Investigating the interactive effect of combined exercise with beta-hydroxybeta-methylbutyric acid (HMB) supplementation on insulin resistance and serum lipids in overweight and obese boys

Sheikh veysi A[1], Mohammaddoost O[2*], Ghofrani M[3]

1. Master of Sport Science, Faculty of Education and Psychology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran
2. Assistant Professor, Exercise Physiology Department, Faculty of Education and Psychology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
3. Associate Professor, Exercise Physiology Department, Faculty of Education and Psychology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, MO.omid@ped.usb.ac.ir

Received: *2024/10/24* Accepted: *2025/4/29*

Abstract

Background: The use of exercise training and supplements is effective in controlling obesity. The present study aimed to assess the effect of eight weeks of exercise training combined with beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation on insulin resistance and serum lipids in overweight and obese boys.

Materials and Methods: In this randomized clinical trial, 40 overweight or obese boys aged 16-19 years were purposively selected and randomly assigned to four groups of 10, including the combined exercise+ HMB group, the combined exercise+placebo group, the HMB group, and the placebo group. The subjects received 3 grams of HMB daily for eight weeks. The combined exercise was eight weeks and included resistance training (leg press, knee bends, chest press, and rowing machine) and endurance training (running at 70%-75% of maximum heart rate). Before and after the test, blood samples were collected, and Monobind kits were used to evaluate HOMA.IR, HDL, LDL, and TC. Data were analyzed in SPSS software (version 25) using paired t-tests, ANCOVA, and post hoc LSD tests at a significance level of $P \leq 0.05$.

Results: The results demonstrated that HOMA.IR, LDL, TC, and HDL values were significantly different between the groups (P=0.001). Moreover, HDL increased significantly in the exercise+HMB and exercise+placebo groups (P=0.001), and HOMA.IR, LDL, and TC decreased significantly (P=0.001).

Conclusion: As evidenced by the obtained results, HMB supplementation combined with exercise resulted in a significant decrease in weight and body mass index. Considering the effect of weight control on HOMA.IR, LDL, TC, and HDL, it seems that exercise combined with HMB supplementation can control these indicators in overweight and obese boys.

Keywords: Combined exercise, HMB supplements, HDL, Insulin resistance, LDL, Overweight and obesity, TC.

Citation: Sheikh veysi A, Mohammaddoost O, Ghofrani M. Investigating the interactive effect of combined exercise with beta-hydroxybeta-methylbutyric acid (HMB) supplementation on insulin resistance and serum lipids in overweight and obese boys. Yafte. 2025; 27(2):64-78.

***Correspondence Address: Zahedan, University of Sistan and Baluchestan, Faculty of Education and Psychology, Exercise Physiology Department**

Email: MO.omid@ped.usb.ac.ir

بررسی اثر تعاملی تمرین ترکیبی و مصرف مکمل بتا–هیدروکسی بتا–متیل بوتیریک (HMB) بر وضعیت مقاومت به انسولین و لیپیدهای سرمی در پسران دارای اضافه وزن و چاق

ابوالفضل شیخ‌ویسی[1]، امید محمددوست[2]*، محسن غفرانی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲- استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳- دانشیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

یافته / دوره ۲۷ / شماره ۲ / تابستان ۱۴۰۴ / مسلسل ۱۰۴

چکیده

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۸/۱۳ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۲/۹

مقدمه: استفاده از تمرین ورزشی و مکمل‌ها جهت کنترل چاقی مؤثر هستند. هدف مطالعه، بررسی تأثیر ۸ هفته تمرین ترکیبی توام با مصرف مکمل HMB بر وضعیت مقاومت به انسولین و لیپیدهای سرمی پسران دارای اضافه وزن و چاق بود.

مواد و روش‌ها: نوع این پژوهش کارآزمایی بالینی تصادفی است. ۴۰ پسر مبتلا به اضافه وزن یا چاقی با دامنه سنی ۱۹-۱۶ سال به‌صورت هدفمند انتخاب شدند و به‌طور تصادفی در چهار گروه ۱۰ نفره شامل گروه تمرین ترکیبی+HMB، گروه تمرین ترکیبی+دارونما، گروه HMB و گروه دارونما، قرار گرفتند. آزمودنی‌ها، هشت هفته، روزانه ۳ گرم HMB دریافت کردند. تمرین ترکیبی هشت هفته و شامل تمرین مقاومتی (پرس پا، خم‌کردن زانو، پرس سینه و قایقی سیم‌کش) و تمرین استقامتی (دویدن با ۷۵-۷۰ ٪ حداکثر ضربان قلب) بود. در پیش و پس‌آزمون، نمونه خون، جمع‌آوری و جهت بررسی HOMA.IR، HDL، LDL و TC از کیت‌های Monobind استفاده گردید. داده‌ها با آزمون‌های تی‌همبسته، آنالیز کوواریانس و آزمون تعقیبی LSD در سطح معنی‌داری $p\leq$۰/۰۵ با spss نسخه ۲۵، تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقادیر HOMA.IR، LDL، TC و HDL، در مقایسه بین گروهی تفاوت معنی‌داری دارند (P=۰/۰۰۱). HDL در گروه‌های تمرین+HMB، تمرین+دارونما افزایش معنی‌دار داشت (P=۰/۰۰۱) و HOMA.IR، LDL و TC کاهش معنی‌داری داشتند (P=۰/۰۰۱).

بحث و نتیجه‌گیری: مصرف مکمل HMB با تمرین ترکیبی باعث کاهش وزن و BMI گردید. با توجه به تأثیر کنترل وزن بر HOMA.IR، LDL، TC و HDL، به‌نظر می‌رسد، تمرین ترکیبی و مکمل HMB می‌تواند این شاخص‌ها را در پسران دارای اضافه وزن و چاق کنترل نماید.

واژه‌های کلیدی: تمرین ترکیبی، مکمل HMB، مقاومت به انسولین، HDL، LDL، TC، اضافه وزن و چاقی.

*آدرس مکاتبه: زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه علوم ورزشی.

پست الکترونیک: Mo.omid@ped.usb.ac.ir

مقدمه

پیشرفت در فناوری، فقر حرکتی را در پی داشته و موجب به خطر افتادن سلامت عمومی در جوامع شده است؛ اصلی‌ترین عامل مرتبط با افزایش اضافه وزن و چاقی، مصرف زیاد غذاهای پرکالری همراه با سبک زندگی بی‌تحرک است (۱). اضافه وزن، به‌عنوان وزنی بیشتر از وزن طبیعی تعریف می‌گردد. چاقی حالتی است که در آن، بدن دارای چربی بیش از اندازه باشد؛ شاخص توده‌بدنی (BMI) (Body mass index) معیاری برای برآورد چاقی است که از تقسیم وزن بدن (کیلوگرم) بر مجذور قد (متر) به‌دست می‌آید (۲). فعالیت بدنی و ورزش می‌تواند، اشتها را کاهش، میزان سوخت و ساز استراحتی و فراخوانی چربی‌ها را از بافت چربی، افزایش دهد، لذا در کنترل وزن اثر دارد (۱).

