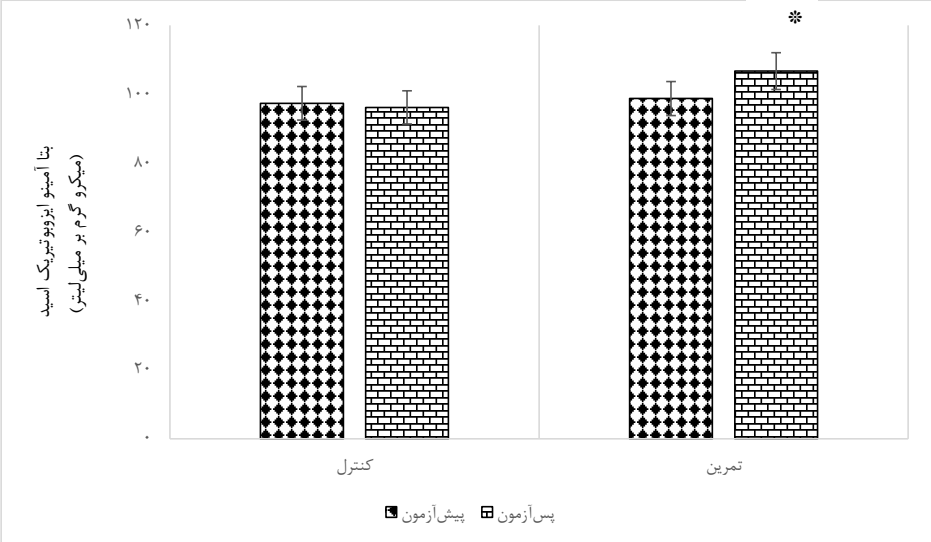
جدول ۲. توصیف شاخص های فردی شرکت کنندگان (میانگین±انحراف استاندارد)

متغیرها	گروه کنترل	گروه تمرین
سن (سال)	۳۳/۱۱±۰/۱۵	۳۲/۱۵±۴/۳۲
قد (سانتی‌متر)	۱۶۱/۰۹±۳/۸۶	۱۵۸/۱۵±۲/۷۴
وزن (کیلوگرم)	۷۹/۰۰±۵/۱۷	۸۲/۶۸±۱۰/۹۲
BMI (کیلوگرم بر متر مربع)	۳۱/۵۸±۱/۶۵	۳۳/۱۸±۶/۱۲

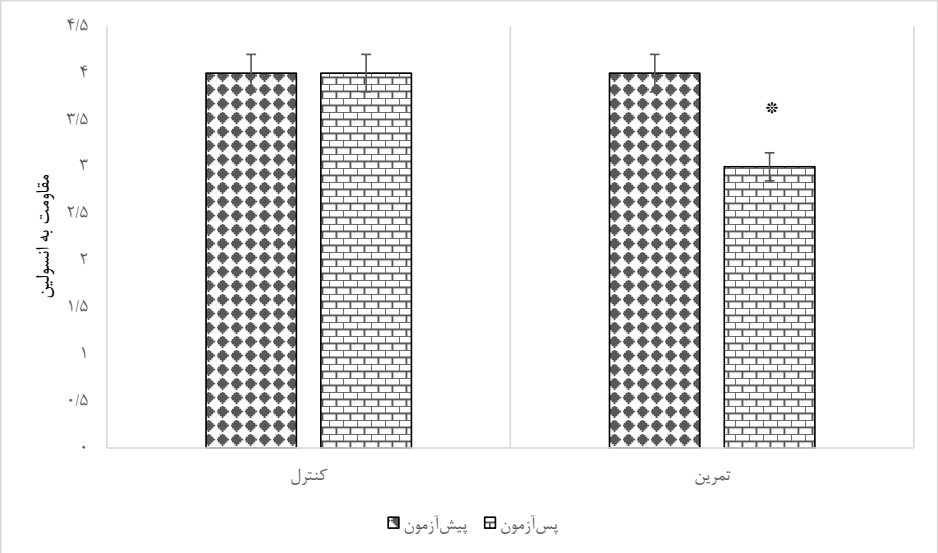
جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس در مورد مقایسه سطوح BAIBA، مقاومت به انسولین و درصد چربی بدن

