Feyz Medical Sciences Journal
2026, Volume 30, Issue 5
Pages: 540-556
Doi: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540
Orginal Article

Effects of Combined Aerobic–Resistance Training with a Balance Challenge on Physical Performance and Metabolic Indices in Male Wistar Rats Fed a High-Fat Diet

Asieh Seyyed [1], Mona Abdolhamid Tehrani [2*]

[1] Department of Exercise Physiology, Be.C., Islamic Azad University, Behbahan, Iran
[2] Department of Physical Education, Om.C., Islamic Azad University, Omidiyeh, Iran

[*]**Corresponding author: Mona Abdolhamid Tehrani,** Department of Physical Education, Om.C., Islamic Azad University, Omidiyeh, Iran
Email: mona.abdolhamidetehrani@iau.ac.ir

Received: 27 July 2026 **Revised** 11 October 2026 **Accepted:** 11 October 2026

Abstract

Background and Aim: This study aimed to investigate the effects of combined aerobic–resistance training with a balance challenge on physical performance and metabolic indices in male Wistar rats fed a high-fat diet.

Methods: Fifty male Wistar rats with an initial body weight of approximately 188 g were included in this study. The healthy control group received a standard diet, while the remaining animals were fed a high-fat diet for five weeks. The animals were then allocated to four groups: a high-fat diet without intervention, aerobic–resistance training, balance challenge, and combined aerobic–resistance training with a balance challenge. Interventions were performed three times per week for five weeks. Physical performance was assessed using treadmill time to exhaustion, forelimb grip strength, and rotarod performance. Metabolic indices included fasting glucose, fasting insulin, triglycerides, and the homeostatic model assessment of insulin resistance (HOMA-IR). Data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA), Tukey's post hoc test, and two-way factorial analysis (2×2).

Results: The high-fat diet significantly impaired physical performance and increased adverse metabolic indices compared with the healthy control group ($P<0.001$). The combined training group with a balance challenge showed the highest mean values for physical performance. Treadmill time to exhaustion, forelimb grip strength, and rotarod performance were 127.9±13.2 s, 217.1±22.9 g-force, and 115.0±15.4 s, respectively. Compared with the high-fat diet group without intervention, this intervention improved time to exhaustion and some metabolic indices; however, metabolic indices did not return to the levels observed in the healthy control group. No significant interaction was observed between aerobic–resistance training and the balance challenge.

Conclusion: Combined aerobic–resistance training with a balance challenge was associated with improved physical performance and some metabolic indices in male Wistar rats fed a high-fat diet. However, a synergistic effect of the two interventions could not be established because of differences in training volume.

Keywords: Combined training, Balance challenge, Physical Functional Performance, Metabolic dysfunction, High-fat diet, Wistar rats

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

Copyright© 2026. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms. Downloaded from: http://feyz.kaums.ac.ir/

Extended Abstract

Background and Objective

A high-fat diet (HFD) is associated with impaired physical performance and metabolic disturbances, including elevated glucose, triglycerides, and insulin resistance. Exercise may improve physical function and metabolic health; however, the effects of combining aerobic-resistance training with a balance challenge remain insufficiently understood. This study aimed to investigate the effects of combined aerobic-resistance training and a balance challenge on physical performance and metabolic indices in male Wistar rats fed a high-fat diet.

Methods

This experimental animal study initially included 50 male Wistar rats with an approximate initial body weight of 188 g. The healthy control group received a standard diet, whereas the remaining animals were fed a high-fat diet for five weeks. Subsequently, the HFD-fed rats were divided into four groups: HFD without intervention, aerobic-resistance training (AR), balance challenge (BC), and combined aerobic-resistance training and balance challenge (AR+BC). The interventions were conducted for five weeks, with three sessions per week.

The aerobic-resistance protocol included treadmill running and progressive resistance exercise. Treadmill sessions consisted of a 5-minute warm-up, 30 minutes of running at 15 m/min on a 5% incline, and a 5-minute cool-down. Resistance training was performed by climbing a 1-m vertical ladder inclined at 85°, with 10 climbs per session and 2-minute rest intervals. The external load was progressively increased during the intervention. The balance challenge involved crossing a narrow beam measuring 100 cm in length and 3 cm in width, positioned 50 cm above the ground. The number of crossings increased progressively throughout the intervention. In the combined group, aerobic exercise, resistance training, and the balance challenge were performed sequentially.

Physical performance was evaluated using treadmill time to exhaustion, grip strength, and rotarod performance. Following an 8–12-hour fast, blood samples were collected to measure fasting glucose, triglycerides (TG), and insulin. Insulin resistance was estimated using the homeostatic model assessment of insulin resistance (HOMA-IR). Body weight was also monitored during the study.

Data were analyzed using SPSS. Results were expressed as mean ± standard deviation. Normality and homogeneity of variance were assessed using the Shapiro–Wilk and Levene tests, respectively. One-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's post hoc test was used to compare the five groups. A factorial 2 × 2 analysis among the HFD-fed groups examined the main effects of aerobic-resistance training and the balance challenge and their interaction. Pearson correlation and regression analyses were used to assess associations between physical performance and metabolic variables. Statistical significance was set at $P < 0.05$.

Results

Compared with the healthy control group, HFD-fed rats exhibited significantly lower treadmill time to exhaustion, grip strength, and rotarod performance ($p < 0.001$). The HFD group also showed significantly higher fasting glucose, triglycerides, insulin, and HOMA-IR, indicating an unfavorable metabolic profile ($p < 0.001$).

Among the HFD-fed groups, the combined AR+BC group demonstrated the highest mean values for the principal physical performance outcomes. Treadmill time to exhaustion reached 127.9 ± 13.2 seconds,

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

grip strength was 217.1 ± 22.9 g-force, and rotarod performance was 115.0 ± 15.4 seconds. Compared with the untreated HFD group, the combined intervention significantly improved physical performance and several metabolic indices. However, metabolic outcomes did not fully return to the levels observed in the healthy control group. Aerobic-resistance training alone significantly improved grip strength and rotarod performance but did not significantly improve treadmill time to exhaustion. The balance challenge also improved grip strength and rotarod performance, whereas its effect on treadmill endurance was not statistically significant (P = 0.146).

Factorial analysis revealed significant main effects of the balance challenge on treadmill endurance, grip strength, rotarod performance, glucose, triglycerides, insulin, and HOMA-IR. Aerobic-resistance training significantly affected grip strength, rotarod performance, and the evaluated metabolic indices, but not treadmill endurance. Importantly, no statistically significant interaction between aerobic-resistance training and the balance challenge was detected for the assessed outcomes. Correlation analysis showed negative associations between treadmill endurance and fasting glucose ($r = -0.61$), triglycerides ($r = -0.70$), and insulin ($r = -0.58$), and a positive association between treadmill endurance and rotarod performance ($r = 0.49$; all $P < 0.001$). Nevertheless, the associations between treadmill endurance and metabolic variables were no longer significant after adjustment for group in regression analyses.

Conclusion

A high-fat diet impaired physical performance and metabolic health in male Wistar rats. Combined aerobic-resistance training and a balance challenge improved physical performance and selected metabolic indices. However, the absence of a significant interaction and the greater overall exercise volume in the combined group preclude the conclusion that the interventions had a synergistic effect. Further studies using matched exercise volumes are needed to clarify the independent contribution of balance training.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

مجله علوم پزشکی فیض
دوره ۳۰، شماره ۵ آذر و دی
صفحات: ۵۵۶-۵۴۰
Doi:10.48307/FMSJ.2026.30.5.540
اصیل پژوهشی

اثر تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی بر عملکرد فیزیکی و شاخص‌های متابولیکی در رت‌های نر نژاد ویستار تحت رژیم غذایی پرچرب

آسیه سید[۱]، مونا عبدالحمید طهرانی[۲*]

[۱] گروه فیزیولوزی ورزشی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران
[۲] گروه تربیت بدنی، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۵/۵/۵ اصلاح مقاله: ۱۴۰۵/۰۷/۱۹ پذیرش مقاله: ۱۴۰۵/۰۷/۱۹

چکیده

زمینه و هدف: مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی بر عملکرد فیزیکی و شاخص‌های متابولیکی رت‌های نر ویستار تحت رژیم پرچرب انجام شد.

روش‌ها: در این مطالعه، ۵۰ سر رت نر ویستار با وزن اولیه حدود ۱۸۸ گرم بررسی شدند. گروه کنترل سالم رژیم استاندارد دریافت کرد و سایر حیوانات به مدت پنج هفته رژیم پرچرب دریافت کردند. سپس، حیوانات به چهار گروه شامل رژیم پرچرب بدون مداخله، تمرین هوازی–مقاومتی، چالش تعادلی و تمرین ترکیبی تقسیم شدند. مداخلات به مدت پنج هفته و با فراوانی سه جلسه در هفته انجام شدند. زمان واماندگی روی نوارگردان، قدرت پنجه، عملکرد روتارود، گلوکز و انسولین ناشتا، تری‌گلیسیرید و شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) ارزیابی شدند. داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه، آزمون تعقیبی توکی و تحلیل فاکتوریل ۲×۲ تحلیل شدند.

یافته‌ها: رژیم پرچرب موجب کاهش معنی‌دار عملکرد فیزیکی و افزایش شاخص‌های نامطلوب متابولیکی در مقایسه با گروه کنترل سالم شد ($P<۰/۰۰۱$). گروه تمرین ترکیبی همراه با چالش تعادلی بالاترین میانگین‌های عملکردی را نشان داد؛ به‌طوری‌که زمان واماندگی، قدرت پنجه و زمان عملکرد روتارود به‌ترتیب به ۱۲۷/۹±۱۳/۲ ثانیه، ۲۱۷/۱±۲۲/۹ گرم نیرو و ۱۱۵/۰±۱۵/۴ ثانیه رسید. این مداخله در مقایسه با گروه بدون مداخله، زمان واماندگی و برخی شاخص‌های متابولیکی را بهبود داد، اما شاخص‌های متابولیکی به سطح گروه کنترل سالم نرسیدند. اثر متقابل معنی‌داری بین دو مؤلفه تمرینی مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: تمرین ترکیبی همراه با چالش تعادلی با بهبود عملکرد فیزیکی و برخی شاخص‌های متابولیکی همراه بود؛ بااین‌حال، به دلیل تفاوت در حجم تمرین، نمی‌توان اثر سینرژیک این مداخلات را نتیجه‌گیری کرد.

کلیدواژه‌ها: تمرین ترکیبی، چالش تعادلی، عملکرد فیزیکی و کارکردی، اختلال متابولیکی، رژیم پرچرب، رت ویستار

*نویسنده مسئول: **مونا عبدالحمید طهرانی** پست الکترونیک: mona.abdolhamidetehrani@iau.ac.ir
آدرس: گروه تربیت بدنی، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

مقدمه

در سال‌های اخیر، اختلالات متابولیکی به‌عنوان یکی از چالش‌های مهم سلامت، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده‌اند. یکی از مهم‌ترین تظاهرات این اختلالات، سندرم متابولیک است که به مجموعه‌ای از اختلالات فیزیولوژیک، شامل مقاومت به انسولین، افزایش چربی احشایی، اختلال در نیمرخ لیپیدی و دیابت نوع ۲، اطلاق می‌شود [۱]. شکل‌گیری و پیشرفت این وضعیت، حاصل تعامل پیچیده عوامل ژنتیکی، محیطی و سبک زندگی است که در این میان، کم‌تحرکی و مصرف رژیم‌های غذایی پرچرب از عوامل مهم به شمار می‌روند [۲].