افزایش چاقی شکمی با افزایش اختلال در هموستاز گلوکز و انسولین و تغییر در مقادیر لیپیدها و لیپوپروتئین‌های (Lipoprotein) خون همراه است (۳). انسولین تنظیم کننده سطح گلوکز خون است. غشای سلول‌ها تقریباً چند ثانیه بعد از آنکه انسولین با گیرنده-های غشایی پیوند خورد نسبت به گلوکز به شدت نفوذپذیر می‌شود. انسولین با تحریک مصرف گلوکز در بافت‌های ماهیچه‌ای و چربی و منع گلوکونئوژنز (Gluconeogenesis) در کبد به حفظ هموستاز گلوکز کمک می‌کند. حداکثر اثر انسولین به نام "پاسخ‌دهی انسولین (Insulin response) " و غلظت انسولین لازم برای ایجاد نصف اثر حداکثر به نام "حساسیت به انسولین (Insulin sensitivity) " تعریف می‌گردد. کاهش پاسخ‌دهی به اثرات متابولیک انسولین، از جمله تحریک مصرف گلوکز و یا مهار تولید کبدی گلوکز اصطلاحاً "مقاومت به انسولین (Model Assessment of Insulin Resistance) " نامیده می‌شود.

مقاومت به انسولین با مشکلاتی مانند: دیابت، فشار خون و سندرم متابولیک، دارای ارتباط نزدیکی است (۴). شاخص‌هایی از قبیل تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی کم (Low Density Lipoprotein) بالا و لیپوپروتئین با چگالی بالا (High Density Lipoprotein) پایین و قند ناشتای بالا را به‌عنوان شاخص عمده عامل خطر آزمایشگاهی می‌شناسیم (۵). در مطالعات، فراوانی این شاخص‌ها بسیار متفاوت گزارش شده است (۶). نیم‌رخ لیپیدی پیش‌بینی کننده‌ی مهمی برای بیماری‌های قلبی-عروقی است و هرگونه تغییراتی در سطح طبیعی لیپیدها افراد را بیشتر در معرض خطر بیماری‌های قلبی-عروقی قرار می‌دهد (۷).

HMB (beta-hydroxy beta-methylbutyric) متابولیت اسید آمینه شاخدار لوسین (Leucine) و از مکمل‌های ورزشی است که مصرف بالایی دارد (۸). HMB در کاهش تجزیه پروتئین عضله و آسیب ناشی از تمرینات شدید، اثر آنتی کاتابولیکی دارد (۹). اثربخشی مصرف مکمل HMB در کاهش توده چربی، کاهش کلسترول تام و افزایش سطح حداکثر اکسیژن مصرفی مورد تأیید قرار گرفته است، اثرات جانبی زیان‌آوری در مصرف روزانه ۳ الی۶ گرم از مصرف مکمل HMB در انسان و حیوان گزارش نشده است (۱۰). برخی پژوهش‌ها تأثیر مکمل‌سازی HMB روی تغییرات ترکیب بدنی افراد مورد ارزیابی قرار داده‌اند (۱۱). تمرین هوازی موجب بهبود نیم‌رخ لیپیدی، کاهش مقادیر LDL، تری‌گلیسیرید، گلوکز خون، افزایش HDL در افراد چاق می‌شود (۱۲). تمرین تناوبی با شدت بالا باعث افزایش حساسیت به انسولین، افزایش اکسیداسیون چربی کل بدن و کاهش وزن می‌شود (۱۳). تمرین هوازی موجب کاهش بیشتر در ذخایر چربی شکمی، مهار افزایش لیپید خون در مقایسه با تمرین مقاومتی می‌شود (۱۴).

دولتی و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات هوازی به‌همراه مکمل‌سازی کورکومین در زنان سالم دارای اضافه وزن و چاق کم‌تحرک گزارش

کردند که کاهش وزن، و افزایش سطوح HDL روی داده است (۱۵). اغلب مطالعات انجام شده در این زمینه بر تمرین هوازی تأکید داشته‌اند و با وجود آثار سودمند فعالیت هوازی بر پارامترهای قلبی و عروقی و متابولیکی برخی بیماران مبتلا به چاقی در انجام این نوع تمرین با مشکل مواجه‌اند (۱۶). تمرین مقاومتی با تأثیر بر افزایش مصرف گلوکز، هایپرتروفی ناشی از انقباضات عضلانی را موجب شده و ابزار مناسبی در درمان این بیماری‌ها به‌شمار می‌آید، این نوع تمرین برای افراد چاق نیز مؤثر شناخته شده است (۱۷). Choi و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند برنامه ترکیبی دوازده هفته‌ای تمرین هوازی و مقاومتی باعث بهبود مقاومت به انسولین در زنان چاق می‌شود (۱۸). Banz و همکاران (۲۰۱۰) نیز به مقایسه مزایای تمرین هوازی در برابر تمرین مقاومتی پرداختند و نشان دادند که برنامه تمرین هوازی و مقاومتی منجر به بهبود عملکرد و اثرات سودمند در افراد دارای عوامل خطرزای قلبی- عروقی می‌شود (۱۹).

تمرین مقاومتی از طریق بهبود ترکیب بدن و افزایش مصرف کالری منجر به کنترل وزن شده و می‌تواند جایگزینی مناسب برای تمرین هوازی باشد (۲۰). تمرین مقاومتی از طریق افزایش مصرف انرژی در طول فعالیت و پس از آن و نیز تغییر سوبسترا به سمت استفاده از چربی‌ها، باعث کاهش وزن می‌شوند (۲۱). نتایج تحقیقی نشان داد که تمرین مقاومتی دایره‌ای شدید باعث کاهش وزن و چربی بدن می‌شود (۲۲). به‌نظر می‌رسد تمرین مقاومتی در مقایسه با فعالیت هوازی به دلیل عدم تأثیرگذاری افزایشی بر ضربان قلب و سوخت و ساز، تأثیرگذاری ناچیزی بر نیم‌رخ لیپیدی داشته باشد (۲۳).

Howatson در مطالعه‌ای این فرضیه را مطرح نموده که HMB از طریق متابولیسم آن به بتا – هیدروکسی - بتا - متیل کوآ (HMG-COA) و در نتیجهٔ تأمین منبع کربن، به‌عنوان پیش‌سازی برای سنتز کلسترول عمل می‌کند (۲۴). همچنین تحقیقات نشان داده است مکمل‌سازی HMB به مقدار ۱/۵ تا ۳ گرم در روز، تجزیهٔ پروتئین عضله را کاهش و تودهٔ عضلانی را پس از سه تا هشت هفته تمرین مقاومتی افزایش می‌دهد (۲۵).