متغیر	مداخله	مرحله	میانگین ± انحراف معیار	آزمون تحلیل کوواریانس	
				F	p- value
BAIBA (میکروگرم بر میلی‌لیتر)	تمرین	پیش آزمون	۱۵/۷۳±۹۸/۷۵	۲/۷۳۷	۰/۰۱*
		پس آزمون	۱۸/۳۱±۱۰۶/۷۲		
	کنترل	پیش آزمون	۱۸/۰۲±۹۷/۳۸		
		پس آزمون	۱۷/۱۲±۹۶/۱۹		
مقاومت به انسولین	تمرین	پیش آزمون	۲۵/۴۰±۴/۰۰	۲/۲۵۲	۰/۰۱*
		پس آزمون	۶۷/۳۰±۳/۰۰		
	کنترل	پیش آزمون	۴۱/۱۰±۴/۰۰		
		پس آزمون	۳۴/۳۴±۴/۰۰		
چربی بدن (درصد)	تمرین	پیش آزمون	۲/۵۳±۳۰/۹۷	۲/۲۱۳	۰/۰۱*
		پس آزمون	۲/۷۱±۲۹/۸۰		
	کنترل	پیش آزمون	۱/۹۶±۳۰/۰۶		
		پس آزمون	۱/۹۴±۳۰/۲۰		

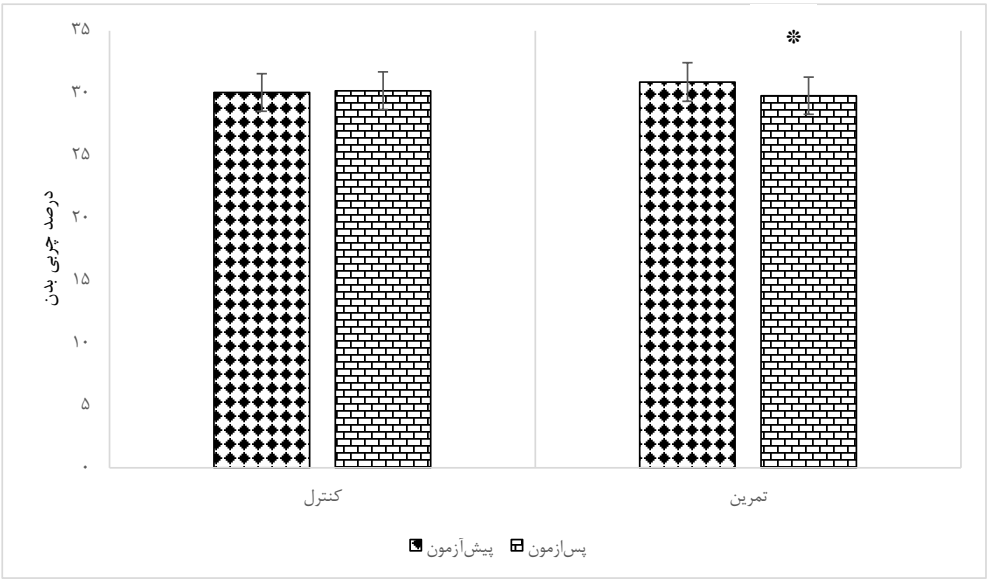
*نشانه تفاوت معنی داری بین گروه ها در سطح p≤۰/۰۵.



شکل ۱. مقایسه تغییرات شاخص BAIBA در گروه‌های مورد مطالعه؛ *نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه کنترل در پس آزمون؛ سطح معنی‌داری p<۰/۰۵.



شکل ۲. مقایسه تغییرات شاخص مقاومت به انسولین در گروه‌های مورد مطالعه؛ * نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه کنترل در پس‌آزمون؛ سطح معنی‌داری p<۰/۰۵.



شکل ۳. مقایسه تغییرات درصد چربی بدن در گروه‌های مورد مطالعه؛ * نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه کنترل در پس آزمون؛ سطح معنی‌داری p<۰/۰۵.

معنی‌دار بود (p=۰/۰۰۱) (جدول سه، شکل دو و سه).