رژیم‌های غذایی پرچرب (High-Fat Diet; HFD) یکی از مدل‌های تجربی رایج برای ایجاد تغییرات متابولیکی مرتبط با افزایش وزن و اختلالات متابولیکی در مطالعات حیوانی محسوب می‌شوند .شواهد حاصل از این مطالعات نشان می‌دهند که این رژیم‌ها می‌توانند با افزایش وزن بدن، تجمع چربی احشایی، ایجاد مقاومت به انسولین و برهم خوردن هموستاز گلوکز و لیپید همراه باشند [۳]. مطالعات نشان می‌دهند که مصرف بالای چربی‌های اشباع‌شده می‌تواند متابولیسم گلوکز و نیمرخ لیپیدی را مختل کند. همچنین، رژیم پرچرب از طریق تجمع چربی درون‌عضلانی، اختلال در عملکرد میتوکندری، افزایش استرس اکسیداتیو و التهاب، بر عملکرد عضلات اسکلتی تأثیر می‌گذارد [۷–۴]. در این زمینه، برخی پژوهش‌ها نیز بر نقش تغییرات میکروبیوتای روده در شکل‌گیری التهاب و بروز ناهنجاری‌های مرتبط با مصرف رژیم‌های پرچرب تأکید کرده‌اند [۸].

بااین‌حال، پیامدهای اختلالات متابولیکی صرفاً به تغییرات بیوشیمیایی محدود نمی‌شوند، بلکه می‌توانند با کاهش ظرفیت عملکردی، افزایش احساس خستگی، افت کنترل حرکتی، اختلال در متابولیسم عضلات اسکلتی [۹] و کاهش کارایی عضلانی همراه باشند [۱۳–۱۰]. در تأیید این شواهد، Jiménez-García و همکاران گزارش کردند که نوع رژیم غذایی با اختلال در عملکرد و هماهنگی حرکتی همراه است؛ به‌طوری‌که حیوانات دریافت‌کننده رژیم پرچرب، عملکرد ضعیف‌تری نشان دادند [۱۴]. همچنین، در افراد مبتلا به اختلالات متابولیکی، افت قدرت و اختلال در تعادل از عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت زندگی و افزایش احتمال بروز عوارض ثانویه محسوب می‌شوند [۱۵]. شواهد نشان داده‌اند که سندرم متابولیک می‌تواند با اختلال در حس عمقی و تعادل همراه باشد [۱۶]. بر این اساس، اختلال تعادل می‌تواند در کاهش عملکرد فیزیکی افراد مبتلا به اختلالات متابولیکی نقش داشته باشد؛ در مقابل، فعالیت بدنی منظم می‌تواند با بهبود عملکرد فیزیکی و تغییر در برخی نشانگرهای زیستی مرتبط با ورزش همراه باشد [۱۷].

در همین راستا، Barakou و همکاران گزارش کردند که مداخلات ورزشی، شامل تمرینات مقاومتی، ترکیبی و هوازی، موجب کاهش معنی‌دار خستگی در افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن می‌شوند [۱۸]. علاوه بر این، پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که تمرینات هوازی با شدت متوسط، از طریق ایجاد سازگاری‌های متابولیکی، می‌توانند به ارتقای توانایی اجرای فعالیت‌ها و بهبود عملکرد فیزیکی منجر شوند [۱۹]. در این زمینه، Touatiو همکاران نشان دادند که تمرین با بهبود شاخص‌های متابولیکی و معکوس شدن بخشی از تغییرات مرتبط با سندرم متابولیک همراه است [۲۰]. همچنین، Yuو همکاران ۲۰۱۹ گزارش کردند که تمرین هوازی از طریق تعدیل مسیر فاکتور هسته‌ای اریتروئید ۲ (Nrf2/ARE) و مسیر فاکتور هسته‌ای کاپا بی (NF-κB/IκBα)، موجب بهبود حساسیت به انسولین و کاهش التهاب در عضلات اسکلتی می‌شود [۱۷].

علاوه بر تمرینات هوازی، تمرینات مقاومتی نیز از طریق تقویت عملکرد عضلات اسکلتی و تنظیم فرایندهای متابولیکی می‌توانند در کاهش پیامدهای مصرف رژیم پرچرب و ارتقای عملکرد فیزیکی نقش داشته باشند [۲۱]. با توجه به ماهیت چندعاملی اختلالات متابولیکی، تمرینات ترکیبی هوازی–مقاومتی با هدف بهبود هم‌زمان شاخص‌های متابولیکی، عملکرد فیزیکی، تعادل و توانایی‌های حرکتی مورد توجه قرار گرفته‌اند [۴]. در همین راستا، Gargallo و همکاران گزارش کردند که اجرای برنامه تمرینی چندجزئی با بهبود شاخص‌های متابولیکی و عملکرد فیزیکی در افراد مبتلا به سندرم متابولیک همراه است [۴].

با وجود شواهد موجود درباره آثار مثبت تمرینات هوازی و مقاومتی، اطلاعات مربوط به ارزش افزوده تمرینات تعادلی در کنار این مداخلات، به‌ویژه در مدل‌های حیوانی مبتلا به اختلالات متابولیکی ناشی از رژیم پرچرب، همچنان محدود است [۲۲]. تمرینات هوازی–مقاومتی عمدتاً عملکرد عضلانی و وضعیت متابولیکی را بهبود می‌بخشند، درحالی‌که تمرینات تعادلی بر کنترل عصبی–عضلانی و هماهنگی حرکتی تمرکز دارند. ترکیب این تمرینات می‌تواند با ایجاد سازگاری‌های مکمل، عملکرد فیزیکی و شاخص‌های متابولیکی را بهبود دهد؛ بااین‌حال، شواهد تجربی در مدل‌های حیوانی تحت رژیم پرچرب محدود است. با توجه به خلأ پژوهشی موجود، هدف مطالعه حاضر بررسی اثر تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی بر عملکرد فیزیکی و شاخص‌های متابولیکی رت‌های نر ویستار تحت رژیم پرچرب بود.

روش‌ها

جامعه و نمونه آماری

– نوع مطالعه و ملاحظات اخلاقی

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

این مطالعه تجربی با هدف بررسی اثر تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی بر عملکرد فیزیکی، هماهنگی عصبی–عضلانی و برخی شاخص‌های متابولیکی در رت‌های نر ویستار دریافت‌کننده رژیم پرچرب انجام شد .در این پژوهش، ۵۰ سر رت نر نژاد ویستار با وزن اولیه حدود ۱۸۸ گرم مورد استفاده قرار گرفتند. حیوانات در شرایط استاندارد حیوان‌خانه، شامل دمای ۲۲±۲ درجه سانتی‌گراد، چرخه روشنایی–تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت و دسترسی آزاد به آب و غذا، نگهداری شدند .

به‌منظور ایجاد مدل اختلالات متابولیکی، رژیم پرچرب به‌صورت دست‌ساز آزمایشگاهی و بر اساس فرمول اصلاح‌شده جیره غذایی استاندارد تهیه شد [۲۳]. این رژیم شامل کازئین به‌عنوان منبع پروتئین، نشاسته ذرت به‌عنوان منبع کربوهیدرات و روغن سویای تصفیه‌شده به‌عنوان منبع چربی بود .ترکیب درشت‌مغذی‌های رژیم به‌گونه‌ای تنظیم شد که ۴۵ درصد انرژی کل از چربی، ۳۵ درصد از کربوهیدرات و ۲۰ درصد از پروتئین تأمین شود [۲۳].

انتخاب رژیم پرچرب با سهم ۴۵ درصدی انرژی از چربی و دوره پنج‌هفته‌ای دریافت آن، بر اساس شواهد مطالعات پیشین در زمینه ایجاد تغییرات متابولیکی در جوندگان انجام شد. در ابتدای مطالعه، حیوانات در دو شرایط تغذیه‌ای قرار گرفتند. گروه کنترل سالم از ابتدای مطالعه رژیم استاندارد دریافت کرد و در تمام طول مطالعه بدون مداخله تمرینی باقی ماند .سایر حیوانات به مدت پنج هفته رژیم پرچرب دریافت کردند. پس از پایان این دوره، حیوانات دریافت‌کننده رژیم پرچرب (HFD) بر اساس وزن بدن طبقه‌بندی شدند و به‌منظور تشکیل گروه‌هایی همتراز از نظر وزن، به‌صورت تصادفی به چهار گروه مساوی تخصیص یافتند. این چهار گروه شامل گروه رژیم پرچرب بدون مداخله، گروه رژیم پرچرب همراه با تمرین هوازی–مقاومتی، گروه رژیم پرچرب همراه با چالش تعادلی و گروه رژیم پرچرب همراه با تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی و چالش تعادلی بودند .هر گروه شامل ۱۰ رت بود. بنابراین، گروه کنترل سالم از ابتدا به‌عنوان گروهی مجزا با رژیم استاندارد در نظر گرفته شد و تصادفی‌سازی پس از پنج هفته دریافت رژیم پرچرب، صرفاً در میان حیوانات دریافت‌کننده HFD و به‌منظور تخصیص آن‌ها به چهار گروه مطالعه انجام گرفت.

وزن بدن حیوانات در سه زمان اندازه‌گیری و ثبت شد: روز اول مطالعه، پیش از شروع رژیم غذایی؛ پس از پایان پنج هفته دریافت رژیم غذایی؛ و در پایان دوره مداخله وزن اندازه‌گیری‌شده پس از پنج هفته دریافت رژیم غذایی و پیش از شروع مداخله تمرینی، به‌عنوان »وزن پایه «برای دوره مداخله در نظر گرفته شد .تمامی گروه‌های دریافت‌کننده رژیم پرچرب در طول دوره پنج‌هفته‌ای مداخله تمرینی نیز رژیم مربوطه را ادامه دادند؛ درحالی‌که گروه کنترل سالم در این مدت رژیم استاندارد دریافت کرد و هیچ‌گونه مداخله تمرینی برای آن در نظر گرفته نشد.

تغییر وزن طی دوره مداخله بر اساس اختلاف وزن نهایی و وزن پایه، یعنی وزن ثبت‌شده پس از پنج هفته دریافت رژیم غذایی و پیش از شروع مداخله تمرینی، محاسبه شد .وزن ثبت‌شده در روز اول نیز به‌عنوان وزن اولیه، پیش از شروع رژیم غذایی، در نظر گرفته شد و برای توصیف وضعیت اولیه حیوانات مورد استفاده قرار گرفت.

تمرین هوازی با استفاده از نوارگردان مخصوص حیوانات آزمایشگاهی انجام شد .پیش از آغاز برنامه اصلی، حیوانات به مدت پنج روز با محیط نوارگردان سازگار شدند. دوره سازگاری شامل فعالیت با سرعت ۵ تا ۸ متر در دقیقه و به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه بود .پس از پایان دوره سازگاری، برنامه اصلی تمرین به مدت پنج هفته و با فراوانی سه جلسه در هفته اجرا شد .هر جلسه تمرین هوازی شامل ۵ دقیقه گرم‌کردن با سرعت پایین، ۳۰ دقیقه تمرین اصلی با سرعت ۱۵ متر در دقیقه و شیب ۵ درصد و ۵ دقیقه سردکردن با کاهش تدریجی سرعت بود.

