The effects of endurance training and whey protein supplementation on inflammation and insulin resistance in the rats fed with high-fat diet

Ahmadi-Kani Golzar F., PhD Student[1], Fathi R., PhD[2], Mahjoub S., PhD [3]

1. PhD student of Exercise Physiology, Exercise Biochemistry Division, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

2. Associate Professor of Exercise Physiology, Exercise Biochemistry Division, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran (Corresponding Author), Tel:+98-11-35302201, r.fathi@umz.ac.ir

3. Professor in Clinical Biochemistry, Cellular and Molecular Biology Research Center, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran.

ABSTRACT

Background and Aim: Whey protein has been known to be an excellent prophylactic agent against obesity. The aim of this study was to assess the effect of endurance training and whey protein supplementation on TNF-α levels and insulin resistance in the rats fed with high-fat diet.

Materials and Methods: In the first phase of the study, 40 male Wistar rats were randomly assigned to two groups: one group was fed with standard chow (n = 8) and the other group with high fat diet (HFD) (n = 32). After 9 weeks, in the second phase of our study, HFD rats were randomly assigned to 4 groups: (1) control, (2) whey supplementation, (3) endurance training and (4) endurance training + whey supplementation groups. Each group consisted of 8 rats. Endurance training protocol was performed for 10 weeks (5days/wk, 1hr/day, 21m/min, and 15% grade). Data were analyzed by Mann–Whitney U test (to compare normal control group and control high-fat diet group) and two way ANOVA.

Results: Body weight (P=0.009), adipose tissue (P=0.002), insulin resistance (P=0.045) and TNF-α level (P=0.022) were significantly higher in HFD sedentary rats, compared to those in the rats in normal diet control group. Adipose tissue weight (P=0.02), blood glucose (P=0.006), insulin (P=0.0003), insulin resistance index (P=0.00021), and TNF-α level in adipose tissue (P=0.039) in whey supplemented groups were lower than those in the non-supplemented groups. Also, body weight (P=0.017), adipose tissue weight (P=0.001), adipose tissue TNF-α level (P=0.001) in the training groups were lower than those in the control group.

Conclusion: Whey protein supplementation led to improvement of high-fat diet-induced insulin resistance and decreased inflammation. Endurance training also reduced inflammation in adipose tissue.

Keywords: Whey protein, Inflammation, Insulin resistance, High-fat diet.

Received: Jan 24, 2017 **Accepted:** Apr 30, 2017

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان / دوره بیست و دوم / مهر و آبان ۱۳۹۶ /۹۰-۸۰

تأثیر تمرین استقامتی و مکمل پروتئین whey بر التهاب و مقاومت انسولینی در موش‌های صحرایی تغذیه‌شده با غذای پرچرب

فرهاد احمدی کانی گلزار[۱]، رزیتا فتحی[۲]، سلیمان محجوب[۳]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، شاخه بیوشیمی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

۲. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، شاخه بیوشیمی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران (مولف مسوول)، تلفن ثابت:۳۵۳۰۲۲۰۱-۰۱۱، r.fathi@umz.ac.ir

۳. استاد بیوشیمی بالینی، مرکز تحقیقات زیست شناسی سلولی و مولکولی، دانشگاه علوم پزشکی بابل، بابل، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: پروتئین whey به‌عنوان یک پیشگیری‌کننده بسیار عالی در برابر چاقی شناخته شده است. هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر تمرین استقامتی و مکمل پروتئین whey بر سطوح TNF-α و مقاومت انسولینی در رت‌های تغذیه شده با غذای پرچرب می باشد.

روش بررسی: ۴۰ سر رت نر نژاد ویستار در فاز اول تحقیق به دو گروه تقسیم شدند: ۱-رژیم غذایی استاندارد (۸ سر)، ۲-رژیم غذایی پرچرب (۳۲ سر). پس از ۹ هفته، در فاز دوم موش‌های تغذیه شده با غذای پرچرب به ۴ گروه (۸ سر در هر گروه) تقسیم شدند: ۱-کنترل، ۲ مکمل whey، ۳-تمرین استقامتی، ۴-مکمل whey + تمرین استقامتی. تمرین استقامتی به مدت ۱۰ هفته با سرعت ۲۱ متر در دقیقه با شیب ۱۵ درصد برای ۶۰ دقیقه در روز و ۵ روز در هفته انجام شد. داده ها با استفاده از آزمون من ویتنی (مقایسه گروه کنترل نرمال و کنترل غذای پرچرب) و آنالیز واریانس دوطرفه تجزیه تحلیل شدند.

یافته ها: در گروه کنترل غذای پرچرب مقادیر وزن بدن (P=۰/۰۰۹) و بافت چربی (P=۰/۰۰۲)، مقاومت به انسولین (P=۰/۰۴۵)، TNF-α (P=۰/۰۲۲) نسبت به گروه غذای استاندارد بالاتر بود. وزن بافت چربی (P=۰/۰۲)، گلوکز (P=۰/۰۰۶)، انسولین (P=۰/۰۰۰۳)، شاخص مقاومت به انسولین (P=۰/۰۰۰۲۱) و سطوح TNF-α بافت چربی (P=۰/۰۳۹) در گروه های مصرف کننده whey نسبت به گروه های بدون مصرف مکمل کمتر بود. همچنین وزن بدن (P=۰/۰۱۷)، وزن بافت چربی (P=۰/۰۰۱) و سطوح TNF-α بافت چربی (P=۰/۰۰۱) در گروه های تمرین کرده نسبت به گروه های کنترل کمتر بود.

نتیجه‌گیری: مصرف مکمل whey منجر به بهبود مقاومت انسولینی ناشی از غذای پرچرب و کاهش التهاب گردید. همچنین تمرین استقامتی التهاب بافت چربی را کاهش داد.