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از افزایش معنی‌دار سطوح سرمی BAIBA و کاهش معنی‌دار شاخص مقاومت به انسولین و درصد چربی در زنان چاق پس از هشت هفته تمرین هوازی فزآینده است. BAIBA یک تنظیم کننده کلیدی متابولیسم گلوکز و لیپید است (۲۳). علاوه بر این، سطوح BAIBA پلاسما با متغیرهای خطر متابولیک ارتباط معکوس دارد و با ورزش افزایش می‌یابد (۲۴). BAIBA یک مایوکاین منحصر به فرد است که مقاومت به انسولین و التهاب عضلات اسکلتی را کاهش می‌دهد، قهوه‌ای شدن بافت چربی سفید را افزایش می‌دهد، اکسیداسیون اسید چرب را از طریق مسیر AMPK-PPARδ[1] در عضله اسکلتی القا می‌کند و در نتیجه مصرف انرژی را تنظیم نماید (۲۵). بگریچ[2] و

1. AMP-activated protein kinase- peroxisome proliferator-activated receptor δ
2. Begriche

دیگران (۲۰۰۸) نشان دادند که BAIBA، درصد چربی بدن و همچنین لیپوژنز را در موش‌ها کاهش می‌دهد (۲۶) و تانیانسکی[1] و دیگران (۲۰۱۹) بیان کردند که BAIBA در شرایط اضافه بار اسیدهای چرب آزاد، مانند فعالیت بدنی عمل می‌کند (۲۷). در یک مطالعه روی پسران و دختران بومی آمریکایی چاق و با وزن طبیعی (۱۱ تا ۱۷ سال)، سطح BAIBA خون پس از ۱۶ هفته تمرین هوازی اندازه‌گیری و گزارش شد که گروه با وزن نرمال، ۲۹ درصد سطح BAIBA بالاتری نسبت به افراد چاق دارند (۲۸). همچنین مشابه با یافته‌ها در انسان، BAIBA در موش‌ها نیز پس از هشت هفته دویدن روی نوارگردان در مقایسه با گروه کنترل بدون ورزش، حدود سه برابر افزایش یافته است (۲۸). همسو با پژوهش حاضر، یو[2] و دیگران (۲۰۲۲) پس از بررسی تاثیر ورزش بر موش‌های دارای نارسایی قلبی[3]، دریافتند که تمرین پنج روز در هفته روی نوارگردان و به مدت هشت هفته (۶۰-۵۰ درصد حداکثر شدت)، تولید BAIBA را بدون توجه به وجود بیماری، افزایش می‌دهد (۲۹). پژوهشی دیگر توسط رابرتز[4] و دیگران (۲۰۱۴) نیز انجام شد که نشان داد بیان BAIBA در عضله دوقلوی[5] موش‌های نوع وحشی، تقریباً ۲/۵ برابر و سطح BAIBA خون تقریباً ۱۹ درصد پس از سه هفته ورزش چرخ دوار افزایش یافت (۳۰). فنگ[6] و دیگران (۲۰۲۲) نیز نشان دادند چهار هفته تمرین در شرایط محدودیت اکسیژن[7]، باعث کاهش وزن، شاخص لی[8] و تنظیم پروفایل چربی خون و همچنین افزایش سطوح BAIBA در موش‌های چاق می‌شود. این پژوهشگران همچنین دریافتند که غلظت BAIBA در عضله اسکلتی با سطح بیان پیام‌رسان ریبونوکلئیک اسید[9] (mRNA)، گیرندهٔ آلفا فعال‌شده با تکثیر پروکسی‌زوم[10] (PPARα) و پروتئین جفت نشده ۱[11] (UCP-1)؛ همبستگی معنی‌دار و مثبت دارد. این یافته‌ها دال بر آن دارد که BAIBA فرآیند رونویسی PPARα و UCP-1 را با تنظیم ترشح عضلات اسکلتی تعدیل می‌کند. بنابراین وقوع قهوه‌ای شدن چربی سفید را تنظیم کرده و در نهایت، نمایه چربی خون، کاهش وزن و کاهش چربی را تنظیم نماید (۳۱). همچنین کتانو[12] و دیگران (۲۰۲۴) دریافتند که غلظت BAIBA در پلاسما با شاخص درصد چربی همبستگی معکوس دارد، که نشان می‌دهد BAIBA ممکن است یک هدف درمانی برای تجمع بیش از حد چربی باشد. در واقع، BAIBA یک مولکول شبه مایوکاینی ناشی از ورزش و یک تنظیم کننده منفی درون‌زا، برای توده چربی است (۳۲).