شدت بخش هوازی در مطالعه حاضر با سرعت ۱۵ متر در دقیقه و شیب ۵ درصد تعیین شد .انتخاب این شدت بر اساس پروتکل‌های رایج تمرین روی نوارگردان در رت‌ها و شواهد حاصل از مطالعات پیشین انجام گرفت .در مطالعات حیوانی، سرعت ۱۵ متر در دقیقه به‌عنوان سرعت مورد استفاده در تمرین با شدت متوسط در رت‌ها گزارش شده است. برای مثال، Hyun و همکاران در مطالعه‌ای روی رت‌های نر، سرعت ۱۵ متر در دقیقه را به‌عنوان شدت متوسط و سرعت ۲۸ متر در دقیقه را به‌عنوان شدت بالاتر در پروتکل تمرین هوازی روی نوارگردان به کار بردند [۲۴]. همچنین، Bejmaو Jiدر مطالعه‌ای روی رت‌های مسن [۲۵] و Roberts و همکاران در پژوهش خود از همین ترکیب سرعت و شیب در پروتکل تمرینی رت‌ها استفاده کردند [۲۶].

از آنجا که VO_2max و لاکتات خون در مطالعه حاضر به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشدند، شدت تمرین بر اساس درصد حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_2max) یا آستانه لاکتات تعیین نشد؛ بلکه اصطلاح «شدت متوسط» بر اساس طبقه‌بندی شدت و پروتکل‌های پیشین در مطالعات حیوانی به کار رفت.

با توجه به ماهیت ترکیبی برنامه تمرینی، حجم تمرین هوازی در سطح تعیین‌شده حفظ شد و مؤلفه‌های تمرینی در تمامی جلسات با ترتیب ثابتی شامل تمرین هوازی، مقاومتی و در نهایت تعادلی اجرا شدند. این ترتیب به‌منظور استانداردسازی مداخله و کنترل اثر احتمالی ترتیب تمرین، در تمامی حیوانات به‌صورت یکسان حفظ شد.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

تمرین مقاومتی با استفاده از پروتکل صعود از نردبان عمودی انجام شد. نردبان دارای طول ۱ متر و زاویه ۸۵ درجه نسبت به سطح افق بود و بار خارجی به‌صورت وزنه‌ای متصل به پایه دم حیوان اعمال می‌شد .هر رت در هر جلسه ۱۰ صعود انجام داد و فاصله استراحت بین صعودها ۲ دقیقه در نظر گرفته شد .استفاده از صعود از نردبان به‌عنوان مدل تمرین مقاومتی در جوندگان، در مطالعات پیشین گزارش شده است [۲۷]. بار خارجی بر اساس درصدی از وزن بدن هر حیوان تعیین و به‌صورت پیشرونده افزایش یافت .در هفته نخست، حیوانات مرحله آشنایی و سازگاری را بدون بار خارجی گذراندند و بارگذاری در هفته‌های دوم تا پنجم، به‌ترتیب ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد وزن بدن تعیین شد [۲۸]. شدت بارگذاری بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

شدت بارگذاری (درصد وزن بدن)= (بار خارجی÷وزن بدن حیوان × ۱۰۰)

تعیین بار خارجی بر مبنای وزن بدن و افزایش تدریجی بارگذاری، با رویکردهای مورد استفاده در مطالعات تمرین مقاومتی با نردبان در جوندگان همخوانی دارد [۲۹]. مرور نظام‌مند و فراتحلیل لورنزو و همکاران نیز نشان داده است که پروتکل‌های تمرین مقاومتی با نردبان در جوندگان، علی‌رغم تفاوت در ویژگی‌های اجرایی، موجب افزایش ظرفیت حمل بار و ایجاد سازگاری‌های عضلانی می‌شوند [۲۹].

برای ایجاد تحریک عصبی–عضلانی و بهبود کنترل حرکتی، حیوانات پس از بخش‌های هوازی و مقاومتی در تمرین تعادلی شرکت کردند. تمرین تعادلی با استفاده از تیر تعادل انجام شد . تیر تعادل شامل مسیری چوبی و باریک به طول ۱۰۰ سانتی‌متر و عرض ۳ سانتی‌متر بود که در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین قرار داشت. در انتهای مسیر، یک جعبه تاریک به‌عنوان محل هدف قرار داده شد و حیوانات برای رسیدن به محل هدف، مسیر را طی می‌کردند [۳۰]. تعداد عبورها در هر جلسه طی هفته‌های اول، دوم و سوم تا پنجم، به‌ترتیب ۳، ۴ و ۵ عبور در نظر گرفته شد. این پروتکل بر اساس روش‌های رایج تمرین و ارزیابی هماهنگی حرکتی و تعادل در جوندگان طراحی شد.

ارزیابی عملکردی

پس از پایان دوره تمرینی، آزمون‌های عملکردی در سه روز متوالی و با فاصله ۲۴ ساعت بین آزمون‌ها انجام شدند تا احتمال تأثیر خستگی ناشی از یک آزمون بر عملکرد حیوان در آزمون بعدی به حداقل برسد. آزمون‌ها به‌ترتیب شامل آزمون قدرت پنجه در روز اول، آزمون روتارود در روز دوم و آزمون واماندگی روی نوارگردان در روز سوم بودند.

در روز اول، قدرت عضلانی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری قدرت پنجه ارزیابی شد. بیشترین نیروی تولیدشده توسط هر حیوان ثبت و برای مقایسه بین گروه‌ها مورد استفاده قرار گرفت . در روز دوم، به‌منظور ارزیابی هماهنگی عصبی–عضلانی و کنترل حرکتی، آزمون روتارود انجام شد .مدت‌زمان باقی‌ماندن حیوان روی میله گردان به‌عنوان شاخص عملکرد حرکتی ثبت شد .در روز سوم، ظرفیت تحمل فعالیت با استفاده از آزمون واماندگی روی نوارگردان ارزیابی شد .در این آزمون، مدت‌زمان باقی‌ماندن حیوان روی نوارگردان تا رسیدن به معیار از پیش تعیین‌شده خستگی ثبت و به‌عنوان شاخص استقامت عملکردی مورد استفاده قرار گرفت [۳۱].

پس از انجام آزمون‌های عملکردی، حیوانات پس از ۸ تا ۱۲ ساعت ناشتایی، تحت شرایط استاندارد برای نمونه‌گیری خون آماده شدند .نمونه‌های خون پس از جداسازی پلاسما، برای اندازه‌گیری گلوکز ناشتا، تری‌گلیسرید و انسولین ناشتا مورد استفاده قرار گرفتند .شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) نیز بر اساس مقادیر گلوکز و انسولین ناشتا برای هر حیوان محاسبه شد .با توجه به واحدهای گلوکز (mg/dL) و انسولین (μU/mL)، شاخص HOMA-IR با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد: [گلوکز ناشتا×انسولین ناشتا] / ۴۰۵

محاسبات آماری: داده‌ها به‌صورت میانگین ±انحراف معیار (Mean ± SD) گزارش شدند. پیش از انجام تحلیل‌های آماری، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد . برای مقایسه متغیرهای مورد بررسی بین گروه‌های آزمایشی، از تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) استفاده شد .در صورت مشاهده تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها، به‌منظور تعیین محل تفاوت‌ها، آزمون تعقیبی توکی به کار رفت .همچنین، به‌منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌های عملکردی و متابولیکی، ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد.

به‌منظور بررسی اثرات مستقل و متقابل دو مؤلفه تمرینی، شامل تمرین هوازی–مقاومتی (AR) و چالش تعادل (Balance)، در چهار گروه دریافت‌کننده رژیم پرچرب، از تحلیل واریانس فاکتوریل ۲ ×۲ استفاده شد .در این تحلیل، عامل AR در دو سطح «عدم دریافت » و «دریافت» و عامل Balance نیز در دو سطح «عدم دریافت »و «دریافت »در نظر گرفته شدند. اثر اصلی هر عامل و اثر متقابل AR × Balance برای متغیرهای عملکردی و شاخص‌های متابولیکی بررسی شد. گروه کنترل در تحلیل فاکتوریل وارد نشد و این تحلیل صرفاً در چهار گروه دریافت‌کننده رژیم پرچرب انجام گرفت.

به‌منظور بررسی اینکه آیا ارتباط مشاهده‌شده بین زمان واماندگی و شاخص‌های متابولیکی پس از کنترل اثر گروه مطالعه باقی می‌ماند یا خیر، تحلیل‌های رگرسیون خطی با کنترل اثر گروه

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

انجام شد .در این تحلیل‌ها، زمان واماندگی به‌عنوان متغیر وابسته و هر یک از متغیرهای گلوکز ناشتا، تری‌گلیسرید و انسولین ناشتا، به‌صورت جداگانه، به‌عنوان متغیر مستقل وارد مدل شدند و اثر گروه مطالعه در مدل کنترل شد. در نهایت، ضرایب رگرسیون و سطوح معنی‌داری گزارش شدند.

به‌منظور بررسی تغییرات وزن بدن طی دوره پنج‌هفته‌ای، میزان تغییر وزن بدن هر حیوان از طریق محاسبه اختلاف بین وزن نهایی در پایان دوره مطالعه و وزن پایه، یعنی وزن ثبت‌شده پس از دوره رژیم غذایی و پیش از شروع مداخله تمرینی، تعیین شد. تغییر وزن بدن بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

تغییر وزن بدن =وزن نهایی وزن پایه (پس از دوره رژیم غذایی)

سپس، میانگین تغییرات وزن بدن در پنج گروه با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) مقایسه شد .پیش‌فرض همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. در صورت معنی‌دار بودن نتیجه آزمون ANOVA، به‌منظور تعیین تفاوت بین گروه‌ها، از آزمون تعقیبی توکی (Tukey HSD) استفاده شد. سطح معنی‌داری در تمامی تحلیل‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

ملاحظات اخلاقی: کلیه مراحل نگهداری، اجرای مداخلات و ارزیابی‌ها مطابق با اصول اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی انجام شد. این پژوهش پس از تأیید کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان و با کد اخلاق IR.IAU.BEHBAHAN.REC.1404.127 اجرا شد.