با این حال شواهدی وجود دارد که این اثرات در آزمودنی‌های تمرین کرده مشاهده نشده است (۲۶). علاوه بر این، برخی تحقیقات نشان داده است که مکمل HMB فعالیت کراتین کیناز (CK) (Creatine kinase) خون را پس از تمرینات مقاومتی و دویدن بلند مدت کاهش می دهد (۲۴). اما اینکه مکمل HMB و تمرین ترکیبی تأثیر مثبتی بر مقادیر مقاومت به انسولین و نیم‌رخ لیپیدی دارد یا خیر، کمتر بررسی شده است. لذا پژوهش حاضر برای پاسخ به این سوأل انجام گرفت که آیا هشت هفته تمرین ترکیبی توأم با مصرف مکمل HMB بر وضعیت مقاومت به انسولین، HDL، LDL و TC در پسران دارای اضافه وزن یا چاق تأثیر گذار است یا خیر؟

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، کارآزمایی بالینی تصادفی (Randomized Controlled Trial) بود؛ جامعه آماری این پژوهش را ۶۰ نفر از پسران دانش‌آموز دارای اضافه وزن یا چاق دارای شاخص توده بدنی بیشتر از ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع، در سطح شهرستان بم تشکیل دادند؛ که در هیچ برنامه ورزشی منظم حداقل در شش ماه قبل از شروع پژوهش شرکت نکرده بودند و فقط فعالیت‌های روزمره عادی داشته‌اند. بر اساس جدول مورگان تعداد ۴۰ نفر به عنوان نمونه و به‌صورت داوطلبانه انتخاب شدند. آزمودنی‌ها در ۴ گروه (هر گروه شامل ۱۰نفر) گروه۱.تمرین ترکیبی + مصرف مکمل HMB، گروه ۲. تمرین ترکیبی + دارونما، گروه۳. مصرف مکمل HMB و گروه۴. دارونما، قرار گرفتند. نحوه تخصیصی افراد به گروه‌ها به صورت تصادفی ساده بوده و افراد از نظر سن و BMI در گروه‌ها همسان‌سازی شدند.

پس از کسب رضایت‌نامه کتبی از آزمودنی‌ها و والدین آن‌ها، تمامی آزمودنی‌ها مورد معاینه پزشک قرار گرفتند. شاخص‌های ورود به پژوهش شامل: داشتن سطح سلامت عمومی جسمانی و روانی و BMI≥۲۵ بود. ملاک خروج از مطالعه: داشتن بیماری قلبی-عروقی، دیابت، اختلالات هورمونی، فشار خون بالا و هرگونه مداخله درمانی مؤثر بر نتایج آزمایشگاهی بودند. چهار روز قبل از اجرای پروتکل تمرین، افراد جهت آشنایی با نحوه آزمون‌های مورد نظر و نیز پر کردن پرسشنامه سلامت فرا خوانده شدند؛ سپس بعد از ۲ روز، برای خون‌گیری اولیه آزمودنی‌ها در آزمایشگاه پاستور شهر بم حاضر شدند. خون‌گیری اولیه پس از ۱۰-۱۲ ساعت ناشتا بودن، در ساعات ۸ الی ۱۰ صبح انجام شد. پس از ۴۸ ساعت از آخرین جلسه تمرین، خون‌گیری مرحله دوم دقیقاً با همان شرایط زمان و مکان مرحله اول انجام شد. اندازه‌گیری قد آزمودنی‌ها، با قدسنج استاندارد با ضریب خطای ۰/۱ سانتی‌متر و اندازه‌گیری وزن، با ترازوی دیجیتال Seca ساخت کشور آلمان با ضریب خطای ۰/۱ گرم، در دو مرحله قبل و بعد از مداخله‌های پژوهش، در سالن ورزشی طی ساعت ۹ صبح انجام شد.

اندازه‌گیری متغیرهای بیوشیمیایی

از ورید بازویی دست راست آزمودنی‌ها، مقدار ۸ میلی‌لیتر خون، در دو مرحله پیش و پس آزمون، پس از ۱۲-۱۰ ساعت ناشتایی، خون‌گیری انجام و نمونه‌های خونی مستقیماً در لوله‌های ویژه جمع‌آوری و سپس سطوح HDL، LDL و TC آزمودنی‌ها به روش آنزیمی (دستگاه اتوآنالایزر بیوشیمی ساخت کشور آمریکا) و با استفاده از کیت (شرکت پیشتاز طب) اندازه‌گیری شدند، سطح انسولین به روش ELISA با استفاده از کیت‌های شرکت Monobind (America) و با دستگاه الیزا ریدر (STATFAX-2100-American) اندازه‌گیری شد.

شاخص مقاومت به انسولین با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۲۷).

HOMA= IR گلوکز ناشتا * (mmol/L) انسولین ناشتا/ (Mu/Ml) ۵.۲۲

تغذیه و کنترل رژیم غذایی

به همه آزمودنی‌ها توصیه شد در طول دوره تمرین از مصرف هرگونه مکمل به جزء مکمل ارائه شده توسط پژوهشگر و هر نوع گیاه دارویی خودداری نموده و در صورت استفاده به پژوهشگر اطلاع دهند. هم‌چنین از آزمودنی‌ها خواسته شد، توصیه‌های غذایی ارائه شده توسط پژوهشگر که بصورت شفاهی بود را، در طول دوره رعایت نمایند.

پروتکل تمرینی

به‌واسطه عدم پیشینه تمرینی آزمودنی‌ها، جهت تعیین درصدی از حداکثر تکرار (قدرت) هر آزمودنی از فرمول [1RM = (تعداد تکرار) ۰/۰۲ − ۱ / مقدار بار (کیلوگرم)] استفاده شد (۲۸). تمرینات ترکیبی به مدت هشت هفته و شامل ۲ نوبت ۱۲ تکراری تمرین مقاومتی ویژه گروه‌های عضلانی بزرگ با شدت ۷۰ درصد حداکثر تکرار بود.

تمرینات مقاومتی عبارت بودند از: پرس پا، خم کردن زانو، پرس سینه و زیربغل سیم کش. مدت زمان استراحت بین نوبت‌ها، ۲ دقیقه در نظر گرفته شد؛ در ادامه آزمودنی‌ها ۱ نوبت ۱۰ دقیقه‌ای با شدت ۷۰-۷۵ درصد حداکثر قلب ضربان، بر روی نوارگردان دویدند. برای کنترل شدت مورد نظر ضربان قلب، از ضربان سنج پولار استفاده شد. لازم به ذکر است هر جلسه تمرین شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن و ۱۰ دقیقه سرد کردن بود (۲۹).

نحوه مصرف مکمل HMB

مکمل HMB به صورت کپسول‌های یک گرمی (شرکت سازنده: داروسازی و مکمل‌های غذایی حیاتی کارن، کشور ایران) روزانه ۳ گرم به مدت هشت هفته توسط گروه‌های مصرف کننده HMB استفاده و در گروه دارونما از نشاستهٔ برنج در قالب کپسول به‌عنوان دارونما استفاده شد (۳۰).