کلید واژه ها: پروتئین whey، التهاب، مقاومت به انسولین، غذای پرچرب

وصول مقاله:۹۵/۱۱/۵ اصلاحیه نهایی:۹۶/۱/۳۰ پذیرش:۹۶/۲/۱۰

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

مقدمه

چاقی به یک اپیدمی در سراسر جهان تبدیل شده است و منجر به افزایش وقوع بیماری‌های مرتبط با چاقی، ازجمله دیابت نوع ۲ و بیماری‌های قلبی عروقی می‌شود (۱). مقاومت به انسولین از ویژگی‌های مشخص چاقی و دیابت نوع ۲ است. مطالعات نشان داده‌اند که التهاب نقش مهمی در شروع و توسعه مقاومت به انسولین دارد که مسئول توسعه چاقی و دیابت نوع ۲ می‌باشد (۲و۱). مطالعات مدل حیوانی تفسیرهای علمی مهمی را ارائه می‌کند که چگونه غذاها و اجزای مواد غذایی ممکن است افزایش وزن و چاقی را تحت تأثیر قرار دهد (۳). موش‌ها، مانند انسان، وقتی رژیم غذایی پرچرب مصرف کنند دچار افزایش وزن بدن و چاقی می‌شوند (۴). حیواناتی که برای مدت‌زمان طولانی با غذای پرچرب تغذیه شدند، افزایش التهاب بافت چربی را نشان دادند که با نفوذ ماکروفاژها و آزادسازی آدیپوکاین ها مشخص می‌شود (۵). چنین التهابی در بافت چربی با مقاومت انسولینی ارتباط دارد (۶).

به‌منظور طراحی استراتژی‌هایی برای کاهش عوامل خطر مرتبط با چاقی، عوامل مهمی که ممکن است از توسعه چاقی جلوگیری کنند، باید شناسایی شوند (۷). چند راه‌حل دارویی برای التهاب ناشی از بافت چربی وجود دارد. تیازولیدین‌دیون‌ها[1] با هدف قرار دادن بافت چربی و التهاب سیستمیک اگرچه باعث بهبود حساسیت به انسولین می‌شوند، اما چندین عوارض جانبی نامطلوب ازجمله افزایش وزن دارند؛ بنابراین، تعیین مداخلات رفتاری که موجب کاهش التهاب بافت چربی می‌گردد اولویت بیشتری برای سلامت عمومی دارد (۶). همچنین نگرانی‌ها در مورد اثرات سمی مداخله دارویی ما را ترغیب به بررسی استراتژی‌های بالقوه مداخله در رژیم غذایی و ورزش نمود.

اگرچه تغییر در شیوه زندگی مانند کاهش انرژی و دریافت چربی و ورزش منظم همیشه توصیه می‌شود(۴)، شواهد در حال رشد ارتباط معکوس بین دریافت بالای محصولات لبنی و ابتلا به دیابت نوع ۲، چاقی و بیماری‌های مرتبط با چاقی در مطالعات انسانی و حیوانی را نشان می‌دهد (۸). شیر حاوی دو منبع اصلی پروتئین، کازئین (۸۰٪) و آب‌پنیر (whey) (۲۰٪) است. پروتئین whey محبوب‌ترین مکمل پروتئین فروخته‌شده در قالب پودر است. پروتئین whey حاوی فاکتورهای بیواکتیو و آنزیم‌ها می‌باشد. گزارش شده است اجزای بیولوژیکی whey و پودر ایزوله آن فواید آنتی‌اکسیدانی، تنظیم متابولیسم چربی، ضد خستگی و خواص ضد دیابتی دارد (۱۱-۹).

پروتئین whey به دلیل ارزش بیولوژیکی بالا به‌واسطه پپتیدهای زیستی فعال آن به‌عنوان یک پیشگیری‌کننده بسیار عالی در برابر چاقی شناخته شده است (۱۲). تعداد فزآینده‌ای از مطالعات اثرات سودمند مصرف پروتئین whey در افراد چاق، بیماران دیابتی نوع ۲ و رت‌های مقاوم در برابر انسولین را از طریق کاهش وزن، کاهش توده چربی، افزایش توده بدون چربی افزایش سیری و تنظیم حساسیت به انسولین نشان دادند (۱۳و۷). همچنین اثرات مفید پروتئین whey را بر میزان متابولیسم پایه، افزایش متابولیسم چربی و مقاومت انسولینی در موش‌های چاق ناشی از غذای پرچرب نشان داده‌شده است (۷و۴). پروتئین whey همچنین ممکن است خواص ضدالتهابی داشته باشد. نتایج تحقیقات اثرات ضدالتهابی پروتئین whey را در سالمندان مبتلا به سکته مغزی ایسکمیک حاد (۱۴)، در موش‌ها با سرکوب التهاب کبد (۱۵) و در بیماری التهابی مزمن انسدادی ریه[2] (COPD) با کاهش IL-6، IL-8، TNF-α در این بیماران (۱۶) نشان داده اند. این یافته‌های دلگرم‌کننده می‌تواند در سایر بیماری‌های ناشی از التهاب مورد مطالعه قرار گیرند.

از طرف دیگر، فعالیت بدنی به‌عنوان یک عامل کلیدی دیگر ممکن است خطر ابتلا به چاقی را کاهش دهد. ورزش

[1] Thiazoladinediones

[2] Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

متوسط با افزایش هزینه انرژی می‌تواند وزن بدن، مقاومت انسولینی، اختلالات چربی خون و التهاب را در افراد چاق کاهش دهد و منجر به افزایش حساسیت انسولینی و کنترل قند خون گردد (۱۷). از سوی دیگر، شواهد نشان می‌دهد که تمرین ورزشی دارای اثرات ضدالتهابی با کمترین عوارض جانبی در عضلات اسکلتی، بافت چربی و احتمالاً کبد می‌باشد (۱۸). کاهش التهاب بافت چربی در مدل‌های حیوانی نشان می‌دهد که ورزش ممکن است یک روش درمانی مفید باشد (۱۹). اگرچه مکانیسم‌های مسئول این اثر شناخته شده نیست (۲۰و۱۷). در یک مطالعه، Bradley و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که ورزش اختیاری بیان سایتوکاین‌های التهابی TNF-α و پروتئین جذب کننده شیمیایی مونوسیت (MCP-1)[3] بافت چربی در موش‌های چاق تغذیه شده با غذای پرچرب را کاهش می‌دهد (۲۰).

