

## The Interactive effect of High Intensity Interval training and nanocurcumin consumption on regulating glucose metabolism in obese and overweight women

Trifah Babaei<sup>1</sup>, Khalid Mohamadzadeh Salamat<sup>✉1</sup>, Zaher Etemad<sup>1</sup>

Received: 2025/09/11

Accepted: 2025/12/31

### Abstract

**Aim:** The aim of the present study was to investigate the effect of high-intensity interval training (HIIT) and nanocurcumin consumption on the regulation of glucose metabolism in obese and overweight women.

**Method:** Forty obese and overweight women (BMI=31.09 ± 2.77) were divided into five groups of 8: high-intensity interval training (HIIT), nanocurcumin (NanoC), HIIT + NanoC, placebo (PI), and control. The HIIT training groups ran for eight weeks, three sessions per week, at an intensity of 80% of maximum heart rate (HRmax). The nanocurcumin groups received 80 mg of it daily for eight weeks. HbA1c, fasting glucose, insulin resistance index (HOMA-IR), and time to exhaustion (TTE) were measured before and after the intervention and analyzed using two-way analysis of variance (ANOVA).

**Results:** The results showed that glucose and HOMA-IR levels were significantly different between the study groups (p<0.001). The greatest reduction in serum glucose (14.72%) and HOMA-IR (47.54%) was observed in the HIIT+NanoC group compared to the NanoC and PL groups (p<0.001, for all comparisons). Also, HbA1c levels in the HIIT+NanoC group had the greatest significant reduction compared to both the HIIT (p=0.001) and NanoC (p=0.001) groups. In addition, TTE in the HIIT+NanoC group was significantly increased compared to the NanoC, HIIT, and PI groups (p<0.001).

**Conclusion:** HIIT training and nanocurcumin supplementation as non-pharmacological interventions had beneficial effects on glucose control, especially on insulin resistance in obese and overweight women. The combination of these two interventions as well as HIIT training had greater effects on improving glucose metabolism than nanocurcumin consumption alone.

**Keywords:** HIIT, nano-curcumin, obesity, glucose metabolism, insulin resistance.

<sup>1</sup>. Department of Physical Education and Sport Sciences, Sa.C., Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

✉ Corresponding author:

[kh.mohammadzadeh@iau.a.c.ir](mailto:kh.mohammadzadeh@iau.a.c.ir)

ISSN: 2980-8960

All rights of this article are reserved for authors.

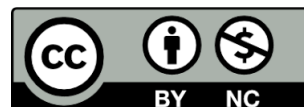
Owner and Publisher: University of Kurdistan

Journal ISSN (online): 2980-8960

Access Type: Open Access

DOI: <https://doi.org/10.22034/ren.2025.144495.1129>

Copyright ©The authors



### Citation:

Babaei T, Mohamadzadeh Salamat Kh, Etemad Z. The Interactive effect of High Intensity Interval training and nanocurcumin consumption on regulating glucose metabolism in obese and overweight women. *Research in Exercise Nutrition*. 2025;4(4):- . Doi: <https://doi.org/10.22034/ren.2025.144495.1129>

### Problem Statement and Research Significance

Obesity and overweight have emerged as major public health challenges in recent decades, serving as primary risk factors for insulin resistance, type 2 diabetes, and other metabolic disorders. Excess adipose tissue, particularly visceral fat, leads to adverse changes in adipokine secretion, systemic inflammation, and glucose homeostasis disruption, ultimately reducing insulin sensitivity. This is particularly critical in women with overweight or obesity, where effective interventions are needed to improve glucose metabolism. High-Intensity Interval Training (HIIT) offers a time-efficient exercise modality that enhances mitochondrial function and insulin sensitivity, while nanocurcumin, with improved bioavailability, provides anti-inflammatory and antioxidant benefits. The key research question is whether combining HIIT and nanocurcumin yields greater improvements in glucose metabolism compared to each intervention alone. Addressing this could provide evidence for multifaceted, non-pharmacological strategies to prevent or manage type 2 diabetes in at-risk populations.