نتایج

دریافت رژیم پرچرب بدون مداخله موجب کاهش معنی‌دار عملکرد فیزیکی و ایجاد تغییرات نامطلوب متابولیکی در مقایسه با گروه کنترل سالم شد. در آزمون واماندگی روی نوار گردان زمان تحمل فعالیت در گروه رژیم پرچرب به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه کنترل سالم بود (۱۵±۱۰۵ در برابر۱۵۰±۱۵ ثانیه؛P<۰/۰۰۱). همچنین، قدرت پنجه در این گروه کاهش یافت (۱۴۲±۱۷/۵ در برابر ۲۰۹±۲۶/۷ گرم نیرو؛ P<۰/۰۰۱) و آزمون عملکرد روتارود نیز کاهش قابل توجهی نشان داد (۵۵/۶±۱۴/۷ در برابر۱۲۴/۰±۲۰/۷ ثانیه؛ P<۰/۰۰۱). تحلیل واریانس یک‌طرفه تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در شاخص‌های زمان واماندگی، قدرت پنجه و آزمون عملکرد روتارود نشان داد (P<۰/۰۰۱) (جدول-۴) مقایسه‌های پس‌آزمون نشان داد که گروه رژیم پرچرب در مقایسه با گروه کنترل سالم زمان واماندگی کمتری داشت (P<۰/۰۰۱). همچنین، گروه تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی افزایش معنی‌داری در زمان واماندگی نسبت به گروه رژیم پرچرب نشان داد (P<۰/۰۰۷). اگرچه زمان واماندگی در این گروه نسبت به گروه رژیم پرچرب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، این شاخص همچنان با گروه کنترل سالم تفاوت معنی‌دار داشت (P=۰/۰۱۰). این گروه بالاترین میانگین عملکرد را در بین گروه‌های دریافت‌کننده رژیم پرچرب داشت؛ به‌طوری‌که زمان واماندگی، قدرت پنجه و آزمون عملکرد روتارود به‌ترتیب به ۹/۶±۱۲۷/۱۱ ثانیه، ۲۱۷/۱±۲۲/۹ گرم نیرو و ۴/۰±۱۵/۱۱۵ ثانیه رسید. تمرین هوازی–مقاومتی به‌تنهایی بطور معنی‌داری قدرت پنجه و آزمون عملکرد روتارود شد، اما زمان واماندگی روی نوار گردان نسبت به گروه رژیم پرچرب تفاوت معنی‌داری نشان نداد (۹/۱±۱۴/۱۰۶ در برابر ۱۰۵/۱±۱۴/۹ ثانیه). گروه چالش تعادلی میانگین زمان واماندگی بیشتری نسبت به گروه رژیم پرچرب داشت (۲/۰±۱۴/۱۲۰ در برابر ۱۰۵/۱±۱۴/۹ثانیه)، اما این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود (P=۰/۱۴۶). با این حال عملکرد این گروه در آزمون عملکرد روتارود نسبت به گروه رژیم پرچرب به طور معنی‌داری بهبود یافت (P<۰/۰۰۱). از نظر شاخص‌های متابولیکی، گروه رژیم پرچرب بدون مداخله مقادیر بالاتری از گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین نسبت به گروه کنترل سالم نشان داد. میانگین گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین در گروه رژیم پرچرب به‌ترتیب ۷/۴±۱۴۲/۷ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر، ۰/۳±۱۰/۱۲۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و ۱/۷±۱۸/۹ میکروواحد بر میلی‌لیتر بود، در حالی‌که این مقادیر در گروه کنترل سالم به‌ترتیب ۵/۹±۸/۹۷ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر، ۷/۶±۷۴/۷ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و ۱/۴±۱۱/۹ میکروواحد بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد (جدول-۱). تفاوت بین گروه کنترل سالم و گروه رژیم پرچرب در گلوکز ناشتا (P<۰/۰۰۱) تری‌گلیسیرید (P<۰/۰۰۱) و انسولین (P<۰/۰۰۱) معنی‌دار بود. در گروه تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی، مقادیر گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین به‌ترتیب به ۰/۱۲۲±۵/۶ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر، ±۷/۲/۹۵ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و ۰/۱۴±۱/۱ میکروواحد بر میلی‌لیتر کاهش یافت. این کاهش‌ها در مقایسه با گروه رژیم پرچرب از نظر آماری معنی‌دار بودند (P<۰/۰۰۱) و نشان‌دهنده بهبود نسبی شاخص‌های متابولیکی در پی مداخله تمرینی بودند، با این حال، مقادیر هر سه شاخص همچنان با گروه کنترل سالم تفاوت معنی‌دار داشتند.

مصرف روزانه غذا در طول دوره پنج‌هفته‌ای مطالعه، به‌صورت میانگین ± انحراف معیار، در گروه‌های کنترل سالم، رژیم غذایی پرچرب، تمرین هوازی–مقاومتی، چالش تعادلی و تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی، به‌ترتیب برابر با

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

۱/۲۳±۲/۳، ۱/۲۵±۵/۱، ۱/۲۴±۳/۲، ۱/۲۴±۲/۴ و ۱/۲۳±۲/۸ گرم در روز بود. اگرچه میانگین مصرف غذا در گروه رژیم پرچرب اندکی بیشتر بود، تفاوت بین گروه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. وزن بدن در تمامی گروه‌ها طی دوره مطالعه افزایش یافت، اما میزان افزایش وزن بین پنج گروه تفاوت معنی‌داری داشت (P<۰/۷۴،۰۰۱/۹۱۶ F=۴/۴۵)، تغییر وزن در گروه‌های کنترل سالم، رژیم پرچرب، تمرین هوازی–مقاومتی، چالش تعادلی و تمرین ترکیبی به‌ترتیب برابر با ۳/۱۳±۱۸/۰، ۶/۷۶±۵۹/۶، ۵/۱۹±۴۷/۷، ۶/۵۲±۷۰/۸ و ۶/۴۱±۴۴/۰ گرم بود. آزمون تعقیبی Tukey نشان داد که گروه کنترل سالم با سایر گروه‌ها تفاوت معنی‌داری داشت (P<۰/۰۰۱). همچنین، تفاوت بین گروه رژیم پرچرب و تمرین هوازی–مقاومتی، گروه رژیم پرچرب و تمرین ترکیبی، و گروه چالش تعادلی و تمرین ترکیبی معنی‌دار بود؛ در حالی که سایر مقایسه‌های زوجی معنی‌دار نبودند.

آزمون تعقیبی Tukey نشان داد که گروه کنترل با تمامی گروه‌های دیگر تفاوت معنی‌داری داشت (P<۰/۰۰۱). همچنین، بین گروه رژیم پرچرب و هوازی‌مقاومتی (P<۰/۰۰۱)، رژیم پرچرب و تمرین ترکیبی (P<۰/۰۰۱) و چالش تعادل و تمرین ترکیبی (P<۰/۰۱۲)؛ تفاوت معنی‌دار مشاهده شد؛ در حالی که سایر مقایسه‌های زوجی معنی‌دار نبودند.

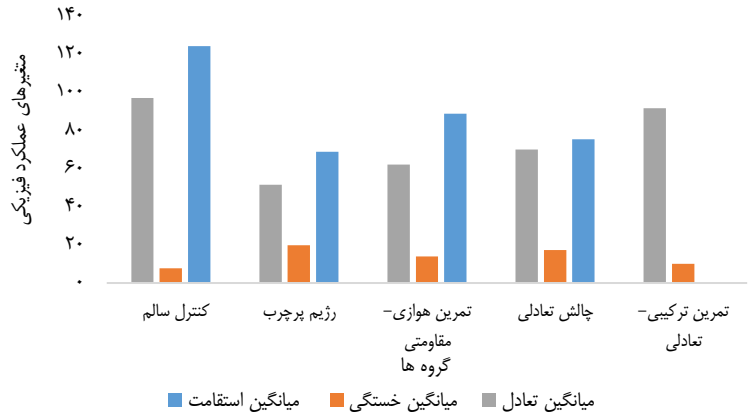
شاخص HOMA-IR بر اساس مقادیر گلوکز و انسولین ناشتا و با استفاده از فرمول HOMA-IR= گلوکز ناشتا (mg/dL) × انسولین ناشتا (µU/mL) /۴۰۵ برای هر حیوان محاسبه شد. میانگین HOMA-IR در کل حیوانات ۴۱/۴±۱/۹۲ بود و مقادیر آن در دامنه ۲/۲۷ تا ۷/۶۱ قرار داشت. میانگین HOMA-IR درگروه کنترل سالم ۰/۴۴±۲/۸۹، گروه HFD برابر با ۰/۸۱±۶/۶۹، گروه AR برابر با ۰/۵۹±۵/۱۲، گروه Balance برابر با ۰/۵۲±۵/۶۷ و گروه تمرین ترکیبی برابر با ۰/۳۴±۴/۲۳ بود. تحلیل واریانس یک‌طرفه تفاوت معنی‌داری را در HOMA-IR بین پنج گروه نشان داد (P<۰/۰۰۱،F(۴/۴۵)=۶۵/۶۹). در تحلیل فاکتوریل ۲×۲ چهار گروه دریافت‌کننده رژیم پرچرب، اثر اصلی AR و Balance بر HOMA-IR معنی‌دار بود، در حالی که اثر متقابل AR× Balance معنی‌دار نبود (به ترتیب P<۰/۰۰۱، ۶۵/۲۵=(۱/۳۶) F؛ P<۰/۰۰۱ ،F(۱/۳۶)=۲۶/۲۶؛ F(۱/۳۶)=۰/۰۰۱، P=۰/۷۵۴) نتایج تحلیل فاکتوریل ۲×۲ برای بررسی اثرات اصلی تمرین هوازی–مقاومتی و چالش تعادلی و همچنین اثر متقابل آن‌ها در چهار گروه دریافت‌کننده رژیم پرچرب، در جدول-۴ ارائه شده است.

جدول-۱. آمار توصیفی شاخص‌های عملکرد فیزیکی و متابولیکی و وزن بدن در موش‌های صحرایی نر ویستار در پنج گروه مطالعه (۱۰ حیوان در هر گروه)

شاخص	کنترل	رژیم پرچرب	هوازی- مقاومتی	چالش تعادلی	رژیم غذایی پرچرب + تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادل
زمان رسیدن به خستگی در نوارگردان (ثانیه)	۱۴/۹±۱۴۹/۷	۱۴/۹±۱۰۵/۱	۱۴/۹±۱۰۶/۱	۱۴/۲±۱۲۰/۰	۱۳/۲±۱۲۷/۹
قدرت پنجه (گرم نیرو)	۲۶/۷±۲۰۹/۰	۱۷/۵±۱۴۲/۰	۱۹/۴±۱۸۳/۱	۱۸/۰±۱۹۰/۹	۲۲/۹±۲۱۷/۱
زمان عملکرد در آزمون روتارود	۲۰/۷±۱۲۴/۰	۱۴/۷±۵۵/۶	۱۷/۲±۹۳/۷	۱۴/۱±۸۸/۰	۱۵/۴±۱۱۵/۰
گلوکز خون ناشتا (میلی‌گرم/دسی‌لیتر)	۵/۸±۹۷/۹	۷/۴±۱۴۲/۷	۶/۵ ±۱۳۰/۰	۶/۵±۱۳۵/۲	۵/۶±۱۲۲/۰
تری‌گلیسرید (میلی‌گرم/دسی‌لیتر)	۷/۶±۷۴/۷	۱۰/۰.±۱۲۰/۳	۳/۹/۳۰±۱۰۶	۷/۴±۱۱۰/۳	۷/۲±۹۵/۲
انسولین(µU/mL)	۱/۴±۱۱/۹	۱/۷±۱۸/۹	۱/۵±۱۵/۹	۱/۵±۱۷/۰	۱/۱±۱۴/۰
وزن بدن در شروع مطالعه (گرم)	۱۸۶/۳±۲/۷	۰/۴±۳/۱۸۶	۱۸۳/۳±۳/۳	۱۸۳/۳±۳/۶	۹/۴±۲/۱۸۷
وزن بدن پس از رژیم غذایی و پیش از مداخله(گرم)	۲۰۰/۱±۳/۲	۲۰۰/۱±۴/۲	۲۰۰/۱±۳/۲	۲۰۰/۲±۴/۱	۲۰۰/۱±۳/۴
وزن نهایی (گرم)	۲۱۸/۱±۴/۲	۲۶۰/۰±۵/۱	۲۴۷/۸±۴/۲	۲۵۳/۰±۴/۶	۲۴۴/۱±۴/۴
تغییر وزن طی مطالعه(گرم)	۱۸/۰±۳/۱	۵۹/۹±۶/۸	۴۷/۷±۵/۲	۵۲/۸±۶/۷	۴۴/۰±۶/۴

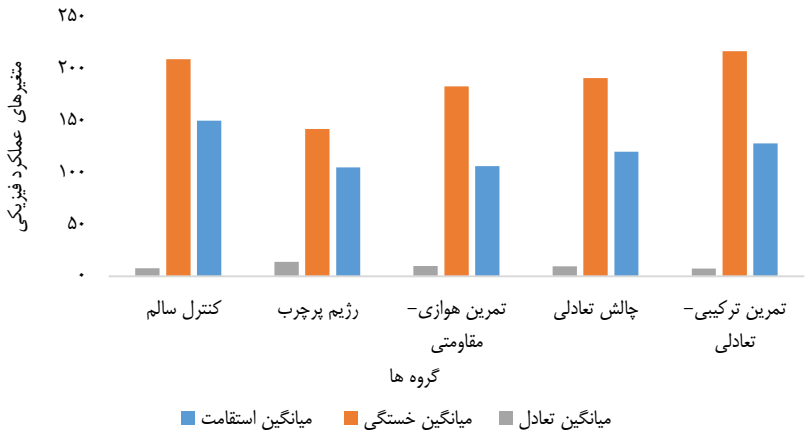
[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]