اگرچه مطالعات معدودی اثر مکمل whey را بر شاخص‌های التهابی در کوتاه مدت بررسی کرده‌اند، اما اثر مکمل whey بر التهاب بافت چربی و مکانیسم های اثر ضدالتهابی آن به‌خوبی روشن نشده است. علاوه بر این در ارتباط با تأثیر ترکیب تمرین ورزشی و مکمل پروتئین whey بر التهاب بافت چربی و مقاومت انسولینی مطالعه ای انجام نشده است؛ بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر تمرین استقامتی با شدت متوسط و مکمل پروتئین whey ایزولات بر سطوح پروتئین التهابی TNF-α در بافت چربی و خون محیطی و مقاومت انسولینی در رت‌های با غذای پرچرب می باشد.

روش بررسی

حیوانات و طرح تحقیق: ۴۰ سر رت نر نژاد ویستار با سن چهار هفته با میانگین وزن اولیه ۱۷/۱ ± ۱۴۵ از انستیتو پاستور خریداری شد و به تعداد ۴ سر در هر قفس پلی‌اتیلنی مخصوص رت با دسترسی آزادانه آب و غذا در درجه حرارت کنترل شده ۲۴-۲۶ درجه سانتیگراد و چرخه روشنایی- تاریکی ۱۲ ساعته (روشنایی از ساعت ۵:۰۰ تا ساعت ۱۷:۰۰) نگهداری شدند. تمام آزمایشات توسط کمیته اخلاق در دانشگاه مازندران مورد تایید قرار گرفت. پس از سپری شدن یک هفته به‌منظور سازش با محیط جدید، در فاز اول رت‌ها به دو گروه تقسیم شدند: ۱-رژیم غذایی استاندارد (۸ سر موش)، ۲-رژیم غذایی پرچرب (۳۲ سر موش) و به مدت ۹ هفته با رژیم غذایی پرچرب (۶۲/۱ کیلوکالری انرژی از چربی) و یا رژیم غذایی استاندارد (۱۰/۴ کیلوکالری انرژی از چربی) تغذیه شدند. سپس در فاز دوم، موش‌های گروه تغذیه شده با رژیم غذایی پرچرب به ۴ گروه (۸ سر در هر گروه) تقسیم شدند: ۱-کنترل، ۲-مکمل whey، ۳ تمرین استقامتی، ۴-مکمل whey + تمرین استقامتی به مدت ۱۰ هفته. گروه کنترل تغذیه شده با غذای استاندارد نیز تا پایان ۱۹ هفته تحت رژیم غذایی استاندارد قرار گرفتند.

روش تهیه رژیم غذایی پرچرب: غذای استاندارد به صورت پلت (غذای موش) و پودر از شرکت تولید کننده خوراک دام بهپرور خریداری شد. غذای پرچرب (۶۰ درصد کیلوکالری از چربی) بر اساس رژیم غذایی D12492، تهیه شد (۲۱). غذای پرچرب در هر کیلوگرم حاوی ترکیبی از ۶۷۲ گرم پودر غذای استاندارد، ۶۸ گرم ساکارز، ۳/۱ گرم مخلوط ویتامین، ۳/۱ گرم مخلوط مینرال و ۲۴۰ گرم روغن ذوب شده دنبه گوسفند (به جای چربی خوک[4] جایگزین شد) بود. پس از مخلوط کردن پودر غذای استاندارد با ساکارز، مخلوط ویتامین و مینرال در روغن حل شد و به مواد خشک مخلوط شده اضافه شد. سپس مقداری آب ولرم به آن اضافه شد تا به صورت خمیری تبدیل شود و با استفاده از دستگاه پلت ساز دستی به صورت پلت تبدیل و خشک گردید. رژیم ساخته شده در کیسه های یک کیلوگرمی تقسیم شدند و تا زمان مصرف در فریزر ۲۰-

[3] Monocyte Chemoattractant Protein-1 (MCP-1)

[4] Lard

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

نگهداری شدند. غذای پرچرب هر هفته تهیه می شد. مقدار پروتئین رژیم های غذایی به روش کجلدال، میزان کربوهیدرات با استفاده از هیدرولیز اسیدی و به روش فهلینگ و درصد چربی تام رژیم ها به روش استخراج با حلال (سوکسله) اندازه گیری شد. نتایج آنالیز رژیم های غذایی نشان داد که غذای استاندارد شامل ۱/۲۳ درصد پروتئین، ۳/۴ درصد چربی و ۶۰ درصد کربوهیدرات بود. غذای پرچرب دارای ۲۰ درصد پروتئین، ۴/۳۱ (۱/۶۲ کیلو کالری) چربی و ۷/۳۵ درصد کربوهیدارت بود.(۲۲و۲۱).

مکمل پروتئین whey: به موش های گروه‌های دریافت‌کننده مکمل ۳۰ دقیقه بعد از ورزش پروتئین whey محصول شرکت اوپتیموم (GOLD STANDARD (WHEY; Optimum Nutrition, Inc., USA به‌صورت تغذیه دهانی (گاواژ) داده شد. مکمل whey در آب مقطر حل شد. مقدار توصیه‌شده استفاده از whey برای انسان حدود ۲۰ گرم در هر وعده مصرف با یک رژیم غذایی طبیعی و برنامه ورزشی است (۹). دوز whey رت (۲/۰۵ g.kg) مورداستفاده در این مطالعه از یک دوز معادل انسان بر اساس سطح بدن با استفاده از فرمول برآورد شد. با فرض وزن انسان ۶۰ کیلوگرمی، دوز معادل انسانی ۲۰ گرم برای یک فرد ۶۰ کیلوگرمی (۰/۳۳۳ گرم بر کیلوگرم وزن بدن) = ۰/۳۳۳ × ۶/۱۷ = دوز رت ۲/۰۵ گرم بر کیلوگرم؛ ضریب تبدیل ۶/۱۷ برای محاسبه تفاوت در سطح رویه بدن بین رت و انسان استفاده شد (۹).

پروتکل تمرینی: تمرین ورزشی در اولین ساعات چرخه تاریکی (چرخه فعالیت موش‌ها) انجام شد. تمرین روی یک نوارگردان موتوردار انجام شد. به منظور آشناسازی یک هفته قبل از اجرای پروتکل تمرینی حیوانات به مدت سه جلسه با سرعت ۱۰ متر بر دقیقه برای ۱۰ دقیقه بر روی نوارگردان دویدند. پروتکل تمرین استقامتی با سرعت اولیه ۱۵ متر در دقیقه با شیب ۱۵ درصد (۸ درجه) برای ۵ دقیقه در روز اجرا شد و مدت و سرعت به صورت تدریجی به میزان ۲-۳ دقیقه در روز و ۱-۲ متر بر دقیقه در هفته تا رسیدن به سرعت ۲۱ متر در دقیقه با شیب ۱۵ درصد برای ۶۰ دقیقه در روز و ۵ روز در هفته افزایش یافت که در هفته چهارم به این سرعت رسیدند و تا پایان دوره تمرین این شدت ثابت ماند. این سرعت با شدت ۶۵-۷۰٪ حداکثر اکسیژن مصرفی برابر می باشد (۲۳).