روش‌های آماری

برای آنالیز داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه‌ی ۲۵ استفاده گردید. برای توصیف داده‌های از آمار توصیفی (میانگین و انحراف‌معیار) و برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده گردید و از آمار استنباطی تی‌همبسته برای مقایسه پیش و پس‌آزمون درون گروهی استفاده شد. جهت مقایسه مقادیر پس از مداخله بین گروه‌ها، به منظور تعدیل مقادیر پیشین از آنالیز کوواریانس و در صورت معنی‌داری از آزمون LSD برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها استفاده گردید. سطح معناداری آزمون آماری نیز $P \leq ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد ($P < ۰/۰۵$).

یافته‌ها

مشخصات اولیه آزمودنی‌ها در هر ۴ گروه مورد مطالعه در جدول۱ ارائه شده است. برای محاسبه، از شاخص‌های آمار توصیفی مانند میانگین و انحراف استاندارد استفاده شد. میانگین و انحراف استاندارد مقادیر HOMA.IR، HDL، LDL و TC آزمودنی‌های گروه‌های مختلف در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون، در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به جدول مشاهده می‌گردد که میانگین مقاومت به انسولین، LDL و TC در گروه‌های تمرین+ مکمل، تمرین+ دارونما، از مرحله پیش‌آزمون تا پس‌آزمون، کاهش و در گروه‌های مکمل HMB و دارونما افزایش یافته اند و میانگین HDL در گروه‌های تمرین+ مکمل و تمرین+ دارونما از مرحله پیش‌آزمون تا پس‌آزمون، افزایش و در گروه‌های مکمل و دارونما کاهش داشته است.

جدول ۱. میانگین ± انحراف استاندارد متغیرهای آزمودنی‌های گروه‌های پژوهش در مرحله پیش و پس‌آزمون و نتایج آزمون‌های آماری

متغیر	گروه / مرحله	تمرین + مکمل انحراف استاندارد±میانگین	تمرین+ دارونما انحراف استاندارد±میانگین	مکمل انحراف استاندارد±میانگین	دارونما انحراف استاندارد±میانگین	p-مقدار بین‌گروهی
سن (سال)	پیش‌آزمون	۱۶/۷۶ ± ۱/۰۹	۱۷/۰۸ ± ۰/۹۹	۱۷/۴۳ ± ۰/۳۲	۱۷/۷۸ ± ۱/۱۶	-
قد(cm)	پیش‌آزمون	۱۶۹/۵۳ ± ۱/۳۹	۱۶۴/۸۴ ± ۱/۲۹	۱۶۵/۳۰ ± ۱/۴۹	۱۶۷/۴۸ ± ۱/۵۹	-
وزن(kg)	پیش‌آزمون	۸۷/۳۵ ± ۱/۰۱	۸۶/۴۷ ± ۱/۰۳	۸۳/۴۲ ± ۱/۰۵	۸۷/۳۶ ± ۱/۰۷	*۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۸۵/۱۲ ± ۱/۰۳	۸۴/۵۲ ± ۱/۰۱	۸۲/۹۲ ± ۱/۰۳	۸۸/۱۲ ± ۱/۰۲	
	p-مقدار درون‌گروهی	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	۰/۰۹۶	۰/۱۵۴	
شاخص توده‌بدنی (kg/m2)	پیش‌آزمون	۳۰/۳۸ ± ۰/۲۹	۳۱/۸۲ ± ۰/۳۹	۳۰/۵۳ ± ۰/۲۹	۳۱/۱۴ ± ۰/۱۹	*۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۲۹/۴۲ ± ۰/۱۸	۳۰/۴۲ ± ۰/۲۸	۳۰/۴۷ ± ۰/۱۸	۳۱/۴۲ ± ۰/۲۸	
	p-مقدار درون‌گروهی	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	۰/۱۰۶	۰/۲۳۱	
HOMA.IR	پیش‌آزمون	۳/۶۸ ± ۰/۳۱	۳/۶۳ ± ۰/۰۹	۴/۰۱ ± ۰/۱۲	۳/۲۵ ± ۰/۰۳	*۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۲/۴۲ ± ۰/۰۳	۲/۴۹ ± ۰/۱۱	۴/۱۳ ± ۰/۰۳	۳/۴۶ ± ۰/۳۹	
	p-مقدار درون‌گروهی	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	۰/۹۷۰	۰/۱۱۲	
HDL (mg/dl)	پیش‌آزمون	۶۶/۱۲ ± ۴/۲۸	۶۴/۴۵ ± ۱۸/۳۴	۶۳/۶۴ ± ۴/۱۰	۷۰/۱۱ ± ۸/۹۰	*۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۱۱۵/۲۷ ± ۳/۳۹	۱۱۷/۴۵ ± ۱۴/۹۸	۷۰/۹۰ ± ۷/۵۵	۶۸/۱۰ ± ۹/۶۱	
	p-مقدار درون‌گروهی	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	۰/۱۱۸	۰/۳۶۸	
LDL (mg/dl)	پیش‌آزمون	۱۱۲/۰۰ ± ۷/۵۷	۱۰۶/۰۰ ± ۹/۸۰	۱۵۲/۰۹ ± ۷/۹۴	۱۱۱/۲۷ ± ۶/۷۵	*۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۳۵ ± ۵/۰۹	۳۹/۴۵۴ ± ۲۶/۳۷	۱۵۷/۲۷ ± ۱۲/۶۵	۱۲۴/۶۴ ± ۱۹/۸۱	
	p-مقدار درون‌گروهی	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	۰/۱۸۲	۰/۰۸۶	
TC (mg/dl)	پیش‌آزمون	۲۰۱/۸۰ ± ۴۲/۷۲	۲۰۲/۶۵ ± ۶۲/۷۰	۲۰۶/۳۸ ± ۵۷/۱۷	۱۶۳/۸۵ ± ۵۹/۹۵	*۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۱۵۴/۹۴ ± ۴۳/۰۹	۱۴۲/۱۷ ± ۵۹/۶۲	۱۹۹/۸۶ ± ۳۱/۵۱	۱۷۷/۸۵ ± ۴۶/۴۵	
	p-مقدار درون‌گروهی	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	۰/۱۳۵	۰/۱۶۵	

*اختلاف در سطح معناداری $P \leq ۰/۰۵$

برای بررسی اثر تمرین ترکیبی و مصرف مکمل بر HOMA.IR، HDL، LDL و TC میانگین پیش و پس‌آزمون متغییرها در گروه‌های پژوهش با استفاده از آزمون تی‌همبسته مقایسه شدند و برای بررسی تغییرات سطوح HOMA.IR، HDL، LDL، TC بین گروه‌های پژوهش، تغییرات هر چهار گروه از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون (اختلاف پیش و پس‌آزمون)، با استفاده از آنالیز کوواریانس مقایسه شد. نتایج این آزمون در جدول ۱ آورده شده است. مطابق جدول۱، مقدار P آزمون تی‌همبسته (آزمون درون گروهی) برای متغییرهای HOMA.IR، HDL، LDL و TC، فقط در گروه‌های تمرین+مکمل و تمرین+دارونما کمتر از ۰/۰۵ شده (P=۰/۰۰۱)، بنابراین تمرین ترکیبی و مصرف مکمل بر مقدار این متغیرها تأثیر معناداری داشته است؛ بطوری‌که اثر تمرین ترکیبی و مصرف مکمل بر مقدار HDL منجر به افزایش معنادار آن و برای HOMA.IR، LDL و TC منجر به کاهش معنادار آن‌ها شده است.