در تحقیق حاضر، شاخص مقاومت به انسولین و درصد چربی بدن کاهش معنی‌داری داشت. همسو با پژوهش حاضر گلدوی و دیگران (۲۰۲۲) دریافتند که هشت هفته تمرینات تداومی با شدت سبک تا متوسط، به‌عنوان یکی از راهکارهای درمانی مناسب، با افزایش حساسیت به انسولین و کاهش درصد چربی بدن، می تواند در کاهش اختلالات مرتبط با اضافه وزن و چاقی موثر باشد (۱۰). همتی مقدم و دیگران (۲۰۲۳) نیز دریافتند هشت هفته تمرین تناوبی شدید موجب کاهش معنی‌دار مقاومت به انسولین و درصد چربی بدن در مردان چاق مبتلا به T2D می‌گردد. با وجود این‌که بسیاری از مطالعات نشان دادند در اثر فعالیت ورزشی، مقاومت به انسولین و درصد چربی بهبود می‌یابد (۳۳)، در مطالعه استپتو[13] و دیگران (۲۰۲۰)، میزان مقاومت به انسولین طی ۱۲ هفته تمرین استقامتی در افراد مبتلا به سندرم تخمدان پلی‌کیستیک[14] (PCOS) تغییری نکرد. با توجه به اینکه PCOS سبب کاهش در سیگنالینگ پروتئین هدف راپامایسین پستانداران[15] (mTOR) می‌شود و مطالعات نشان داده‌اند که در اثر تمرینات هوازی این نقص سیگنالینگ بهبود می‌یابد، هیچ تفاوتی در فعالیت پروتئین کیناز B[16] (AKT) و پروتئین انتقال دهنده گلوکز ۴[17] (GLUT-4) که در مسیر سلولی مولکولی مقاومت به انسولین دخیل است، به وجود نیامد (۳۴). ممکن است این نتایج متناقض، به دلیل تعداد کم آزمودنی‌ها باشد. از جمله دلایل احتمالی تفاوت نتایج می‌توان به آثار احتمالی خستگی و آسیب ناشی از تمرین شدید بر سازوکار جذب گلوکز و شاخص مقاومت به انسولین و همچنین

1. Tanianskii
2. Yu Y
3. Heart failure
4. Roberts
5. Gastrocnemius muscle
6. Feng
7. Hypoxic Training
8. Lee index
9. Messenger ribonucleic acid
10. Peroxisome proliferator-activated receptor alpha
11. Uncoupling protein 1
12. Katano
13. Stepto
14. Polycystic ovary syndrome
15. Mammalian target of rapamycin
16. Protein kinase B (PKB)
17. Insulin-regulated glucose transporter

کوتاه بودن دوره فعالیت و شدت بالای تمرینات، اشاره کرد (۳۵). نتایج پژوهش وین[1] و دیگران (۲۰۱۸) همچنین نشان داد که چهار هفته تمرین تناوبی شدید بر درصد چربی بزرگسالان چاق تاثیر معنی‌داری ندارد (۳۶).

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج پژوهش حاضر، هشت هفته تمرینات هوازی فزآینده با افزایش ABIAB و کاهش مقاومت به انسولین و درصد چربی بدن، می‌تواند به عنوان یک راهکار موثر در کاهش اختلالات مرتبط با اضافه وزن و چاقی مد نظر باشد.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله، هیچ نفع متقابلی از انتشار آن ندارند.

قدردانی و تشکر

از تمام افرادی که در این پژوهش مشارکت و همکاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نماییم.

منابع

1. Hao M, Lv Y, Liu S, Guo W. The New Challenge of Obesity-Obesity-Associated Nephropathy. Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity. 2024:1957-71. https://doi.org/10.2147/DMSO.S433649

2. Pestel J, Blangero F, Watson J, Pirola L, Eljaafari A. Adipokines in obesity and metabolic-related-diseases. Biochimie. 2023;212:48-59. https://doi.org/10.1016/j.biochi.2023.04.008

3. Mirshafaei MA, Noori F, Abdi A. The effects of combining aerobic exercise with cinnamon on fndc5/irisin/ucp1 pathway in visceral adipose tissue of insulin resistant rats. Research in Medicine. 2023;47(3):56-68. [In Persian]. http://pejouhesh.sbmu.ac.ir/article-1-3284-fa.html

4. Senthivinayagam S, Serbulea V, Upchurch CM, Polanowska-Grabowska R, Mendu SK, Sahu S, et al. Adaptive thermogenesis in brown adipose tissue involves activation of pannexin-1 channels. Molecular Metabolism. 2021;44:101130. https://doi.org/10.1016/j.molmet.2020.101130

5. Ranjbari A, Mohamadzadeh Salamat K, Akbarzadeh S, Khamisipour G, Naeimi B. The effect of 4 weeks aerobic swimming training and aqueous urtica dioica extract on PGC-1α and UCP-1 gene expression and serum concentrations of irisin and FGF21 in diabetic rats. Journal of Sport Biosciences. 2022;14(4):67-80. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jsb.2023.345715.1546

6. Machado SA, Pasquarelli-do-Nascimento G, Da Silva DS, Farias GR, de Oliveira Santos I, Baptista LB, et al. Browning of the white adipose tissue regulation: New insights into nutritional and metabolic relevance in health and diseases. Nutrition & Metabolism. 2022;19(1):61.