روش بافت برداری و اندازه‌گیری متغیرها: ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی و بعد از ۸ ساعت ناشتایی رت‌ها با تزریق درون صفاقی ترکیبی از کتامین (۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و زایلازین (۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بی‌هوش شدند و سپس با خارج کردن قلب قربانی شدند. بافت چربی اپیدیدیمال (احشایی) بلافاصله برداشته شد و وزن‌کشی گردید و بلافاصله در ازت مایع (دمای ۱۸۰- درجه) منجمد شده و در دمای ۸۰- درجه نگهداری شد. خونگیری از قلب موش ها انجام شد (۲۴). مقدار گلوکز خون به روش گلوکز اکسیداز اندازه گیری شد. انسولین سرمی با کیت تجاری (شرکت مرکودیا[5]، کشور سوئد، Cat 10-1250-01 :Number) و TNF-α نیز با کیت تجاری (ساخت شرکت دیاکلون[6] کشور فرانسه، Cat Number: 865.000.096) به روش الایزا اندازه گیری شد. شاخص مقاومت انسولینی (HOMA-IR) از حاصل‌ضرب مقدار گلوکز (میلی مول در لیتر) در انسولین ناشتا (میلی واحد بین-المللی در لیتر) تقسیم بر ۲۲/۵ محاسبه شد (۶).

روش آماری: داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. برای مقایسه گروه کنترل تغذیه شده با رژیم غذایی استاندارد و گروه کنترل تغذیه شده با غذای پرچرب از آزمون ناپارامتریک من ویتنی[7] استفاده شد. برای مقایسه گروه های تغذیه شده با رژیم غذایی پرچرب از آنالیز واریانس دوطرفه برای مقایسه

[5] Mercodia
[6] Diaclone
[7] Mann–Whitney U test

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

گروه های تمرین و کنترل، مکمل و بدون مکمل استفاده شد. معنی‌داری در سطح آلفا ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

گروه های کنترل غذای نرمال و کنترل غذای پرچرب برای بررسی اثر غذای پرچرب، ترکیب بدن، گلوکز، انسولین، مقاومت انسولینی و سطوح در گردش و بافتی TNF-α در پایان ۱۹ هفته مقایسه شدند. در گروه کنترل غذای پرچرب مقادیر وزن بدن (P=۰/۰۰۹)، وزن کل (P=۰/۰۰۲) و نسبی (P=۰/۰۰۲) بافت چربی اپیدیدیم، گلوکز (P=۰/۰۲۷)، شاخص مقاومت به انسولین (P=۰/۰۴۵)، TNF-α بافت چربی (P=۰/۰۲۲) و سطوح در گردش TNF-α (P=۰/۰۰۶) به صورت معنی داری نسبت به گروه تغذیه شده با غذای استاندارد بالاتر بود (جدول ۱).

همچنین نتایج در گروه های تغذیه شده با غذای پرچرب نشان داد که وزن کل (P=۰/۰۲) و نسبی بافت چربی اپیدیدیم (P=۰/۰۱۱)، گلوکز(P=۰/۰۰۶)، انسولین(P=۰/۰۰۰۳)، شاخص مقاومت به انسولین (P=۰/۰۰۰۲۱) و سطوح TNF-α بافت چربی (P=۰/۰۳۹) در گروه های مصرف کننده whey نسبت به گروه های بدون مصرف مکمل کمتر بود اما تفاوتی در وزن بدن (P=۰/۲۴۱) و سطوح در گردش TNF-α (P=۰/۹۷۰) بین گروه های مصرف کننده مکمل و گروه های بدون مکمل مشاهده نشد. وزن بدن (P=۰/۰۱۷)، وزن کل (P=۰/۰۰۱) و نسبی (P=۰/۰۰۱) بافت چربی اپیدیدیم و سطوح TNF-α بافت چربی (P=۰/۰۰۱) در گروه های تمرین کرده نسبت به گروه های کنترل کمتر بود اما بین گروه های تمرین کرده و تمرین نکرده تفاوتی در گلوکز (P=۰/۴۴۲)، انسولین (P=۰/۷۲۵)، شاخص مقاومت به انسولین (P=۰/۹۷۴) و سطوح TNF-α سیستمیک (P=۰/۶۶۳) مشاهده نشد (جدول ۲).

جدول ۱. اثر غذای پرچرب بر وزن بدن، وزن بافت چربی، مقاومت انسولینی و سطوح TNF-α

	کنترل غذای نرمال (n=۸)	کنترل غذای پرچرب (n=۸)	درصد تفاوت	مقدار p
وزن بدن (گرم)	۳۸۸/۶ ± ۵۰/۰۵	*۴۷۸/۸ ± ۶۵/۳۷	۲۳	۰/۰۰۹
وزن بافت چربی اپیدیدیم (گرم)	۶/۵۹ ± ۲/۷۶	*۱۶/۶۸ ± ۶/۳۸	۱۵۳	۰/۰۰۲
وزن نسبی بافت چربی اپیدیدیم (گرم بر ۱۰۰ گرم وزن بدن)	۱/۶۹ ± ۰/۶۸	*۳/۳۹ ± ۰/۹۰	۱۰۰	۰/۰۰۲
گلوکز (میلی مول بر لیتر)	۷/۰۲ ± ۲/۱	*۱۰/۵۱ ± ۳/۱۳	۴۹	۰/۰۲۷
انسولین (میلی واحد بین المللی بر لیتر)	۱۲/۳۹ ± ۱۱/۳۴	۲۳/۸۳ ± ۱۰/۵۸	۹۲	۰/۱۴۴
HOMA-IR	۳/۵۸ ± ۳/۶۱	*۱۰/۲۷ ± ۴/۸۵	۱۸۶	۰/۰۴۵
TNF-α بافت چربی (pg/mg_{tissue})	۳/۶ ± ۱/۹۸	*۶/۱۲ ± ۱/۵۰	۷۰	۰/۰۲۲
TNF-α سرم (pg/ml)	۱۱/۶ ± ۳/۲۲	*۱۷/۰۷ ± ۳/۸۹	۴۷	۰/۰۰۶