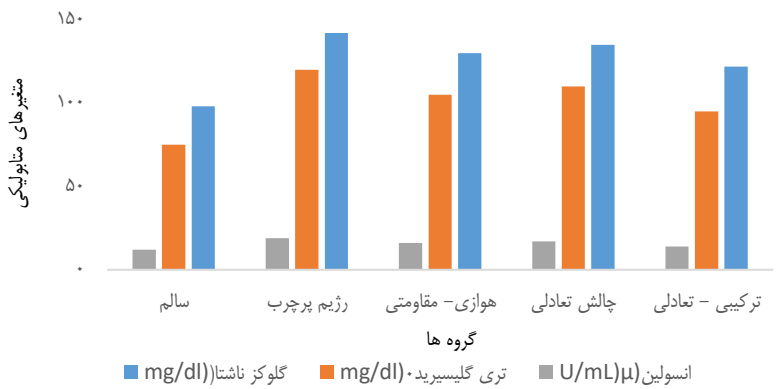
نمودار-۱. مقایسه شاخص‌های عملکرد فیزیکی در پنج گروه مداخله

گروه دریافت‌کننده مداخله ترکیبی بالاترین میانگین عملکرد را در میان گروه‌های دریافت‌کننده رژیم پرچرب نشان داد، در حالی‌که گروه رژیم پرچرب کمترین عملکرد و بیشترین خستگی را داشت (نمودار-۱).



نمودار-۲. مقایسه شاخص‌های منتخب عملکرد فیزیکی در گروه‌های مداخله

گروه تمرین ترکیبی هوازی—مقاومتی همراه با چالش تعادلی، بالاترین عملکرد را در شاخص‌های منتخب استقامت، زمان واماندگی و تعادل داشت. در مقابل، گروه دریافت‌کننده رژیم پرچرب پایین‌ترین مقادیر این شاخص‌ها را نشان داد. به‌طور کلی، هر دو عامل تمرین هوازی—مقاومتی و چالش تعادلی با بهبود برخی شاخص‌های عملکردی و متابولیکی همراه بودند؛ با این حال، اثر متقابل این دو عامل (AR×Balance) در تحلیل فاکتوریل ۲×۲ برای پیامدهای مورد بررسی از نظر آماری معنی‌دار نبود (نمودار-۲).



نمودار-۳. اثر مداخلات مختلف بر استقامت، خستگی و تعادل

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

رژیم غذایی پرچرب با افزایش گلوکز ناشتا، تری‌گلیسرید و انسولین همراه بود، درحالی‌که تمرین هوازی–مقاومتی و چالش تعادل موجب کاهش نسبی این شاخص‌های متابولیک شدند (نمودار–۳).

جدول–۲. نتایج تحلیل واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) برای متغیرهای عملکرد فیزیکی و شاخص های متابولیک

متغیر	F(۴/۴۵)	P
زمان رسیدن خستگی روی نوارگردان	۱۶/۸۱	P<۰/۰۰۱
قدرت پنجه	۱۹/۴۵	P<۰/۰۰۱
مدت زمان عملکرد در آزمون روتارود	۲۵/۶۵	P<۰/۰۰۱
قند خون ناشتا	۷۱/۷۷	P<۰/۰۰۱
تری گلیسیرید	۴۲/۴۸	P<۰/۰۰۱
انسولین	۳۱/۸۰	P<۰/۰۰۱
شاخص مقاومت به انسولین	۶۹/۶۵	P<۰/۰۰۱

رژیم پرچرب با افزایش شاخص‌های متابولیکی همراه بود، در حالی که تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی با بهبود نسبی این شاخص‌ها در مقایسه با گروه رژیم پرچرب همراه بود (P<۰/۰۰۱).

جدول–۳. نتایج مقایسه‌های زوجی منتخب بین گروه‌های آزمایشی برای شاخص‌های عملکرد فیزیکی و متابولیکی بر اساس آزمون تعقیبیTukey

شاخص عملکرد فیزیکی				
متغیر	مقایسه گروه ها	تفاوت میانگین–I) J)	فاصله اطمینان	مقدارP
زمان واماندگی	کنترل سالم در برابر رژیم پرچرب	۴۴/۶۰	۶۲/۵۷-۲۶/۶۳	<۰/۰۰۱
زمان واماندگی	رژیم غذایی پرچرب در برابر تمرین ترکیبی	۲۲/۸۰	۴/۸۳-۴۰/۷۷	۰/۰۰۷
زمان واماندگی	کنترل سالم در برابر تمرین ترکیبی	۲۱/۸۰	۳۹/۷۷-۳/۸۳	۰/۰۱۰
قدرت پنجه	کنترل سالم در برابر رژیم غذایی پرچرب	۶۷/۰۰	۹۳/۷۰-۴۰/۳۰	<۰/۰۰۱
قدرت پنجه	رژیم غذایی پرچرب در برابر تمرین ترکیبی	۷۵/۱۰	۱۰۱/۸۰-۴۸/۴۰	<۰/۰۰۱
قدرت پنجه	تمرین ترکیبی در برابر تمرین هوازی – مقاومتی	۳۴/۱۰	۷/۳۰-۶۰/۷۰	۰/۰۰۶
آزمون عملکرد روتارود	تمرین ترکیبی در برابر تمرین هوازی – مقاومتی	۶۸/۴۰	۸۹/۵۶-۴۷/۲۴	<۰/۰۰۱
آزمون عملکرد روتارود	رژیم غذایی پرچرب در برابر تمرین ترکیبی	۵۹/۴۰	۸۰/۵۶-۳۸/۲۴	<۰/۰۰۱
آزمون عملکرد روتارود	تمرین ترکیبی در برابر چالش تعادلی	۲۷/۰۰	۴۸/۱۶-۵/۸۴	۰/۰۰۶
شاخص متابولیکی				
قند خون	کنترل سالم در برابر رژیم پرچرب	۴۴/۸۳	۵۲/۹۹-۳۶/۶۷	<۰/۰۰۱
قند خون	رژیم غذایی پرچرب در برابر تمرین ترکیبی	۲۰/۷۶	۲۸/۹۲-۱۲/۶۰	<۰/۰۰۱
قند خون	کنترل سالم در برابر تمرین ترکیبی	۲۴/۰۷	۳۲/۲۳-۱۵/۹۱	<۰/۰۰۱
تری گلیسیرید	کنترل سالم در برابر رژیم غذایی پرچرب	۴۵/۶۰	۵۶/۳۲-۳۴/۸۸	<۰/۰۰۱
تری گلیسیرید	رژیم غذایی پرچرب در برابر تمرین ترکیبی	۲۵/۱۰	۳۵/۸۲-۱۴/۳۸	<۰/۰۰۱
تری گلیسیرید	کنترل سالم در برابر تمرین ترکیبی	۲۰/۵۰	۳۲/۳۱-۷۸/۹	<۰/۰۰۱

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

انسولین	کنترل سالم در برابر رژیم غذایی پرچرب	۷/۰۲	۸/۹۵ - ۹/۵	<۰/۰۰۱
انسولین	رژیم غذایی پرچرب در برابر تمرین ترکیبی	۴/۸۹	۶/۸۲-۹۶/۲	<۰/۰۰۱
انسولین	کنترل سالم در برابر تمرین ترکیبی	۲/۱۳	۴/۶-۰/۲۰	۰/۰۲۴

داده‌ها به‌صورت تفاوت میانگین بین گروه‌ها (I–J) و فاصله اطمینان ۹۵٪ گزارش شده‌اند. مقایسه‌های زوجی با استفاده از آزمون تعقیبی Tukey پس از تحلیل واریانس یک‌طرفه انجام شدند. مقادیر P کمتر از ۰/۰۵ از نظر آماری معنی‌دار در نظر گرفته شدند

به‌منظور تعیین محل اختلاف بین گروه‌ها، پس از مشاهده تفاوت معنی‌دار در تحلیل واریانس یک‌طرفه، از آزمون تعقیبی توکی (Tukey) استفاده شد. نتایج نشان داد که در متغیر زمان واماندگی روی نوارگردان، گروه رژیم پرچرب بدون مداخله، در مقایسه با گروه کنترل سالم، زمان واماندگی به‌طور معنی‌داری کمتری داشت (P<۰/۰۰۱). همچنین، گروه تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی، در مقایسه با گروه رژیم پرچرب، افزایش معنی‌داری در زمان واماندگی نشان داد (P=۰/۰۰۷). بااین‌حال، زمان واماندگی در این گروه همچنان به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه کنترل سالم بود (P=۰/۰۱۰). درحالی‌که اختلاف آن با گروه چالش تعادلی از نظر آماری معنی‌دار نبود.

در متغیر قدرت پنجه، هر سه مداخله ورزشی در مقایسه با گروه رژیم پرچرب، موجب افزایش معنی‌دار قدرت عضلانی شدند گروه تمرین هوازی–مقاومتی (P=۰/۰۰۱)؛ گروه چالش تعادلی (P<۰/۰۰۱)؛ گروه تمرین ترکیبی (P<۰/۰۰۱). بیشترین میانگین قدرت پنجه در گروه تمرین ترکیبی مشاهده شد .قدرت پنجه در این گروه در مقایسه با گروه تمرین هوازی–مقاومتی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (P=۰/۰۰۶)، اما اختلاف آن با گروه کنترل سالم (P =۰/۹۰۹) و گروه چالش تعادلی (P=۰/۰۵۷) از نظر آماری معنی‌دار نبود.

در آزمون عملکرد روتارود نیز هر سه گروه مداخله در مقایسه با گروه رژیم پرچرب، عملکرد بهتری نشان دادند گروه تمرین هوازی–مقاومتی (P<۰/۰۰۱)؛ گروه چالش تعادلی (P=۰/۰۰۱)؛ گروه تمرین ترکیبی (P<۰/۰۰۱). علاوه بر این، عملکرد گروه تمرین ترکیبی در مقایسه با گروه تمرین هوازی–مقاومتی (۰/۰۴۸ =P) و گروه چالش تعادلی (۰/۰۰۶ =P). به‌طور معنی‌داری بهتر بود؛ درحالی‌که اختلاف آن با گروه کنترل سالم از نظر آماری معنی‌دار نبود (P=۰/۷۴۶).

به‌منظور بررسی اثرات مستقل تمرین هوازی–مقاومتی (AR)، چالش تعادلی (Balance) و اثر متقابل این دو عامل، داده‌های چهار گروه دریافت‌کننده رژیم پرچرب در قالب طرح فاکتوریل ۲×۲ تحلیل شدند .گروه کنترل سالم در این تحلیل وارد نشد و به‌عنوان گروه مرجع برای مقایسه‌های مستقل در نظر گرفته شد .نتایج نشان داد که اثر اصلی چالش تعادلی بر هر شش پیامد شامل زمان واماندگی روی نوارگردان، قدرت پنجه، عملکرد روتارود، گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین معنی‌دار بود. اثر اصلی تمرین هوازی–مقاومتی نیز بر قدرت پنجه، عملکرد روتارود، گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین معنی‌دار بود؛ اما اثر آن بر زمان واماندگی روی نوارگردان به سطح معنی‌داری آماری نرسید. بااین‌حال، اثر متقابل تمرین هوازی–مقاومتی و چالش تعادلی (AR×Balance) برای هیچ‌یک از شش پیامد معنی‌دار نبود. بنابراین، اگرچه تمرین هوازی–مقاومتی و چالش تعادلی به‌طور مستقل با تغییراتی در برخی پیامدهای عملکردی و متابولیکی همراه بودند، شواهد آماری کافی برای تأیید وجود اثر متقابل بین این دو مداخله مشاهده نشد.