7. Daou HN, Watt NT, MacCannell AD, Scalabrin M, Gad S, Futers S, et al. The exercise-mediated metabokine Beta-aminoisobutyric acid is an exercise mimetic driving skeletal muscle metabolic and functional adaptation. Physiology. 2023;38(S1):5786418. https://doi.org/10.1152/physiol.2023.38.S1.5786418

8. Yi X, Yang Y, Li T, Li M, Yao T, Hu G, et al. Signaling metabolite β-aminoisobutyric acid as a metabolic regulator, biomarker, and potential exercise pill. Frontiers in Endocrinology. 2023;14:1192458. https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1192458

9. Arefi Shirvan R, Ghorbanian B, Ghorbanzadeh B. The effect of twelve weeks of aerobic exercise on the serum levels of Angiopoietin-like protein 4 (Angptl4) and beta-aminoisobutyric acid (baiba) in men with metabolic syndrome. Journal

1. Winn

of Sport Biosciences. 2022;14(4):19-32. [InPersian]. https://doi.org/10.22059/jsb.2023.349902.1556

10. Galdavi R, Mogharnasi M, Nayebifar S. The effect of continuous training on plasma levels of adipolin, insulin sensitivity and body fat percent in overweight and obese women. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2022;10(21):42-52. [InPersian]. https://doi.org/10.22077/jpsbs.2021.3955.1608

11. Short KR, Chadwick JQ, Teague AM, Tullier MA, Wolbert L, Coleman C, et al. Effect of obesity and exercise training on plasma amino acids and amino metabolites in American Indian adolescents. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2019;104(8):3249-61. https://doi.org/ 10.1210/jc.2018-02698

12. Morales FE, Forsse JS, Andre TL, McKinley-Barnard SK, Hwang PS, Anthony IG, et al. BAIBA does not regulate UCP-3 expression in human skeletal muscle as a response to aerobic exercise. Journal of the American College of Nutrition. 2017;36(3):200-9. https://doi.org/10.1080/07315724.2016.1256240

13. Cheragh-Birjandi S, Kheyrandish A, Tara SS, Sharifian SS, Masoodi H, Asghari S. The effect of Pilates and aerobic training on serum levels of sirtoin-1, plasminogen activator inhibitor-1 and insulin resistance index in women with type 2 diabetes. Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology. 2024;11(2):1-11. [In Persian]. https://doi.org/10.22049/jahssp.2024.29241.1610

14. Kazemi A, Nnaaderi K. The Effects of 8 Weeks Aerobic Exercise Training on Serum levels of Myonectine and Insulin Resistance in Obese and Overweight Women. Sport Sciences Quarterly. 2021;13(42):27-37. [In Persian]

15. Haghjoo M, Zar A, Hoseini SA. The Effect of 8 weeks Zumba Training on Womenâ s Body Composition with Overweight. Pars Journal of Medical Sciences. 2022;14(2):21-30. [In Persian]. https://doi.org/ 10.29252/jmj.14.2.21

16. Mj K. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae. 1957;35:307-15.

17. Khatami Saravi SL, Abdi A, Barari A. Effect of aerobic training with Garlic consumption on matrix metalloproteinase-3, 9 and tissue inhibitor of metalloproteinase-1 in obese postmenopausal women with high blood pressure: A clinical trial study. Journal of Gorgan University of Medical Sciences. 2020;22(4):14-22. [In Persian]. http://goums.ac.ir/journal/article-1-3735-en.html

18. TaheriChadorneshin H, Alipour-Raz M, Kalantari M, Nikdel M, Saberi Z, Fattahi Z, et al. Effect of resistance training intensity on serum Irisin levels and lipid profile in sedentary elderly women. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2021;9(17):68-79. [In Persian]. http://goums.ac.ir/journal/article-1-3735-en.html

19. Kraemer WJ, Fleck SJ. Optimizing strength training: designing nonlinear periodization workouts: Human Kinetics; 2007. http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip0713/2007011833.html

20. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1980;12(3):175-81.

21. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1956:1-36

22. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor B, Treacher DF, Turner R. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. Diabetologia.