مطابق جدول۱، آنالیز کوواریانس نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار میانگین متغییرهای HOMA.IR، HDL، LDL و TC پس از مداخله بین گروه‌های مورد مطالعه بود (P=۰/۰۰۱)؛ بنابراین پاسخ HOMA.IR، HDL، LDL و TC، آزمودنی‌ها به تمرین ترکیبی و مصرف مکمل HMB در مقایسه با سایر گروه‌های پژوهش تفاوت معناداری دارد. برای مقایسهٔ زوجی گروه‌ها از آزمون تعقیبی LSD استفاده که نتایج در جدول ۲ ارائه شد.

نتایج آزمون تعقیبی LSD نشان می‌دهد سطوح HOMA.IR، LDL، TC، در گروه تمرین + مکمل نسبت به گروه‌های مکمل (P=۰/۰۰۱) و دارونما (P=۰/۰۰۱) به‌طور معناداری کاهش یافته‌اند. اما بین میزان کاهش آن‌ها در گروه تمرین+ مکمل نسبت به تمرین+ دارونما تفاوت معناداری مشاهده نشد. همچنین سطوح HDL در گروه تمرین + مکمل نسبت به گروه‌های مکمل (P=۰/۰۰۲)و دارونما (P=۰/۰۰۳) به‌طور معناداری افزایش یافت. اما بین میزان افزایش آن در گروه تمرین+ مکمل نسبت به تمرین+ دارونما (P=۰/۱۷۸) تفاوت معناداری مشاهده نشد.

جدول۲. آزمون LSD برای متغیر HOMA.IR و HDL برای مقایسه زوجی گروه‌ها

متغیر		گروه‌ها	سطح معنی‌داری
HOMA.IR	تمرین+مکمل	تمرین+دارونما	۰/۹۰۲
		مکمل	۰/۰۰۱ *
		دارونما	۰/۰۰۱ *
HDL (mg/dl)	تمرین+مکمل	تمرین+دارونما	۰/۱۷۸
		مکمل	۰/۰۰۲ *
		دارونما	۰/۰۰۳ *
LDL (mg/dl)	تمرین+مکمل	تمرین+دارونما	۰/۱۰۲
		مکمل	۰/۰۰۱ *
		دارونما	۰/۰۰۱ *
TC (mg/dl)	تمرین+مکمل	تمرین+دارونما	۰/۱۱۰
		مکمل	۰/۰۰۱ *
		دارونما	۰/۰۰۱ *

*اختلاف در سطح معناداری $P \leq ۰/۰۵$

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر سطوح مقاومت به انسولین در گروه‌های تمرین+ مصرف مکمل HMB، تمرین+ دارونما پس از هشت هفته کاهش یافت و بعد از انجام هشت هفته تمرین ترکیبی به همراه مصرف مکمل HMB، سطوح مقاومت به انسولین در هر یک از گروه‌ها تغییر معناداری داشتند؛ و پاسخ مقاومت به انسولین آزمودنی‌های گروه تمرین ترکیبی+ مکمل نسبت به گروه‌های مکمل و دارونما تفاوت معناداری داشت. در این پژوهش کاهش معناداری در سطوح مقاومت به انسولین پس از ۸ هفته مشاهده شد و این کاهش در مقایسه با گروه مکمل و دارونما معنادار بود، یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی تأثیر ۹ هفته تمرین هوازی با شدت متوسط بر میزان مقاومت به انسولین و اشتهای بعد از ورزش در زنان چاق را بررسی کردند، نتایج حاصل از پژوهش تفاوت معناداری را در سطوح مقاومت به انسولین نشان نداد (۲۷). همچنین

Jorge و همکاران (۲۰۱۱) عدم تغییر مقاومت به انسولین را بعد از ۱۲ هفته تمرین استقامتی در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ نشان داد (۳۱). این یافته‌ها با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌سو نبودند؛ نتایج متناقض می‌تواند به علت تفاوت در شدت تمرین، طول مدت تمرین، زمان خون‌گیری، تنوع پروتکل‌های تمرین، سن، تفاوت جوامع آزمودنی‌ها و بیماری باشد. مکانیسم عدم تغییر معنی‌دار در سطوح مقاومت به انسولین پس از مداخله می‌تواند ناشی از ساز و کارهای مؤثر بر هموستاز گلوکز و انسولین در پاسخ به فعالیت بدنی شامل: افزایش فعالیت گلیکوژن سنتاز و هگزوکیناز، افزایش پیام رسانی پس‌گیرنده‌ای انسولین، افزایش پروتئین انتقال دهنده گلوکز، کاهش رهایی و افزایش پاک شدن اسیدهای چرب آزاد، افزایش رهایی گلوکز از خون به عضله به دلیل افزایش چگالی مویرگی و تغییرات در ساختارهای متابولیکی عضله، به‌منظور افزایش برداشت گلوکز باشد (۳۲). ولی با نتایج شهاب و همکاران (۲۰۱۲) (۳۳) و Daividson و همکاران (۲۰۰۹)که بهبود مقاومت به انسولین را پس از ۶ ماه ورزش شامل ۹۰ دقیقه تمرین هوازی و ۶۰ دقیقه تمرین مقاومتی در مردان مشاهده کرده و آن را به کاهش چربی شکمی نسبت می‌دهند (۳۴)، همسو است.

همچنین سطوح HDL در گروه‌های تمرین+ مصرف مکمل HMB و تمرین+ دارونما پس از هشت هفته به‌طور معناداری افزایش یافت، در حالی‌که در گروه‌های مکمل و کنترل کاهش غیر معناداری نشان داد. از طرفی سطوح LDL و کلسترول تام در گروه‌های تمرین ترکیبی+ مصرف مکمل HMB و تمرین ترکیبی+ دارونما پس از هشت هفته به‌طور معناداری کاهش یافت، در حالی‌که در گروه‌های مکمل و دارونما با افزایش غیرمعناداری همراه بود. همچنین پاسخ HDL آزمودنی‌های گروه تمرین ترکیبی+ مصرف مکمل در مقایسه با گروه‌های مکمل و دارونما تفاوت معناداری داشت و پاسخ LDL و کلسترول تام آزمودنی‌های گروه تمرین ترکیبی + مصرف مکمل HMB در مقایسه با گروه‌های مکمل و دارونما پژوهش تفاوت معناداری را نشان داد. نتایج پژوهش حاضر در ارتباط با LDL و TC با پژوهش‌های اسد و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر ۸ هفته تمرین هوازی، مقاومتی و ترکیبی بر میزان کلسترول، HDL، LDL و آمادگی قلبی- تنفسی در مردان چاق (۳۵)، مرادی و همکاران (۱۳۹۳) تأثیر ۸ هفته تمرین مقاومتی و مکمل چای سبز بر عوامل خطرزای قلبی- عروقی در مردان دارای اضافه وزن (۳۶)، یکتافر و همکاران (۲۰۱۰)، مبتنی بر کاهش کلسترول متعاقب فعالیت ورزشی ترکیبی، همسو است (۳۷). در توجیه این تغییرات می‌توان گفت که فعالیت ورزشی منظم، مقدار حداکثر اکسیژن مصرفی (VO2max) و حداکثر سرعت و قدرت را افزایش و موجب کاهش کاهش وزن می‌شود (۳۸). همچنین در افراد جوان بر خلاف افراد مسن، فعالیت بدنی موجب افزایش مصرف انرژی و تغییر در توده چربی بدن می‌شود؛ موضوعی که به نوعی تأییدکننده تأثیر تمرین ترکیبی در کاهش وزن پسران نوجوان این تحقیق می‌باشد (۳۹).