با توجه به احتمال تأثیر تفاوت‌های بین گروه‌های آزمایشی بر همبستگی‌های مشاهده‌شده، تحلیل تکمیلی با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه و با کنترل اثر گروه آزمایشی انجام شد .در این مدل‌ها، گروه آزمایشی به‌صورت یک متغیر طبقه‌ای و با استفاده از متغیرهای مجازی (Dummy variables) وارد مدل شد و گروه کنترل به‌عنوان گروه مرجع در نظر گرفته شد. زمان واماندگی روی نوارگردان (Exhaustion) به‌عنوان متغیر وابسته و هر یک از شاخص‌های متابولیکی شامل گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین ناشتا به‌عنوان متغیر مستقل پیوسته در مدل‌های جداگانه وارد شدند.نتایج نشان داد که پس از کنترل اثر گروه آزمایشی، ارتباط گلوکز ناشتا با زمان واماندگی از نظر آماری معنی‌دار نبود (۰/۴۸۵ =B)، β=۰/۳۷۹، t(۴۴) =۱/۴۹۹، (P=۰/۱۴۱).

همچنین، ارتباط تری‌گلیسیرید (۰/۰۶۵ =B)، β=۰/۰۵۴، t(۴۴)=۰/۲۵۷، (P=۰/۷۹۸) و انسولین ناشتا (B=۰/۳۷۷)، β=۰/۰۵۰، t(۴۴) =۰/۲۶۹، (P=۰/۷۹۰) با زمان واماندگی پس از تعدیل اثر گروه آزمایشی از نظر آماری معنی‌دار نبود.

بنابراین، اگرچه در تحلیل تجمیعی اولیه، زمان واماندگی با گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین ناشتا همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد، این ارتباط‌ها پس از کنترل اثر گروه آزمایشی از نظر آماری معنی‌دار باقی نماندند .این یافته نشان می‌دهد که تفاوت‌های بین گروه‌های آزمایشی ممکن است در شکل‌گیری همبستگی‌های مشاهده‌شده در تحلیل تجمیعی نقش داشته باشند؛ ازاین‌رو، این همبستگی‌ها لزوماً بیانگر وجود ارتباط مستقل از اثر گروه آزمایشی نیستند .همچنین، نمودارهای پراکنش

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

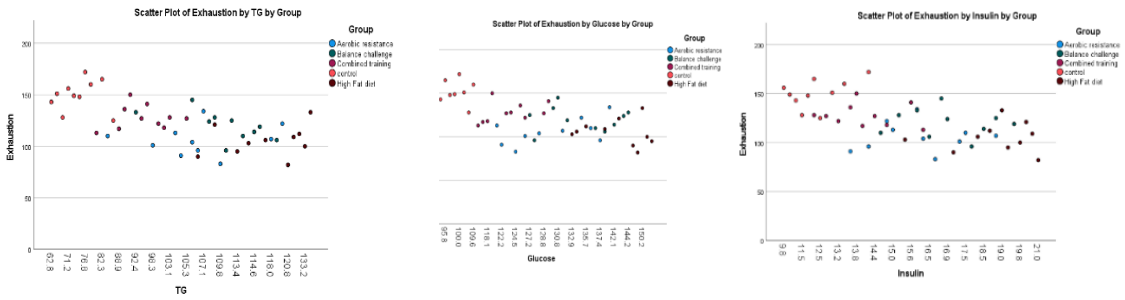
[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

(Scatterplots) به‌منظور بررسی بصری ارتباط زمان واماندگی با گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین ناشتا، با تفکیک گروه‌های آزمایشی ترسیم شدند که در نمودار-۴ ارائه شده‌اند.

جدول-٤. اثرات اصلی تمرین هوازی–مقاومتی، چالش تعادلی و برهم‌کنش آن‌ها در موش‌های دریافت‌کننده رژیم غذایی پرچرب

متغیر	AR: F۱/۳۶	P	ηp²	Balance: F۱/۳۶	P	ηp²	AR × Balance:F۱/۳۶	P	ηp²
قدرت پنجه	۳۰/۴۱۴	<۰/۰۰۱	۰/۴۸۵	۴۶/۱۴۹	<۰/۰۰۱	۰/۵۶۲	۱/۴۹۱	۰/۲۳۰	۰/۰۴۰
آزمون عملکرد روتارود	۴۴/۴۱۱	<۰/۰۰۱	۰/۵۵۲	۳۰/۲۱۹	<۰/۰۰۱	۰/۴۵۶	۱/۲۹۱	۰/۲۶۳	۰/۰۳۵
زمان واماندگی	۱/۰۲۰	۳۱۹	۰/۰۲۸	۱۷/۳۵۰	<۰/۰۰۱	۰/۳۲۵	۰/۶۱۳	۰/۴۳۹	۰/۰۱۷
گلوکز ناشتا	۳۹/۱۴۵	<۰/۰۰۱	۰/۵۲۱	۱۴/۱۲۱	۰/۰۰۱	۰/۲۸۲	۰/۰۱۲	۹۱۲/۰	<۰/۰۰۱
تری گلیسیرید	۲۸/۹۲۷	<۰/۰۰۱	۰/۴۴۶	۱۴/۷۱۸	<۰/۰۰۱	۰/۲۹۰	۰/۰۲۷	۰/۸۷۰	۰/۰۰۱
انسولین	۳۷/۳۶۱	<۰/۰۰۱	۰/۵۰۹	۱۵/۳۴۸	<۰/۰۰۱	۰/۲۹۹	۰/۰۰۰	۰/۹۸۴	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت به انسولین	۶۵/۲۵۵	<۰/۰۰۱	۰/۶۴۴	۲۶/۲۵۹	<۰/۰۰۱	۰/۴۲۲	۰/۱۰۰	۰/۷۵۴	۰/۰۰۳

تحلیل با استفاده از آنالیز واریانس عاملی دوطرفه (۲×۲) انجام شد و سطح معنی‌داری (P<۰/۰۵) در نظر گرفته شد.



نمودار-٤. نمودارهای پراکنش رابطه زمان واماندگی با (a) گلوکز ناشتا، (b) تری‌گلیسیرید (TG) و (c) انسولین ناشتا در پنج گروه آزمایشی

بحث

هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی بر عملکرد فیزیکی، هماهنگی عصبی–عضلانی و برخی شاخص‌های متابولیکی در رت‌های دریافت‌کننده رژیم پرچرب بود. یافته‌های اصلی نشان داد که دریافت رژیم پرچرب به مدت پنج هفته، موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های عملکردی، شامل زمان واماندگی روی نوارگردان، قدرت پنجه و عملکرد در آزمون روتارود، و افزایش گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین پلاسما شد .در مقابل، مداخلات تمرینی با بهبود نسبی این شاخص‌ها همراه بودند .در میان گروه‌های دریافت‌کننده رژیم پرچرب، گروه تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی، در بسیاری از شاخص‌های عملکردی و متابولیکی میانگین‌های مطلوب‌تری نشان داد .بااین‌حال، با توجه به نبود اثر متقابل معنی‌دار بین تمرین هوازی–مقاومتی و چالش تعادلی در تحلیل فاکتوریل ۲×۲، این یافته‌ها به‌تنهایی برای اثبات برتری کلی این مداخله یا وجود اثر هم‌افزایی (سینرژیک) بین مؤلفه‌های تمرینی کافی نیستند.

کاهش عملکرد فیزیکی در گروه دریافت‌کننده رژیم پرچرب با یافته‌های مطالعات پیشین درباره آثار نامطلوب مصرف طولانی‌مدت رژیم‌های پرچرب بر عملکرد عضله اسکلتی [۳۲] و تنظیم متابولیسم انرژی همخوانی دارد. رژیم‌های پرچرب می‌توانند از طریق افزایش تجمع چربی در بافت‌ها، ایجاد مقاومت به انسولین، افزایش التهاب مزمن و تغییر در عملکرد میتوکندری، ظرفیت تولید انرژی در عضله را کاهش دهند و تحمل فعالیت بدنی را مختل

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

کنند [۵]. ازآنجاکه عضله اسکلتی یکی از مهم‌ترین بافت‌های مصرف‌کننده گلوکز و تنظیم‌کننده هموستاز انرژی است، اختلال در عملکرد آن می‌تواند هم‌زمان با کاهش توانایی حرکتی و تشدید اختلالات متابولیکی همراه باشد [۷].

یکی از مکانیسم‌های احتمالی مرتبط با کاهش عملکرد عضلانی در شرایط دریافت رژیم پرچرب، اختلال در کیفیت متابولیکی عضله و کاهش ظرفیت اکسیداتیو آن است .مطالعات پیشین نشان داده‌اند که افزایش ورود اسیدهای چرب آزاد به عضله، تجمع متابولیت‌های چربی، افزایش استرس اکسیداتیو و فعال‌شدن مسیرهای التهابی ممکن است با اختلال در عملکرد میتوکندری و کاهش توانایی عضله در تأمین انرژی موردنیاز فعالیت همراه باشد [۳۳،۵] . اگرچه در مطالعه حاضر شاخص‌های مولکولی مرتبط با عملکرد میتوکندری، التهاب یا استرس اکسیداتیو اندازه‌گیری نشدند، بهبود مشاهده‌شده در گروه‌های تمرینی می‌تواند تا حدی ناشی از سازگاری‌های متابولیکی حاصل از فعالیت بدنی منظم باشد .بر اساس مطالعات پیشین، تمرین ورزشی از طریق افزایش فعالیت تنظیم‌کننده‌هایی مانند کوفاکتور ۱-آلفای فعال‌کننده تکثیر پراکسی‌زوم گاما (PGC-1α) و تقویت سازگاری‌های میتوکندریایی، می‌تواند ظرفیت اکسیداتیو عضله و تحمل فعالیت را افزایش دهد [۲۲].

کاهش عملکرد در آزمون روتارود در گروه دریافت‌کننده رژیم پرچرب نیز می‌تواند نشان‌دهنده اختلال در هماهنگی عصبی–عضلانی و کنترل حرکتی باشد. اجرای موفق این آزمون مستلزم تعامل مناسب بین سیستم عصبی مرکزی، دریافت اطلاعات حسی، کنترل وضعیتی و توانایی تولید نیرو توسط عضلات است .مطالعات پیشین نشان داده‌اند که چاقی ناشی از رژیم پرچرب، علاوه بر ایجاد تغییرات متابولیکی، ممکن است ساختار و عملکرد اتصال عصب–عضله را نیز تحت تأثیر قرار دهد [۱۱،۶]. بنابراین، کاهش عملکرد در آزمون روتارود در مطالعه حاضر می‌تواند حاصل تعامل بین کاهش توان عضلانی، اختلالات متابولیکی و تغییرات احتمالی در عملکرد عصبی–عضلانی باشد.