1985;28:412-9. https://doi.org/10.1007/bf00280883

23. Qin X, Liu P, Jin L, Zhu K, Yang Y, Hou Z, et al. Exerkine β-aminoisobutyric acid protects against atrial structural remodeling and atrial fibrillation in obesity via activating AMPK signaling and improving insulin sensitivity. Biomedicine & Pharmacotherapy. 2024;171:116137. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116137

24. Jung TW, Hwang H-J, Hong HC, Yoo HJ, Baik SH, Choi KM. BAIBA attenuates insulin resistance and inflammation induced by palmitate or a high fat diet via an AMPK–PPARδ-dependent pathway in mice. Diabetologia. 2015;58:2096-105. https://doi.org/10.1007/s00125-015-3663-z

25. Sawada M, Yamamoto H, Ogasahara A, Tanaka Y, Kihara S. β-aminoisobutyric acid protects against vascular inflammation through PGC-1β-induced antioxidative properties. Biochemical and Biophysical Research Communications. 2019;516(3):963-8. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2019.06.141

26. Begriche K, Massart J, Abbey-Toby A, Igoudjil A, Lettéron P, Fromenty B. β-Aminoisobutyric acid prevents diet-induced obesity in mice with partial leptin deficiency. Obesity. 2008;16(9):2053-67. https://doi.org/10.1038/oby.2008.337

27. Tanianskii DA, Jarzebska N, Birkenfeld AL, O'Sullivan JF, Rodionov RN. Beta-aminoisobutyric acid as a novel regulator of carbohydrate and lipid metabolism. Nutrients. 2019;11(3):524 . https://doi.org/10.3390/nu11030524

28. Lyssikatos C, Wang Z, Liu Z, Warden SJ, Brotto M, Bonewald L. L-β-aminoisobutyric acid, L-BAIBA, a marker of bone mineral density and body mass index, and D-BAIBA of physical performance and age. Scientific Reports. 2023;13(1):17212. https://doi.org/ 10.1038/s41598-023-44249-6

29. Yu Y, Chen W, Yu M, Liu J, Sun H, Yang P. Exercise-generated β-aminoisobutyric acid (BAIBA) reduces cardiomyocyte metabolic stress and apoptosis caused by mitochondrial dysfunction through the miR-208b/AMPK pathway. Frontiers in Cardiovascular Medicine. 2022;9:803510. https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.803510

30. Roberts LD, Boström P, O'Sullivan JF, Schinzel RT, Lewis GD, Dejam A, et al. β-Aminoisobutyric acid induces browning of white fat and hepatic β-oxidation and is inversely correlated with cardiometabolic risk factors. Cell Metabolism. 2014;19(1):96-108. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.12.003

31. Feng J, Wang X, Lu Y, Yu C, Wang X, Feng L. BAIBA involves in hypoxic training induced browning of white adipose tissue in obese rats. Frontiers in Physiology. 2022;13:882151. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.882151

32. Katano S, Yano T, Kouzu H, Nagaoka R, Numazawa R, Yamano K, et al. Circulating level of β-aminoisobutyric acid (BAIBA), a novel myokine-like molecule, is inversely associated with fat mass in patients with heart failure. Heart and Vessels. 2024;39(1):35-47. https://doi.org/10.1007/s00380-023-02308-y

33. Hemati Moghadam A, Rahmani Ghobadi M, Safikhani H. Effect of high intensity interval training on reducing insulin resistance, serum Asprosin, and body fat percentage in obese men with type 2 diabetes. Jundishapur Scientific Medical Journal. 2023;22(3):302-13. [In Persian]. https://doi.org/10.32592/JSMJ.22.3.302

34. Stepto N, Hiam D, Gibson-Helm M, Cassar S, Harrison CL, Hutchison SK, et al. Exercise and insulin resistance in PCOS: muscle insulin signalling and fibrosis. Endocrine Connections. 2020;9(4):346-59. https://doi.org/10.1530/EC-19-0551

35. Saremi A. Plasma Irisin increases after acute endurance exercise in obese and normal weight women.

Complementary Medicine Journal of Faculty of Nursing & Midwifery. 2017;7(2):1887-96. [In Persian]. https://www.magiran.com/p1764000

36. Winn NC, Liu Y, Rector RS, Parks EJ, Ibdah JA, Kanaley JA. Energy-matched moderate and high intensity exercise training improves nonalcoholic fatty liver disease risk independent of changes in body mass or abdominal adiposity—a randomized trial. Metabolism. 2018;78:128-40. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.08.012