از طرفی تمرین مقاومتی از طریق تأثیر بر بافت چربی و کاهش توده‌ی چربی و جایگزین با توده عضلانی بر ترکیب بدن اثر می‌گذارد. تمرینات ورزشی منظم موجب افزایش بیان ژن‌های آنزیم‌های لیپولیتیک، بتااکسیداسیون، چرخه کربس و زنجیره انتقال الکترون، افزایش چگالی میتوکندری و افزایش فراخوانی چربی به جای کربوهیدرات جهت تولید انرژی می‌گردد؛ بنابراین میزان چربی بدن کاسته شده و منجر به کاهش وزن و نمایه توده بدن می‌شود (۴۰). همچنین کاهش سطوح LDL پس از تمرین ترکیبی می‌تواند به دلیل تأثیری باشد که این‌گونه تمرین بر درصد چربی بدن به دلیل استفاده از چربی به‌عنوان منبع تولید انرژی و بهبود ساز و

کار برداشت و مصرف کلسترول در بافت عضله در اثر تمرین همراه با مصرف مکمل دارد و از شدت و مدت لازم برای تغییر سطوح برخوردار می‌باشد و دیگر اینکه مصرف مکمل مؤثر که نتیجه را مضاعف کرده است (۴۱). اما با نتایج Porente و همکاران (۲۰۰۴) هم‌خوانی ندارد (۴۲). دلیل تناقضات فوق می‌تواند مربوط به شدت و مدت دوره تمرینی، نوع آزمودنی‌ها، سن، جنس، همچنین سطوح بالای اولیه لیپیدهای سرم در آزمودنی‌ها و شرایط فیزیولوژیکی باشد.

نیسن و شارپ (۲۰۰۳)، در مطالعه‌ای مروری نتیجه گرفتند که HMB از حمایت تحقیقی کافی در زمینه کاهش توده چربی و افزایش شاخص‌های عملکردی برخوردار است (۴۳). همّت‌فر و همکاران (۲۰۰۳) اثر مصرف HMB به همراه تمرین منتخب مقاومتی را در کشتی‌گیران مورد مطالعه قرار دادند، نتایج این پژوهش نشان داد که مقادیر LDH و TC در گروه مصرف کننده مکمل به‌طور معنی‌داری کاهش و مقدار HDL در این گروه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۴۴). در مطالعه‌ی Niisen و همکاران اثر مکمل HMB به مدت ۸ هفته روی فاکتورهای قلبی–عروقی منجر به کاهش معنادار در کلسترول تام، کلسترول و فشار خون شد (۴۵). همچنین تغییرات لیپیدهای سرمی در این پژوهش ممکن است با مکانیسم اثر احتمالی HMB بر شاخص‌های پروفایل لیپیدی با روند تکثیر، تمایز و تلفیق سلول‌های ماهوارهای در عضلات اسکلتی که احتمالاً در اکسیداسیون چربی نقش بسزایی دارد. این اثر، برایند مجموعه‌ای از واکنش‌های زنجیره‌ای رخداد می‌باشد که در آن بتاهیدروکسی‌بتامتیل‌گلوتارات‌کوآنزیم‌آ (HMG-CoA) در میتوکندری تولید شده و بتاهیدروکسی‌بتا-متیل‌گلوتارات‌کوآنزیم‌آ رداکتاز، مهار می‌گردد؛ که نقش مهمی در افزایش کارآمدی متابولیک، افزایش چربی‌سوزی در بافت چربی و افزایش ظرفیت اکسیداسیون اسید چرب در عضله اسکلتی می‌گردد (۴۶). نکته حائز اهمیت در ارتباط با مصرف این مکمل آن است که تأثیرگذاری و سازگاری آن در افراد تمرین نکرده نسبت به تمرین کرده با سرعت بیشتری رخ می‌دهد (۴۷).

کنترل پروتکل‌ها و حذف تأثیر متغیرهای مزاحم از نکات قوت و عدم بررسی سایر آنزیم‌ها از محدودیت‌های پژوهش حاضر بودند؛ همچنین محققین تلاش کردند رژیم غذایی آزمودنی‌ها را تا حدودی کنترل نمایند و به آن‌ها توصیه شد که برنامه رژیم غذایی تعیین شده را رعایت و حتی الامکان از رژیم غذایی مشخص شده استفاده کنند و از هر گونه تمرینات منظم ورزشی غیر از پروتکل تمرینی خودداری کنند، اما کنترل دقیق این موارد در مطالعات انسانی میسر نیست. نهایتاً پیشنهاد می‌شود برای ارزیابی بهتر اثرات مکمل و دسترسی به پاسخ‌های قابل اعتماد، در طراحی مطالعات بعدی مواردی همچون افزایش حجم نمونه، تغییر دوز مکمل و تغییر جنسیت نمونه مد نظر قرار گیرند.

در این پژوهش ۸ هفته تمرین ترکیبی و مصرف مکمل HMB تغییر معناداری را در سطوح مقاومت به انسولین ایجاد کرد و باعث کاهش معنادار LDL و کلسترول تام و افزایش معنادار HDL آزمودنی‌ها شد. به‌طور کلی یافته‌های این پژوهش نشان داد که پاسخ مقاومت به انسولین، LDL، TC و HDL آزمودنی‌ها به تمرین ترکیبی همراه با مصرف مکمل HMB در مقایسه با گروه‌های مکمل و دارونما تفاوت معناداری دارند. در نتیجه در کنار تمرینات ورزشی می‌توان از مکمل HMB به‌عنوان عامل مداخله‌گر در بهبود اضافه وزن و چاقی استفاده کرد. از آنجا که مطالعه حاضر از معدود پژوهش‌های انجام شده درباره اثر تمرینات ورزشی بر روی سطوح مقاومت به انسولین در پسران دارای اضافه وزن و چاق است، بنابراین مطالعات بیشتری لازم است تا به‌طور عمیق‌تر سازوکارهای مؤثر بر تغییرات این متغیرها را در

واکنش به فعالیت‌های ورزشی در افراد چاق مورد بررسی قرار گیرد. همان‌گونه که نتایج نشان داده مصرف مکمل HMB تأثیر بسزایی در کاهش میزان نیم‌رخ لیپیدی داشته به همین سبب توصیه می‌شود، پسران نوجوان که فعالیت‌های ورزشی کمی دارند، می‌توانند از مکمل HMB در رژیم غذایی روزانه خود استفاده نمایند.