یکی از یافته‌های مهم مطالعه حاضر، بهبود شاخص‌های عملکردی در گروه دریافت‌کننده تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی در مقایسه با گروه رژیم پرچرب بود .این گروه افزایش زمان واماندگی روی نوارگردان، افزایش قدرت پنجه و بهبود عملکرد در آزمون روتارود را نشان داد. بااین‌حال، اگرچه تحلیل فاکتوریل ۲×۲ امکان بررسی اثرات اصلی و اثر متقابل تمرین هوازی–مقاومتی و چالش تعادلی را فراهم کرد، اثر متقابل معنی‌داری بین این دو عامل مشاهده نشد.

تمرین هوازی می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت قلبی–تنفسی، بهبود عملکرد میتوکندری و افزایش توانایی استفاده از سوبستراهای انرژی، ظرفیت استقامتی را ارتقا دهد [۱۱،۱۰]. از سوی دیگر، تمرین مقاومتی با تحریک سازگاری‌های عضلانی، افزایش تولید نیرو و بهبود عملکرد عضله اسکلتی می‌تواند توانایی انجام فعالیت‌های فیزیکی را افزایش دهد [۱۳]. یافته‌های مطالعه حاضر با گزارش‌های پیشین درباره آثار تمرین هم‌زمان هوازی و مقاومتی بر عملکرد عضلانی و وضعیت متابولیکی همسو است Schumann و همکاران نشان دادند که تمرین هم‌زمان هوازی و مقاومتی، بدون ایجاد اختلال قابل‌توجه در سازگاری‌های مرتبط با حداکثر قدرت و هایپرتروفی عضلانی، می‌تواند به بهبود مؤلفه‌های عملکردی عضله کمک کند [۳۴]. همچنین، Touati و همکاران گزارش کردند که تمرین ورزشی در رت‌های مبتلا به چاقی ناشی از رژیم پرچرب می‌تواند بخشی از تغییرات مرتبط با سندرم متابولیک را کاهش دهد و وضعیت متابولیکی را بهبود بخشد [۲۰].

افزودن مؤلفه چالش تعادلی به برنامه تمرینی حاضر ممکن است در بهبود هماهنگی حرکتی، به‌ویژه در آزمون روتارود، نقش داشته باشد. برخلاف تمرینات هوازی و مقاومتی که عمدتاً بر ظرفیت قلبی–تنفسی و تولید نیرو توسط عضلات اثر می‌گذارند، تمرینات تعادلی بیشتر مستلزم کنترل حرکتی، هماهنگی عصبی–عضلانی و پردازش اطلاعات حسی–حرکتی هستند .بنابراین، استفاده هم‌زمان از این مؤلفه‌ها ممکن است سازگاری‌های مکملی ایجاد کند و به بهبود عملکردهای چندبعدی، مانند استقامت، قدرت و کنترل حرکتی، منجر شود .بااین‌حال، ازآنجاکه در مطالعه حاضر شاخص‌های عصبی یا مولکولی مرتبط با کنترل حرکتی اندازه‌گیری نشدند، این تفسیر باید به‌عنوان یک مکانیسم احتمالی در نظر گرفته شود و نه یک سازوکار اثبات‌شده است.

از نظر تغییرات وزن بدن، میزان افزایش وزن در گروه‌های دریافت‌کننده مداخلات تمرینی در مقایسه با گروه رژیم پرچرب کمتر بود. بیشترین کاهش در میزان افزایش وزن در گروه تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی مشاهده شد. بااین‌حال، وزن بدن در این گروه همچنان بیشتر از گروه کنترل سالم بود. بنابراین، این یافته‌ها بیشتر نشان‌دهنده تعدیل افزایش وزن ناشی از رژیم پرچرب هستند تا بازگشت کامل وزن بدن به سطح گروه کنترل سالم از نظر شاخص‌های متابولیکی، رژیم پرچرب موجب افزایش معنی‌دار گلوکز ناشتا، تری‌گلیسیرید و انسولین پلاسما شد که بیانگر تغییرات نامطلوب در تنظیم متابولیسم گلوکز و چربی است .این یافته با نتایج مطالعات پیشین در مدل‌های حیوانی دریافت‌کننده رژیم پرچرب که تغییرات نامطلوبی را در شاخص‌های متابولیکی گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد [۳۵،۲۵].

در مطالعه حاضر، تمرین ترکیبی با کاهش این شاخص‌ها همراه بود؛ بااین‌حال، مقادیر مشاهده‌شده همچنان با مقادیر گروه کنترل سالم تفاوت داشتند. این یافته نشان می‌دهد که دوره پنج‌هفته‌ای تمرین با بهبود نسبی شاخص‌های متابولیکی همراه بوده است، هرچند این شاخص‌ها به سطح گروه کنترل سالم بازنگشته بودند.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

اثرات مثبت تمرین بر وضعیت متابولیکی احتمالاً از طریق افزایش برداشت گلوکز توسط عضله، بهبود حساسیت به انسولین، افزایش انتقال ناقل گلوکز نوع ۴ (GLUT4) به غشای سلولی و افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب ایجاد می‌شوند. انقباض عضلانی ناشی از فعالیت بدنی می‌تواند از طریق فعال‌سازی مسیرهایی مانند پروتئین کیناز فعال‌شونده با آدنوزین مونوفسفات (AMPK)، برداشت گلوکز را حتی مستقل از انسولین افزایش دهد و در بلندمدت به تنظیم بهتر متابولیسم گلوکز کمک کند [۲۶]. همچنین، Yu و همکاران نشان دادند که تمرین هوازی مزمن در رت‌های دریافت‌کننده رژیم پرچرب، موجب افزایش حساسیت به انسولین و تعدیل مسیرهای مرتبط با التهاب و استرس اکسیداتیو در عضله اسکلتی می‌شود [۱۰]. یافته‌های مطالعه حاضر نیز با این شواهد همخوانی دارد و نشان می‌دهد که تمرین ترکیبی می‌تواند بخشی از اختلالات متابولیکی ناشی از رژیم پرچرب را تعدیل کند.

نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که زمان واماندگی روی نوارگردان با گلوکز ناشتا، تری‌گلیسرید و انسولین ناشتا رابطه منفی و معنی‌داری داشت، درحالی‌که رابطه آن با عملکرد آزمون روتارود مثبت بود .بااین‌حال، در تحلیل‌های رگرسیون خطی که در آن‌ها اثر گروه آزمایشی کنترل شد، ارتباط زمان واماندگی با گلوکز ناشتا، تری‌گلیسرید و انسولین ناشتا از نظر آماری معنی‌دار باقی نماند . بنابراین، همبستگی‌های مشاهده‌شده در تحلیل اولیه را نمی‌توان به‌عنوان شواهدی از وجود ارتباط مستقل بین شاخص‌های متابولیکی و عملکرد استقامتی تفسیر کرد. این احتمال وجود دارد که بخشی از این ارتباط‌ها تحت تأثیر تفاوت‌های بین گروه‌های آزمایشی قرار گرفته باشند. در مقابل، رابطه مثبت بین زمان واماندگی و عملکرد روتارود نشان‌دهنده همراهی این دو شاخص عملکردی در مطالعه حاضر است؛ بااین‌حال، با توجه به ماهیت همبستگی تحلیل، نمی‌توان از این رابطه، ارتباط علت و معلولی استنباط کرد.

یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر، کوتاه‌بودن دوره مداخله تمرینی بود. همچنین، مطالعه تنها روی رت‌های نر انجام شد و شاخص‌های مولکولی مرتبط با عملکرد میتوکندری، التهاب، استرس اکسیداتیو، مسیر انتقال ناقل گلوکز نوع ۴ و تغییرات اتصال عصب–عضله بررسی نشدند. درنتیجه، اگرچه تغییرات مشاهده‌شده با سازوکارهای فیزیولوژیک پیشنهادی همخوانی دارند، این سازوکارها در مطالعه حاضر مستقیماً ارزیابی نشده‌اند. مطالعات آینده با دوره‌های تمرینی طولانی‌تر، بررسی هر دو جنس و ارزیابی مستقیم مسیرهای سلولی می‌توانند درک دقیق‌تری از سازوکارهای اثر تمرین ترکیبی بر اختلالات ناشی از رژیم پرچرب فراهم کنند.

محدودیت دیگر مطالعه حاضر، تفاوت در حجم و دوز کلی تمرین بین گروه‌های مداخله بود. در گروه تمرین ترکیبی، مؤلفه‌های هوازی، مقاومتی و تعادلی به‌صورت هم‌زمان اجرا شدند؛ درنتیجه، حجم و بار تمرینی کلی این گروه بیشتر از گروه‌هایی بود که تنها یکی از مؤلفه‌های تمرینی را دریافت کردند .بنابراین، نمی‌توان مشخص کرد که تفاوت‌های مشاهده‌شده در برخی پیامدها تا چه اندازه ناشی از ماهیت ترکیبی مداخله و تا چه اندازه ناشی از افزایش حجم و دوز کلی تمرین بوده است. به‌ویژه، میانگین‌های بالاتر برخی شاخص‌های عملکردی در گروه تمرین ترکیبی نباید به‌عنوان شواهد قطعی برتری این مداخله یا وجود اثر هم‌افزایی مؤلفه تعادلی تفسیر شوند. مطالعات آینده با همسان‌سازی حجم، مدت و دوز کلی تمرین بین شرایط آزمایشی و استفاده از طرح‌های فاکتوریل مناسب می‌توانند سهم مستقل هر مؤلفه و احتمال وجود اثر متقابل بین تمرین هوازی–مقاومتی و چالش تعادلی را دقیق‌تر بررسی کنند.

در مجموع، یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی می‌تواند موجب بهبود نسبی عملکرد فیزیکی و تعدیل برخی شاخص‌های متابولیکی در رت‌های نر ویستار دریافت‌کننده رژیم پرچرب شود .این رویکرد چندجزئی، با هدف قرار دادن هم‌زمان ظرفیت استقامتی، عملکرد عضلانی و کنترل عصبی–حرکتی، با بهبود شاخص‌های عملکردی و متابولیکی همراه بود. بااین‌حال، تفسیر نتایج باید با درنظرگرفتن محدودیت‌های مطالعه، به‌ویژه کوتاه‌بودن دوره مداخله، بررسی‌نشدن سازوکارهای مولکولی و تفاوت در حجم و دوز کلی تمرین بین گروه‌ها، انجام شود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که دریافت رژیم پرچرب با کاهش عملکرد فیزیکی و ایجاد تغییرات نامطلوب در برخی شاخص‌های متابولیکی در رت‌های نر ویستار همراه است .در مقابل، تمرین ترکیبی هوازی–مقاومتی همراه با چالش تعادلی با بهبود نسبی عملکرد فیزیکی و تعدیل برخی شاخص‌های متابولیکی در حیوانات دریافت‌کننده رژیم پرچرب همراه بود .بااین‌حال، ازآنجاکه حجم و دوز کلی تمرین در گروه ترکیبی بیشتر بود، نمی‌توان سهم مستقل مؤلفه تعادلی یا وجود اثر هم‌افزایی بین مؤلفه‌های تمرینی را بر اساس یافته‌های حاضر به‌طور قطعی تعیین کرد .مطالعات آینده با همسان‌سازی حجم و دوز کلی تمرین، استفاده از طرح‌های فاکتوریل و بررسی دوره‌های تمرینی طولانی‌تر می‌توانند نقش مستقل و اثر متقابل مؤلفه‌های مختلف تمرینی را با دقت بیشتری مشخص کنند.