مقادیر بصورت میانگین ± انحراف معیار ارائه شده است. * نشانه تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) نسبت به غذای نرمال

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

جدول ۲. اثر تمرین استقامتی و مکمل پروتئین whey بر ترکیب بدن، گلوکز، انسولین، مقاومت به انسولین و TNF-α در موش های تغذیه شده با غذای پرچرب

	کنترل		تمرین کرده		مقدار P آنوای دوطرفه		
	غذای پرچرب (n=۸)	whey + غذای پرچرب (n=۸)	تمرین + غذای پرچرب (n=۸)	تمرین + غذای پرچرب + whey (n=۸)	اثر تمرین	اثر whey	اثر تعاملی
وزن بدن (گرم)	۴۷۸/۸ ± ۶۵/۳	۴۵۳/۶ ± ۵۹/۸	۴۲۸/۳ ± ۴۷/۲	۴۰۸/۳ ± ۳۶/۳	*۰/۰۱۷	۰/۲۴۱	۰/۸۹۰
وزن بافت چربی اپیدیدیم (گرم)	۱۶/۶۸ ± ۶/۳۸	۱۱/۳۰ ± ۴/۵۲	۹/۵۰ ± ۳/۲۱	۷/۲۷ ± ۱/۹۸	*۰/۰۰۱	$۰/۰۲۰	۰/۳۱۴
وزن نسبی بافت چربی اپیدیدیم (گرم بر ۱۰۰ گرم وزن بدن)	۳/۳۹ ± ۰/۹۰	۲/۴۳ ± ۰/۷۶	۲/۲۱ ± ۰/۷۲	۱/۷۶ ± ۰/۳۹	*۰/۰۰۱	$۰/۰۱۱	۰/۳۲۳
گلوکز (میلی مول بر لیتر)	۱۰/۵۱ ± ۳/۱۳	۸/۱۷ ± ۲/۰۸	۹/۹۶ ± ۱/۴۹	۷/۴۵ ± ۱/۸۶	۰/۴۴۲	$۰/۰۰۶	۰/۹۲۱
انسولین (میلی واحد بین المللی بر لیتر)	۲۳/۸۳ ± ۱۰/۵۸	۱۴/۰۱ ± ۵/۸۷	۲۶/۴۱ ± ۹/۴۹	۹/۱۴ ± ۷/۱۶	۰/۷۲۵	$۰/۰۰۰۳	۰/۲۵۹
HOMA-IR	۱۰/۲۷ ± ۴/۸۵	۵/۴۰ ± ۲/۸۸	۱۲/۴۲ ± ۵/۳۷	۳/۳۵ ± ۳/۰۱	۰/۹۷۴	$۰/۰۰۰۲۱	۰/۲۰۱
TNF-α بافت چربی (pg/mg_{tissue})	۶/۱۲ ± ۱/۵۰	۴/۰۱ ± ۱/۳۶	۳/۱۹ ± ۱/۹۱	۲/۷۸ ± ۱/۶۰	*۰/۰۰۱	$۰/۰۳۹	۰/۱۵۶
TNF-α سرم (pg/ml)	۱۷/۰۷ ± ۳/۸۹	۲۳/۵۹ ± ۱۶/۵۲	۲۵/۵۳ ± ۱۲/۵۱	۱۸/۷۰ ± ۵/۹۸	۰/۶۶۳	۰/۹۷۰	۰/۱۱۲

* نشانه معنی‌داری اثر تمرین (P<۰/۰۵). $ نشانه معنی داری اثر مکمل whey

بحث

یافته های تحقیق حاضر نشان داد که در گروه کنترل غذای پرچرب مقادیر وزن بدن، وزن کل و نسبی بافت چربی اپیدیدیم، گلوکز، شاخص مقاومت به انسولین، TNF-α بافت چربی و سطوح در گردش TNF-α به صورت معنی داری نسبت به گروه تغذیه شده با غذای استاندارد بالاتر بود. افزایش وزن و چاقی می تواند پیامدهای منفی برای سلامتی داشته باشد که با افزایش بافت چربی احشایی و اختلال تنظیم گلوکز و افزایش التهاب سیستمیک همراه است (۲۵). افزایش چربی احشایی با اختلال حساسیت به انسولین محیطی و مقاومت به انسولین کبدی و بافت چربی همراه است (۲۵). مطالعات پیشین نشان داده‌اند رژیم های غذایی مختلف با چربی بالا منجر به القاء تعادل مثبت انرژی و چاقی در موش ها می شود (۲۶و ۲۵و ۲۰). به طور خاص نشان داده اند که این رژیم غذایی باعث اختلال متابولیسم گلوکز، تحریک تولید گلوکز غیرنرمال، و توسعه مقاومت به انسولین و یک وضعیت متابولیک پیش التهابی خفیف می گردد (۲۰). در مطالعه حاضر، یک رژیم غذایی با چربی بالا باعث افزایش وزن نسبی بافت چربی اپیدیدیم شد. مطالعات دیگر نتایج مشابه را نشان داده اند (۲۶و۲۵). این مطالعه همسو با مطالعات قبلی نشان داد که سبک زندگی غیر فعال و افزایش چربی رژیم غذایی می تواند منجر به افزایش چاقی، التهاب و مقاومت انسولینی گردد (۲۵و۲۰).