تشکر و قدرانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان و تمامی دانش آموزان عزیزی که داوطلبانه و با رضایت شخصی در اجرای این تحقیق، همکاری صمیمانه داشتند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

نویسندگان این مطالعه تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافع و منابعی در این مطالعه وجود ندارد.

حمایت مالی

پژوهش حاضر از حمایت مالی دانشگاه سیستان و بلوچستان برخوردار بوده است.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه‌ی بخش‌های این تحقیق نقش یکسان داشته‌اند.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش حاصل پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد گرایش فیزیولوژی ورزشی دانشگاه سیستان و بلوچستان است که قبل از انجام پژوهش در گروه علوم ورزشی دانشگاه با کد اخلاق ۱۹۸۶۰ مورد تأیید و تصویب قرار گرفت، پس از آگاهی کامل آزمودنی‌ها از نحوه اجرای پژوهش، رضایت‌نامه کتبی را امضا کردند. نتایج آزمایش‌ها به اطلاع هر یک از آزمودنی‌ها رسید و داده‌ها نزد پژوهشگر محفوظ ماند.

References

1. Pereira AA, Santos GFSE, Baganha RJ, de Oliveira JJ, Crisp AH, de Souza e Silva A, et al. Effects of aerobic training versus resistance training on body composition and systemic biochemical parameters of overweight or obese adults. J Exerc Physiol. 2018;21(2):227-40. Link
2. Nehme R, Chervet A, Decombat C, Longechamp L, Rossary A, Boutin R, et al. aspalathus linearis (rooibos) targets adipocytes and obesity-associated inflammation. Nutrients. 2023;15(7):1751. DOI: 10.3390/nu15071751
3. Bonyadi M, Abedi B. The effect of aerobic training and pomegranate supplementation on lipid peroxidation and some adhesion molecules in obese women. Health Dev J. 2020;8(4):371-83. DOI: 10.22034/8.4.371
4. Wilcox G. Insulin and insulin resistance. Clin Biochem Rev. 2005;26(2):19-39. Link
5. Agstino RB, Vasan RS, Pencina MJ, Wolf PA, Cobain M, Massaro JM, et al. General cardiovascular risk profile for use in primary care the framingham heart study. Circulation. 2008;117:743-53. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.699579
6. Ismaiel A, Ciobanu OS, Ismaiel M, Leucuta DC, Popa SL, David L, et al. Atherogenic index of plasma in non-alcoholic fatty liver disease: systematic review and meta-analysis. Biomedicines. 2022;10(9):2101. DOI: 10.3390/biomedicines10092101
7. Tabrizi JS, Sadeghi-Bazargani H, Farahbakhsh M, Nikniaz L, Nikniaz Z. Prevalence and associated factors of overweight or obesity and abdominal obesity in Iranian population: a population-based study of northwestern Iran. Iran J Public Health. 2018;47(10):1583-92. Link
8. McIntosh ND, Love TD, Haszard JJ, Osborne HR, Black KE. Response to effects of reactiv "maximum betahydroxy beta-methylbutyrate" on body mass and performance in elite male rugby players. J Strength Cond Res. 2018;32(12): e59. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002921
9. Ostaszewksi P, Kostiuk S, Balasinska B, Jank M, Papet I, Glomot F. The leucine metabolite 3- hydroxy- 3- methylbutyrate (HMB) modifies protein turnover in muscle of the laboratory rats and domestic chickens in vitro. J Animal Physiol Animal Nurtr. 2000;84(1-2): 1-8. DOI:10.1046/j.1439-0396.2000.00272.x
10. Smith HJ, Mukerji P, and Tisdale. MJ, Attenuation of proteasome induced proteolysis in skeletal muscle by {beta}-hydroxy-{beta}-methylbutyrate in cancer-induced muscle loss. Cancer Res. 2005;65(1): 277-83. Link
11. Sanchez-Martinez J, Santos-Lozano A, Garcia-Hermoso A, Sadarangani KP, Cristi-Montero C. Effects of betahydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in trained and competitive athletes: A meta-analysis of randomized controlled trials. J Sci Med

Sport. 2018;21(7):727-35.
DOI: 10.1016/j.jsams.2017.11.003

12. Tladi D, Onyewadume I, Hubona O. Effects of a 12-week worksite aerobic dance programme on blood glucose and lipids in public service employees. AJPHES. 2019;25(4):533-46. Link
13. Follador L, Alves RC, Ferreira SDS, Buzzachera CF, Andrade VFDS, Garcia EDDA, et al. Physiological, perceptual, and affective responses to six high-intensity interval training protocols. Perceptual and motor skills. Percept Mot Skills. 2018;125(2):329-50.
DOI: 10.1177/0031512518754584
14. Feito Y, Patel P, Sal Redondo A, Heinrich KM. Effects of eight weeks of high intensity functional training on glucose control and body composition among overweight and obese adults. Sports. 2019;7(2):51. DOI:10.3390/sports7020051
15. Dolati S, Namiranian K, Amerian R, Mansouri S, Arshadi S, Azarbayjani MA. The effect of curcumin supplementation and aerobic training on anthropometric indices, serum lipid profiles, C-reactive protein and insulin resistance in overweight women: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. J Obes Metab Syndr. 2020;29(1):47. DOI: 10.7570/jomes19055
16. Willey KA, Singh MAF. Battling insulin resistance in elderly obese people with type 2 diabetes: bring on the heavy weights. Diabetes Care. 2003;26(5):1580-8. DOI: 10.2337/diacare.26.5.1580
17. Eves ND, Plotnikoff RC. Resistance training and type 2 Diabetes: Considerations for implementation at the population level. Diabetes Care. 2006;29: 1933-41. DOI: 10.2337/dc05-1981
18. Choi KM, Kim J, Cho GJ, Baik SH, Park HS, Kim SM. Effect of exercise training on plasma visfatin and eotaxin levels. Eur J Endocrinol. 2007;157(4):437-42. DOI:10.1530/EJE-07-0127
19. Calle MC, Fernandez ML. Effects of resistance training16 on the inflammatory response. Nutr Res Pract. 2010;4(4): 259-69. DOI: 10.4162/nrp.2010.4.4.259
20. Qorbani Ganjeh Z, Gholami M, Nikbakht H. Effect of resistance training with different intensities on adiponectin and lipid profiles in overweight women. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2019; 8(4):47-55. (In Persian) Link
21. Zoalfaghari F, haghighi AH, hamedinia MR. The effect of circuit resistance exercise before exhausting running on treadmill on fat, carbohydrate metabolism and energy expenditure in overweight and obese girls. J Sabzevar Univ Med Sci. 2020;27(3):356-61. Link
22. Miladi Qomi H, Abedi B, Ramazani S. The effect of a period circular resistance training on serum perptin level and insulin resistance in men with type 2 diabetes. J Sports Biosci. 2021;13(3):383-97. DOI:10.22059/jsb.2021.321277.1462
23. Nogueira Silva Lima MT, Boulanger E, Tessier FJ, Takahashi JA. Hibiscus, rooibos, and yerba mate for healthy aging:

a review on the attenuation of in vitro and in vivo markers related to oxidative stress, glycoxidation, and neurodegeneration. Foods. 2022;11(12):1676.
DOI: 10.3390/foods11121676