تشکر و قدردانی: بدین‌وسیله از کلیه افرادی که در انجام این پژوهش ما را یاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Cornier MA, Dabelea D, Hernandez TL, Lindstrom RC, Steig AJ, Stob NR, et al. The metabolic syndrome. Endocr Rev. 2008;29(7):777-822. doi:10.1210/er.2008-0024 PMid:18971485
2. Pérez-Martínez P, Mikhailidis DP, Athyros VG, Bullo M, Couture P, Covas MI, et al. Lifestyle recommendations for the prevention and management of metabolic syndrome: an international panel recommendation. Nutr Rev. 2017;75(5):307-326. doi:10.1093/nutrit/nux014 PMid:28521334 PMCid:PMC5914407
3. Tchernof A, Després JP. Pathophysiology of human visceral obesity: an update. Physiol Rev. 2013;93(1):359-404. doi:10.1152/physrev.00033.2011. PMid:23303913 PMCid:PMC4070603
4. Gargallo P, Tamayo E, Jiménez-Martínez P, Juesas A, Casana J, Benitez-Martinez JC, et al. Multicomponent and power training with elastic bands improve metabolic and inflammatory parameters, body composition and anthropometry, and physical function in older women with metabolic syndrome: a 20-week randomized, controlled trial. Exp Gerontol. 2024;185:112340. doi:10.1016/j.exger.2023.112340 PMid:38061437
5. Alqallaf J, Orange ST, Matu J, Griffiths A, Johnson K, Stavropoulos-Kalinoglou A, et al. The effect of high-fat diet on intramyocellular lipid content in healthy adults: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. J Nutr. 2024;154(4):1087-1100. doi:10.1016/j.tjnut.2024.02.026 PMid:38417551 PMCid:PMC11007750
6. Mthembu SX, Dludla PV, Nyambuya TM, Kappo AP, Madoroba E, Ziqubu K, et al. Experimental models of lipid overload and their relevance in understanding skeletal muscle insulin resistance and pathological changes in mitochondrial oxidative capacity. Biochimie. 2022;196:182-193. doi:10.1016/j.biochi.2021.09.010. PMid:34563603
7. Akbulut T. Effects of resistance exercises on body composition and some biochemical parameters. J Educ Learn. 2020;9(1):144-148. doi:10.5539/jel.v9n1p144
8. Cani PD, Amar J, Iglesias MA, Poggi M, Knauf C, Bastelica D, et al. Metabolic endotoxemia initiates obesity and insulin resistance. Diabetes. 2007;56(7):1761-1772. doi:10.2337/db06-1491 PMid:17456850 PMCid:PMC10995354
9. Powers SK, Lynch GS, Murphy KT, Reid MB, Zijdewind I. Disease-induced skeletal muscle atrophy and fatigue. Med Sci Sports Exerc. 2016;48(11):2307.doi:10.1249/MSS.0000000000000975 PMid:27128663 PMCid:PMC5069191
10. Kubat GB, Bouhamida E, Ulger O, Turkel I, Pedriali G, Ramaccini D, et al. Mitochondrial dysfunction and skeletal muscle atrophy: causes, mechanisms, and treatment strategies. Mitochondrion. 2023;72:33-58. doi:10.1016/j.mito.2023.07.003 PMid:37451353
11. y Valenzuela IMP, Akaaboune M. The disassembly of the neuromuscular synapse in high-fat diet-induced obese male mice. Mol Metab. 2020;36:100979. doi:10.1016/j.molmet.2020.100979 PMid:32283080 PMCid:PMC7182767
12. Smith JA, Murach KA, Dyar KA, Zierath JR. Exercise metabolism and adaptation in skeletal muscle. Nat Rev Mol Cell Biol. 2023;24(9):607-632. doi:10.1038/s41580-023-00606-x PMid:37225892 PMCid:PMC10527431
13. Jang Y, Lee MJ, Han J, Kim SJ, Ryu I, Ju X, et al. A high-fat diet induces a loss of midbrain dopaminergic neuronal function that underlies motor abnormalities. Exp Neurobiol. 2017;26(2):104. doi:10.5607/en.2017.26.2.104 PMid:28442947 PMCid:PMC5403908
14. Jiménez-García M, Quetglas-Llabrés MM, Ribas-Taberner MDM, Sureda-Gomila A, Tejada-Gavela D. Effects of combining exercise and dietary shifts on motor coordination and oxidative markers in a high-fat diet model in rats. Compr Physiol. 2025;15(6):e70074. doi:10.1002/cph4.70074 PMid:41292131 PMCid:PMC12647931
15. Jun L, Robinson M, Geetha T, Broderick TL, Babu JR. Prevalence and mechanisms of skeletal muscle atrophy in metabolic conditions. Int J Mol Sci. 2023;24(3):2973. doi:10.3390/ijms24032973 PMid:36769296 PMCid:PMC9917738
16. Kocaman AA, Gürbüz AK, Arslan SA, Sertel M. Locomotive syndrome, balance, frailty, physical fitness level in older adults with metabolic syndrome in Turkey: a comparative study. J Aging Phys Act. 2026;1(aop):1-10. doi:10.1123/japa.2025-0224 PMid:42248429
17. Yu Q, Xia Z, Liong EC, Tipoe GL. Chronic aerobic exercise improves insulin sensitivity and modulates Nrf2 and NF-κB/IκBα pathways in the skeletal muscle of rats fed with a high-fat diet. Mol Med Rep. 2019;20(6):4963-4972. doi:10.3892/mmr.2019.10787
18. Barakou I, Sakalidis KE, Abonie US, Finch T, Hackett KL, Hettinga FJ. Effectiveness of physical activity interventions on reducing perceived fatigue among adults with chronic conditions: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. Sci Rep. 2023;13(1):14582. doi:10.1038/s41598-023-41075-8 PMid:37666869
19. Zhang L, Liu X, Hu J, Quan H, Lee SK, Korivi M, et al. Aerobic exercise attenuates high-fat diet-induced glycometabolism impairments in skeletal muscle of rat: role of EGR-1/PTP1B signaling pathway. Nutr Metab (Lond). 2024;21(1):113.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]

doi:10.1186/s12986-024-00888-8 PMid:39741281 PMCid:PMC11686907
20. Touati S, Meziri F, Devaux S, Berthelot A, Touyz RM, Laurant P. Exercise reverses metabolic syndrome in high-fat diet-induced obese rats. Med Sci Sports Exerc. 2011;43(3):398-407. doi:10.1249/MSS.0b013e3181eeb12d PMid:20631645
21. Ahn N, Kim K. Effects of aerobic and resistance exercise on myokines in high fat diet-induced middle-aged obese rats. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(8):2685. doi:10.3390/ijerph17082685 PMid:32295130 PMCid:PMC7215661
22. Lee G, Kim Y, Jang JH, Lee C, Yoon J, Ahn N, et al. Effects of an exercise program combining aerobic and resistance training on protein expressions of neurotrophic factors in obese rats injected with beta-amyloid. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(13):7921. doi:10.3390/ijerph19137921 PMid:35805580 PMCid:PMC9266049
23. Sasidharan SR, Joseph JA, Anandakumar S, Venkatesan V, Ariyattu Madhavan CN, Agarwal A. An experimental approach for selecting appropriate rodent diets for research studies on metabolic disorders. Biomed Res Int. 2013;2013:752870. doi:10.1155/2013/752870 PMid:24151620 PMCid:PMC3787574
24. Hyun SH, Kim YM, Park SJ. The effects of preceding exercise on myocardial damage in rats. J Phys Ther Sci. 2017;29(3):508-510. doi:10.1589/jpts.29.508 PMid:28356642 PMCid:PMC5361021
25. Bejma J, Ji LL. Aging and acute exercise enhance free radical generation in rat skeletal muscle. J Appl Physiol (1985). 1999;87(1):465-470. doi:10.1152/jappl.1999.87.1.465 PMid:10409609
26. Roberts BM, Geddis AV, Ciuciu A, Reynoso M, Mehta N, Varanoske AN, et al. Ibuprofen, flurbiprofen or naproxen sodium minimally influences musculoskeletal adaptations to treadmill exercise in rats. J Cachexia Sarcopenia Muscle. 2025;16(2):e13798. doi:10.1002/jcsm.13798 PMid:40211462 PMCid:PMC11985359
27. Philippe AG, Py G, Favier FB, Sanchez AM, Bonnieu A, Busso T, et al. Modeling the responses to resistance training in an animal experiment study. Biomed Res Int. 2015;2015:914860. doi:10.1155/2015/914860 PMid:25695093 PMCid:PMC4324815
28. Song H, Cho S, Lee HY, Lee H, Song W. The effects of progressive resistance exercise on recovery rate of bone and muscle in a rodent model of hindlimb suspension. Front Physiol. 2018;9:1085. doi:10.3389/fphys.2018.01085 PMid:30150940 PMCid:PMC6099092
29. Lourenço Í, Krause Neto W, dos Santos Portella Amorim L, Moraes Munhoz Ortiz V, Lopes Geraldo V, Henrique da Silva Ferreira G, et al. Muscle hypertrophy and ladder-based resistance training for rodents: a systematic review and meta-analysis. Physiol Rep. 2020;8(17):e14502. doi:10.14814/phy2.14502 PMid:32889774 PMCid:PMC7507488
30. Qi ZX, Shen KL, Peng JY, Fan XJ, Huang HW, Jiang JL, et al. Histamine bidirectionally regulates the intrinsic excitability of parvalbumin-positive neurons in the lateral globus pallidus and promotes motor behaviour. Br J Pharmacol. 2023;180(10):1379-1407. doi:10.1111/bph.16010 PMid:36512485
31. Zaretsky DV, Kline H, Zaretskaia MV, Rusyniak DE. Automatic analysis of treadmill running to estimate times to fatigue and exhaustion in rodents. PeerJ. 2018;6:e5017. doi:10.7717/peerj.5017 PMid:30002953 PMCid:PMC6037152
32. Degens H, Swaminathan A, Tallis J. A high-fat diet aggravates the age-related decline in skeletal muscle structure and function. Exerc Sport Sci Rev. 2021;49(4):253-259. doi:10.1249/JES.0000000000000261 PMid:33927161
33. Lark D, Fisher-Wellman K, Neufer P. High-fat load: mechanism(s) of insulin resistance in skeletal muscle. Int J Obes Suppl. 2012;2(2):S31-S36. doi:10.1038/ijosup.2012.20 PMid:26052434 PMCid:PMC4457392
34. Schumann M, Feuerbacher JF, Sünkeler M, Freitag N, Rønnestad BR, Doma K, et al. Compatibility of concurrent aerobic and strength training for skeletal muscle size and function: an updated systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2022;52(3):601-612. doi:10.1007/s40279-021-01587-7 PMid:34757594 PMCid:PMC8891239
35. Fraulob JC, Ogg-Diamantino R, Fernandes-Santos C, Aguila MB, Mandarim-de-Lacerda CA. A mouse model of metabolic syndrome: insulin resistance, fatty liver and non-alcoholic fatty pancreas disease (NAFPD) in C57BL/6 mice fed a high-fat diet. J Clin Biochem Nutr. 2010;46(3):212-223. doi:10.3164/jcbn.09-83 PMid:20490316 PMCid:PMC2872226
36. Miri A, Abdollahi S, Abdolhamid Tehrani M, Dehghan E. Comparison of the effect of high and moderate intensity interval training on the serum levels of irisin and brain-derived neurotrophic factor in male students with obesity. Feyz. 2023;27(5):521-528. doi:10.48307/FMSJ.2023.0.5.523

How to Cite this Article:
Sayyed A, Abdolhamidtehrani M. Effects of Combined Aerobic–Resistance Training with a Balance Challenge on Physical Performance and Metabolic Indices in Male Wistar Rats Fed a High-Fat Diet. , Feyz Med Sci J. 2026; 30(5):540-556. doi: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.48307/FMSJ.2026.30.5.540]