عدم فعالیت بدنی با چندین بیماری مزمن متابولیک و التهابی مانند دیابت نوع ۲ همراه است (۲۷). در مقابل تمرین ورزشی با شدت متوسط اثرات ضد التهابی و، بنابراین، محافظت در برابر بیماری های التهابی مزمن را نشان داده است (۲۷). بر اساس نتایج تحقیق حاضر مشخص شد وزن بدن، وزن کل و نسبی بافت چربی اپیدیدیم و سطوح TNF-α بافت چربی در گروه های تمرین کرده نسبت به

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

گروه های کنترل کمتر می باشد اما بین گروه های تمرین کرده و تمرین نکرده تفاوتی در شاخص مقاومت انسولینی و سطوح TNF-α سیستمیک مشاهده نشد. با توجه به اینکه وزن بدن و وزن بافت چربی در موش های گروه های تمرینی کاهش یافت، احتمالا کاهش سطوح TNF-α در تحقیق حاضر پس از دوره تمرینی به دلیل بهبود ترکیب بدنی می باشد. یافته های ما با مطالعات دیگر که کاهش قابل توجهی در وزن بافت چربی با تمرین ورزشی تداومی در موش های تغذیه شده با یک رژیم غذایی با چربی بالا مشاهده کردند همسو می باشد (۲۸و۲۶و۲۵). مکانیسم های احتمالی کاهش چربی بدن به دنبال تمرین ورزشی، افزایش در آنزیم هایی که افزایش اکسیداسیون چربی را تحریک می کنند، افزایش انتقال دهنده های عصبی دخیل در مهار غذای دریافتی پس از تمرین، و افزایش آزادسازی پپتید کاهش دهنده اشتها (فاکتور آزاد کننده کورتیکوتروپین)[8] توسط هیپوتالاموس می باشد (۲۹). بنابراین تمرین استقامتی اجرا شده در پژوهش حاضر توانست از افزایش وزن بدن و وزن بافت چربی که در اثر رژیم غذایی پرچرب ایجاد شده بود، جلوگیری کند و به بهبود سطوح TNF-α در بافت چربی کمک کند.

بسیاری از مطالعات مزایای تمرین هوازی را نشان داده اند که باعث القای یک وضعیت ضد التهابی در موش های چاق و انسان شده اند (۳۰و۲۸و۲۶و۲۰). Linden و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که مصرف همزمان یک ۴، ۸ و ۱۲ هفته رژیم غذایی پرچرب و تمرین تردمیل باعث حفاظت متوسط در برخی از عوامل مرتبط با سلامت متابولیک شامل وزن بدن، چاقی، و بیان ژن برخی شاخصهای التهابی در بافت چربی سفید با وجود کالری مصرفی نسبی مشابه می شود. آنها بیان کردند که احتمالا کاهش بیان ژن های التهابی احتمالا حداقل در بخشی، به علت کاهش پاسخ های ماکروفاژ و همچنین کاهش بیان هر دوی نشانگرهای قطبش ماکروفاژهای M1 و M2 باشد (۲۵). Bradley و همکاران نشان دادند که ورزش اختیاری در موش های چاق شده با رژیم غذایی، منجر به بهبود چاقی، نرمال سازی حساسیت به انسولین مستقل از تغییرات سطوح آدیپونکتین و کاهش التهاب بافت چربی با وجود ادامه مصرف رژیم غذایی پرچرب می شود (۲۰). این نتایج با مطالعه حاضر تائید شد که بیان سیتوکین التهابی TNF-α در بافت چربی اپیدیدیم با تمرین استقامتی کاهش می یابد.

در ارتباط با تاثیر تمرینات ورزشی بر شاخص مقاومت انسولینی در مطالعه Linden و همکاران (۲۰۱۴)، افزایش در انسولین ناشتا و HOMA حیوانات کم تحرک تغذیه شده با غذای پرچرب مشاهده شد که با تمرین تردمیل متوسط پیشگیری شد (۲۵) که با نتایج تحقیق حاضر همسو نیست. نتایج مطالعات بالینی اخیر نشان داده است که تمرینات ورزشی ممکن است با عدم پاسخ و یا حتی پاسخ معکوس برای هموستاز گلوکز مواجه شوند (۳۱). مکانیسم اساسی به طور کامل شناخته نشده است، اما به نظر می رسد که رژیم غذایی پرچرب مانع از اثر تمرین ورزش بر متابولیسم گلوکز و چربی می شود (۲۹).

همچنین یافته های مطالعه حاضر نشان داد که مکمل یاری پروتئین whey منجر به کاهش وزن بافت چربی، سطوح TNF-α بافت چربی، سطوح گلوکز، انسولین و شاخص مقاومت به انسولین می گردد. این نتایج نشان می دهد که مکمل whey احتمالا بتواند از افزایش وزن و چاقی و بروز دیابت که در اثر افزایش چربی دریافتی ایجاد می شود، پیشگیری کند. با توجه به اثرات جانبی و سمی روش های ژنتیکی و دارویی مسیرهای ویژه درگیر در بیماری های متابولیک، مداخله با اصلاح رژیم غذایی می تواند مسیرهای چندگانه را با نگرانی کمتر نسبت به اثرات سمی دارویی مورد هدف قرار بدهد. رژیم غذایی با پروتئین بالا سیری را

[8] Anorectic peptide (corticotrophin-releasing factor)

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

افزایش می دهد و پروتئین دارای بهره وری انرژی[9] (انرژی قابل سوخت و ساز) کمتر در مقایسه با کربوهیدرات و چربی است (۳۲). این تفاوت در بهره وری انرژی می تواند اثر پروتئین رژیم غذایی بر کاهش چربی بدن را توضیح دهد. با این حال، تمام منابع پروتئینی در جلوگیری و یا بهبود بیماری متابولیک مشابه نیستند. به عنوان مثال پروتئین whey برای کاهش وزن بدن و مقاومت به انسولین بهتر از گوشت کانگورو بود (۳۳).

در مطالعه ای نشان دادند که مکمل پروتئین whey در موش ها شدت چندین نشانگر زیستی، از جمله افزایش در وزن بدن و چاقی، مقاومت به انسولین و کبد چرب را کاهش می دهد. اثر حفاظتی پروتئین whey سازگار با میزان متابولیسم پایه و مصرف اکسیژن میتوکندری بالاتر و استفاده متابولیک پایین تر چربی رژیم غذایی بود، که منجر به بازده کلی تغذیه پایین تر می گردد (۴). در مطالعه دیگری مکمل whey در موش به مدت ۹ روز باعث افزایش جابجایی انتقال دهنده گلوکز ۴ (GLUT-4) به غشای پلاسمایی شد که منجر به بهبود مقاومت به انسولین گردید (۳۴). اثرات سودمند پروتئین whey می تواند به دلیل هضم و جذب سریع آن و در نتیجه غلظت بالای اسیدهای آمینه در خون بلافاصله بعد از غذا باشد. علاوه بر این، پروتئین whey همچنین می تواند به طور موثر آزادسازی IGF-1، (یک تعدیل کننده منفی پاسخ التهابی) را تحریک کند (۳۵). مطالعات آزمایشگاهی نشان داده اند که عصاره پروتئین whey می تواند مسیرهای سیگنالی NF-κB و MAPK در نوتروفیل های انسانی را تحریک کند (۳۶). همچنین آلفالاکتاآلبومین (۳۳و۳۲) و لاکتوفرین (۳۵و۳۴)، اجزای پپتید whey، اخیرا نشان داده اند باعث مهار تولید سایتوکاین های التهابی مانند TNF-a و IL-6 در موش ها و یا مونوسیت های انسانی می شوند (۳۵).