24. Howatson G, Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. Sports Med. 2008;38(6):483-503.
DOI: 10.2165/00007256-200838060-00004
25. Panton LB, Rathmacher JA, Baier S, Nissen S. Nutritional supplementation of the leucine metabolite β-hydroxy-β-methylbutyrate (HMB) during resistance training. Nutrition. 2000;16(9): 734-9.
DOI: 10.1016/s0899-9007(00)00376-2
26. Slater G, Jenkins D, Logan P, Lee H, Vukovich M, Rathmacher JA, et al. β-hydroxy-β-methylbutyrate (HMB) supplementation does not affect changes in strength or body composition during resistance training in trained men. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2001;11: 384-96.
DOI: 10.1123/ijsnem.11.3.384
27. Yarahmadi H, Haghighi A H, Shojaei M, Beheshti Nasr S M. Effect of aerobic training on appetite and insulin resistance index in obese women. Intern Med Today 2014; 20 (1) :9-15. http://imtj.gmu.ac.ir/article-1-1774-fa.html
28. Talebi Gorgani E, Safrazadeh AR, Fathi R. ACSM health-related physical fitness evaluation guide. Publications of Mazandaran University; 2013. Link
29. Arazi H, Jorbonian A, Asghari E. Comparison of concurrent (resistance-aerobic) and aerobic training on vo2max lipid profile, blood glucose and blood pressure in middle-aged men at risk for cardiovascular disease. JSSU. 2014;20(5):627-38. Link
30. Narimani A. The effect of short-term use of HMB supplement on changes in creatine phosphokinase level after selected exercise protocol in non-athletic women, Master's thesis, Payam Noor University, 2019. (In Persian). Link
31. Jurge ML, Oliveira VN, Resende NM, Paraiso LF, Calixto A, Diniz AL, et al. The effects of aerobic, resistance and combined exercise on metabolic control, inflammatory markers, adipocytokines and muscle insulin signaling in patients with type 2 diabetes mellitus. Metabolism. 2011;60(1):1244-52.
DOI: 10.1016/j.metabol.2011.01.006
32. Muller CJF, Joubert E, Chellan N, Yagasaki K. New insights into the efficacy of aspalathin and other related phytochemicals in type 2 diabetes- a review. Int J Mol Sci. 2022; 23(1):356.
DOI: 10.3390/ijms23010356
33. Abd El-Kader SM. Aerobic versus resistance exercise training in modulation of insulin resistance, adipocytokines and inflammatory cytokine levels in obese type 2 diabetic patients. J Adv Res. 2011;2(2):179-83.
DOI:10.1016/j.jare.2010.09.003
34. Davidson LE, Hudson R, Kilpatrick K, Kuk JL, McMillan K, Janiszewski PM, et al. Effects of exercise modality on insulin resistance and functional limitation in

older adults: a randomized controlled trial. Arch Intern Med. 2009;169(2):122-31. DOI: 10.1001/archinternmed.2008.558

35. Asad MR. Effect of 8 weeks of aerobic, resistance and concurrent training on cholesterol, LDL, HDL and cardio-respiratory fitness in obese men. Appl Res Sports Manag . 2013;1(3):57-63. Link
36. Moradi H, Ahmadi Kani Golzar F, Arabzadeh Qahiyazi H, Asjadi, F, Rizvan K. The effect of 8 weeks of resistance training and green tea supplementation on cardiovascular risk factors in overweight men. J Shahrekord Univ Med Sci. 2014;16(4):77-87. Link
37. Yektafar M, Mohammad S, Ahmadi K, Mojgan H, Khodamradpor M. Compare the effects of resistance exercise, endurance and combination on lipid profiles in men aged of non. athletic middle. aged men. Sci J Kurdistan Univ Med Sci. 2010;16(4): 26-36. Link
38. Chtara M, Chamari K, Chaouachi M, Chaouachi A, Koubaa D, Feki Y, et al. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. Br J Sports Med. 2005; 39(8):555-60. DOI: 10.1136/bjsm.2004.015248
39. Ekelund U, Brage S, Franks P W, Hennings S, Emms S, Wong M Y, Wareham NJ. Physical activity energy expenditure predicts changes in body composition in middle-aged healthy whites: effect modification by age, Am J Clin Nutr. 2005;81(5):964-9. DOI: 10.1093/ajcn/81.5.964
40. Bagadam M, Abed Natanzi H, Nikbakht HA. The effect of 8 weeks of circuit resistance training on plasma levels of chemerin and c-reactive protein in obese men. J Appl Exerc Physiol. 2015;12(23):161-72. DOI:10.22080/jaep.2016.1317
41. Banz WJ, Maher MA, Thompson WG, Bassett DR, Moore W, Ashraf M, et al. Effects of resistance versus aerobic training on coronary artery disease risk factors. Exp Biol Med (Maywood). 2003;228(4):434-40. DOI: 10.1177/153537020322800414
42. Parente B, Guazzelli I, Ribeiro MM, Silva A. Obese children lipid profile: effects of hypocaloric diet and aerobic physical exercise. J Bras Endocrinol Metabol. 2006;50(3):499–504. DOI: 10.1590/s0004-27302006000300013
43. Hakkinen K, Alen M, Kreamer WJ, Gorostiaga E, Lzquierdo M, Rusko H, et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. Eur J Appl Physiol. 2003;89(1):42-52. DOI: 10.1007/s00421-002-0751-9
44. HematFar A, Azadi M, Malek F. The effect of supplemental consumption with selected resistance training on some of wrestlers blood biochemical factors. JSB. 2011;1(1):55-62. https://sid.ir/paper/240475/en
45. Nissen S, Sharp RL. Effect of dietary supplements on lean mass and strength gains with resistance exercise: a meta-

analysis. J Appl Physiol. 2003;94(4):651-9. DOI: 10.1152/japplphysiol.00755.2002

46. Coelho CW, Carvalho T. Effects of HMB supplementation on LDL-cholesterol, strength and body composition of patients with hypercholesterolemia. Med Sci Sports Exerc. 2001;3(5):S340. DOI:10.1097/00005768-200105001-01912
47. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Andersen JC, Wilson SM, Stout JR, et al. The effects of 12 weeks of betahydroxy-beta-methylbutyrate free acid supplementation on muscle mass, strength, and power in resistance-trained individuals: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. Eur J Appl Physiol. 2014;114(6):1217-27. DOI: 10.1007/s00421-014-2854-5