مطالعات کمی اثر مکمل whey را بر سازگاری های ناشی از تمرینات ورزشی بررسی کرده اند. در مطالعه‌ای Weinheimer و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که مصرف مکمل پروتئین whey به مدت ۳۶ هفته، بر پاسخ ناشی از تمرین هوازی و مقاومتی بر ترکیب بدنی و شاخص‌های سندرم متابولیک در افراد میان‌سال چاق و اضافه‌وزن تأثیر نمی‌گذارد (۳۷). عدم اثرگذاری whey ممکن است ناشی از داشتن پروفایل لیپوپروتئین طبیعی آزمودنی ها از نظر بالینی باشد. عدم تغییر در برخی از شاخصهای سندرم متابولیک ممکن است به این دلیل باشد که کمتر از ۵۰ درصد آزمودنی ها دارای معیارهای تشخیصی سندرم متابولیک بودند. همچنین این مطالعه به دلیل میزان بالای ریزش آزمودنی ها (۴۳٪) محدود شده بود (۳۷). در مقابل مطالعه Arciero و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد تمرین مقاومتی و یا تمرین ترکیبی همراه با مصرف پروتئین whey به مدت ۱۶ هفته در بزرگ‌سالان دارای اضافه‌وزن و چاق، مستقل از محدودیت کالری بر توزیع کل و ناحیه‌ای چربی بدن، مقاومت انسولینی و آدیپوکین‌ها تأثیر مثبت دارد (۳۸).

نتیجه گیری

در کل یافته های تحقیق حاضر نشان داد که مصرف مکمل پروتئینی whey منجر به کاهش چربی بدن، بهبود مقاومت به انسولین ناشی از غذای پرچرب و کاهش التهاب می گردد. همچنین تمرین استقامتی وزن بدن، وزن بافت چربی و التهاب بافت چربی را کاهش داد اما تاثیری بر مقاومت انسولینی نداشت. با توجه به کاهش بیشتر مقاومت انسولینی و سطوح TNF-α بافت چربی در گروه ترکیب مکمل whey و تمرین استقامتی در مقایسه با گروه مکمل و گروه تمرین به نظر می رسد ترکیب مکمل whey و تمرین اثرگذاری بیشتری داشته باشد. بنابراین، پروتئین whey ممکن است پتانسیل درمانی برای کاهش بروز دیابت، به

[9] Energy efficiency

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

ویژه در افراد در معرض خطر با سبک زندگی بی تحرک که انرژی اضافی و چربی مصرف می کنند، داشته باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشکده تربیت بدنی دانشگاه مازندران به دلیل مساعدت در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را اعلام می دارند.

References

1. Liu H-Q, Qiu Y, Mu Y, Zhang X-J, Liu L, Hou X-H, et al. A high ratio of dietary n-3/n-6 polyunsaturated fatty acids improves obesity-linked inflammation and insulin resistance through suppressing activation of TLR4 in SD rats. Nut Res 2013;33:849-58.

2. Holmer-Jensen J, Karhu T, Mortensen LS, Pedersen SB, Herzig K-H, Hermansen K. Differential effects of dietary protein sources on postprandial low-grade inflammation after a single high fat meal in obese non-diabetic subjects. Nutr J 2011;10: 115.

3. Huang XF, Liu Y, Rahardjo GL, McLennan PL, Tapsell LC, Buttemer WA. Effects of diets high in whey, soy, red meat and milk protein on body weight maintenance in dietinduced obesity in mice. Nutr Diet 2008;65:S53-S9.

4. Shertzer HG, Woods SE, Krishan M, Genter MB, Pearson KJ. Dietary whey protein lowers the risk for metabolic disease in mice fed a high-fat diet. J Nut 2011;141:582-7.

5. Weisberg SP, McCann D, Desai M, Rosenbaum M, Leibel RL, Ferrante Jr AW. Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. J Clin Invest 2003;112:1796.

6. Vieira VJ, Valentine RJ, Wilund KR, Woods JA. Effects of diet and exercise on metabolic disturbances in high-fat diet-fed mice. Cytokine 2009;46:339-45.

7. Siddiqui SM, Chang E, Li J, Burlage C, Zou M, Buhman KK, et al. Dietary intervention with vitamin D, calcium, and whey protein reduced fat mass and increased lean mass in rats. Nut Res 2008;28:783-90.

8. Shi J, Finckenberg P, Martonen E, Ahlroos-Lehmus A, Pilvi TK, Korpela R, et al. Metabolic effects of lactoferrin during energy restriction and weight regain in diet-induced obese mice. J Funct Foods 2012;4:66-78.

9.Chen W-C, Huang W-C, Chiu C-C, Chang Y-K, Huang C-C. Whey protein improves exercise performance and biochemical profiles in trained mice. Med Sci Sports Exerc 2014;46:1517-24.

10. Sheikholeslami VD, Ahmadi KGF. Changes in antioxidant status and cardiovascular risk factors of overweight young men after six weeks supplementation of whey protein isolate and resistance training. Appetite 2012;59:673-8.

11. Ahmadi Kani Golzar F, Sheikholeslami Vatani D, Kashkooli V, Moradi H, Farhangian M. The effects of whey protein isolate supplement and strength training on weight loss, body composition, strength and muscle hypertrophy in overweight young men. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology 2012;7:37-46. [In Persian]

12. de Souza GId MH, Santamarina AB, Santana AAd, Lira FS, Laquila Rd, Moreno MF, et al. Preventive Effects of Chitosan Coacervate Whey Protein on Body Composition and Immunometabolic Aspect in Obese Mice. Mediators Inflamm 2014; 2014:1-13.

13. McAllan L, Keane D, Schellekens H, Roche HM, Korpela R, Cryan JF, et al. Whey protein isolate counteracts the effects of a high-fat diet on energy intake and hypothalamic and adipose tissue expression of energy balance-related genes. Br J Nutr 2013;110:2114-26.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

14. de Aguilar-Nascimento JE, Silveira BRP, Dock-Nascimento DB. Early enteral nutrition with whey protein or casein in elderly patients with acute ischemic stroke: a double-blind randomized trial. Nutrition 2011;27:440-4.
15. Kume H, Okazaki K, Yamaji T, Sasaki H. A newly designed enteral formula containing whey peptides and fermented milk product protects mice against concanavalin A-induced hepatitis by suppressing overproduction of inflammatory cytokines. Clin Nut 2012;31:283-9.
16. Sugawara K, Takahashi H, Kashiwagura T, Yamada K, Yanagida S, Homma M, et al. Effect of anti-inflammatory supplementation with whey peptide and exercise therapy in patients with COPD. Respirat Med 2012;106:1526-34.
17. Yan L, Graef GL, Claycombe KJ, Johnson LK. Effects of voluntary running and soy supplementation on diet-induced metabolic disturbance and inflammation in mice. J Agric Food Chem 2013;61:9373-9.
18. Oliveira AG, Carvalho BM, Tobar N, Ropelle ER, Pauli JR, Bagarolli RA, et al. Physical exercise reduces circulating lipopolysaccharide and TLR4 activation and improves insulin signaling in tissues of DIO rats. Diabetes 2011;60:784-96.
19. Vieira VJ, Valentine RJ, Wilund KR, Antao N, Baynard T, Woods JA. Effects of exercise and low-fat diet on adipose tissue inflammation and metabolic complications in obese mice. Am J Physiol Endocrinol Metab 2009;296: E1164-E71.
20. Bradley RL, Jeon JY, Liu F-F, Maratos-Flier E. Voluntary exercise improves insulin sensitivity and adipose tissue inflammation in diet-induced obese mice. Am J Physiol Endocrinol Metab 2008;295: E586-E94.
21. Hariri N, Thibault L. High fat diets for diet-induced obesity models. Nutr Res Rev 2010;23:270-99.
22. Vahidinia AA, ShakerHosseini R, Mahjub H. Effect of Antioxidants Supplementation or Restricted Diet on Oxidative Stress in a Rat Model of Diet-Induced Obesity. Sci J Hamadan Univ Med Sci 2011;18:48-56.
23. Linden MA, Fletcher JA, Morris EM, Meers GM, Laughlin MH, Booth FW, et al. Treating NAFLD in OLETF rats with vigorous-intensity interval exercise training. Med Sci Sports Exerc 2015;47:556-67.
24. Fahmy SR, Mohamed AS. Holoturia arenicola extract modulates bile duct ligation-induced oxidative stress in rat kidney. Int J Clin Exp Pathol 2015;8:1649-57.
25. Linden MA, Pincu Y, Martin SA, Woods JA, Baynard T. Moderate exercise training provides modest protection against adipose tissue inflammatory gene expression in response to high fat feeding. Physiol Rep 2014;2:e12071.
26. Speretta GFF, Rosante MC, Duarte FO, Leite RD, Lino ADdS, Andre RA, et al. The effects of exercise modalities on adiposity in obese rats. Clinics 2012;67:1469-77.
27. Goh JG, Goh KP, Abbasi A. Exercise and adipose tissue macrophages: new frontiers in obesity research?. Front Endocrinol (Lausanne) 2016; 7:65.
28. Yamashita AS, Lira FS, Rosa JC, Paulino EC, Brum PC, Negr?o CE, et al. Depot-specific modulation of adipokine levels in rat adipose tissue by diet-induced obesity: the effect of aerobic training and energy restriction. Cytokine 2010;52:168-74.
29. Batacan RB, Duncan MJ, Dalbo VJ, Buitrago GL, Fenning AS. Effect of different intensities of physical activity on cardiometabolic markers and vascular and cardiac function in adult rats fed with a high-fat high-carbohydrate diet. J Sport Health Sci 2016; In Press.
30. Ounis OB, Elloumi M, Chiekh IB, Zbidi A, Amri M, Lac G, et al. Effects of two-month physical-endurance and diet-restriction programmes on lipid profiles and insulin resistance in obese adolescent boys. Diabetes Metab 2008;34:595-600.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]

31. B?hm A, Weigert C, Staiger H, H?ring H-U. Exercise and diabetes: relevance and causes for response variability. Endocrine 2016;51:390-401.
32. van Milgen J, Noblet J, Dubois S. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. J Nutr 2001;131:1309-18.
33. Belobrajdic DP, McIntosh GH, Owens JA. A high-whey-protein diet reduces body weight gain and alters insulin sensitivity relative to red meat in wistar rats. J Nutr 2004;134:1454-8.
34. Morato PN, Lollo PCB, Moura CS, Batista TM, Camargo RL, Carneiro EM, et al. Whey protein hydrolysate increases translocation of GLUT-4 to the plasma membrane independent of insulin in wistar rats. PloS one 2013;8:e71134.
35. Ticinesi A, Meschi T, Lauretani F, Felis G, Franchi F, Pedrolli C, et al. Nutrition and Inflammation in Older Individuals: Focus on Vitamin D, n-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Whey Proteins. Nutrients 2016;8:186.
36. Rusu D, Drouin R, Pouliot Y, Gauthier S, Poubelle PE. A bovine whey protein extract stimulates human neutrophils to generate bioactive IL-1Ra through a NF-κB-and MAPK-dependent mechanism. J Nut 2010;140:382-91.
37. Weinheimer EM, Conley TB, Kobza VM, Sands LP, Lim E, Janle EM, et al. Whey protein supplementation does not affect exercise training-induced changes in body composition and indices of metabolic syndrome in middle-aged overweight and obese adults. J Nut 2012;142:1532-9.
38. Arciero PJ, Baur D, Connelly S, Ormsbee MJ. Timed-daily ingestion of whey protein and exercise training reduces visceral adipose tissue mass and improves insulin resistance: the PRISE study. J Appl Physiol 2014;117:1-10.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.22102/22.4.80]