### Methodology Overview (Research Methods, Study Population, Instruments)

This quasi-experimental study employed a pre-test and post-test design with a control group. The target population consisted of adult women (aged 30-40 years) residing in Marivan County, Iran, with a body mass index (BMI) of 25 kg/m<sup>2</sup> or higher. Forty participants were purposefully selected based on inclusion criteria (e.g., no diagnosed diabetes under treatment, no regular exercise >2 sessions/week in the past 3 months) and exclusion criteria (e.g., pregnancy, severe cardiovascular issues, chronic use of glucose-affecting medications). Using block randomization via [www.randomizer.org](http://www.randomizer.org), they were divided into five groups of eight: HIIT, Nanocurcumin (NanoC), HIIT+NanoC, Placebo (Pl), and Control. The HIIT protocol involved eight weeks of three sessions per week on a Monark ergometer bike, with 10 intervals of 1-minute high-intensity (80% HR<sub>max</sub>) alternated with active recovery (60% HR<sub>max</sub>). NanoC groups received 80 mg daily of nanocurcumin softgel (Exir Nanosina, Iran). Measurements included anthropometrics (weight, BMI, body fat via InBody 720), blood samples for fasting glucose (glucose oxidase-peroxidase kit), HbA1c (HPLC kit), insulin (ELISA kit), and HOMA-IR calculation. Time to Exhaustion (TTE) was assessed on a treadmill at 85% HR<sub>max</sub>. Data were analyzed using two-way ANOVA and Bonferroni post-hoc tests in SPSS v26, with significance at  $p < 0.05$ .

### Key Findings and Results Analysis

The study revealed significant effects of time, group, and time × group interactions on anthropometric and metabolic variables (Table 1). For weight, BMI, and body fat percentage, reductions were most pronounced in intervention groups. The HIIT group showed a 5.51% weight loss compared to Control ( $p=0.001$ ), 5.44% vs. Placebo ( $p=0.001$ ), and 4.26% vs. NanoC ( $p=0.001$ ). The HIIT+NanoC group exhibited greater reductions: 9.13% vs. Control ( $p=0.001$ ), 9.07% vs. Placebo ( $p=0.001$ ), and 7.93% vs. NanoC ( $p=0.003$ ), though no significant difference existed between HIIT and HIIT+NanoC ( $p=0.07$ ). Similar patterns emerged for BMI (HIIT: 5.90% reduction vs. Control,  $p=0.003$ ; HIIT+NanoC: 8.99% vs. Control,  $p=0.001$ ) and body fat (HIIT: 3.75% vs. Control,  $p < 0.05$ ).

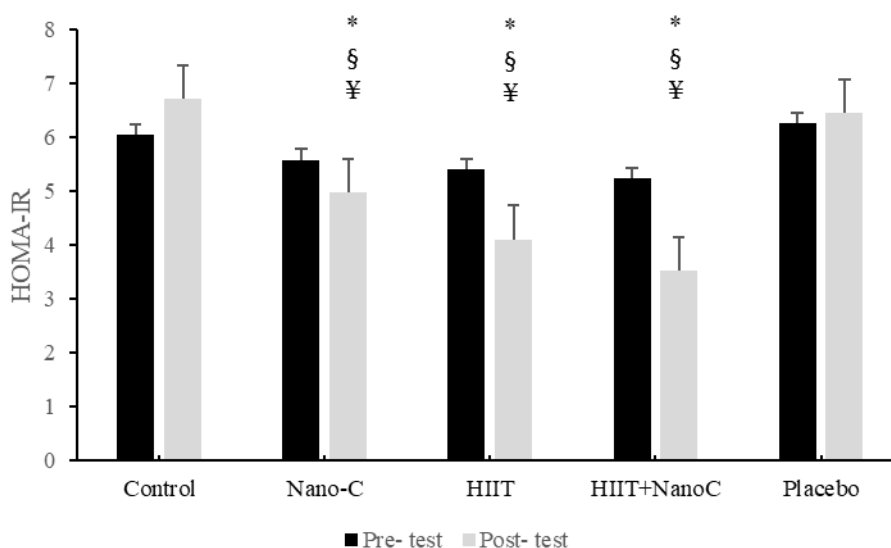
**Table 1.** Descriptive and anthropometric characteristics of the subjects.

Group/ Variables	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)		BMI (kg/m <sup>2</sup> )		body fat (%)	
			Pre- test	Post- test	Pre- test	Post- test	Pre- test	Post- test
Control	35.38 ± 4.27	165.67 ± 4.14	86.61 ± 5.27	87.14 ± 5.38	31.48 ± 2.17	32.30 ± 2.15	36.56 ± 2.18	36.64 ± 2.43
Nano-C	34.25 ± 2.65	166.16 ± 5.16	87.49 ± 6.16	86 ± 5.47	31.86 ± 2.45	31.27 ± 2.72	37.41 ± 2.27	37.57 ± 2.39
HIIT	36.25 ± 4.28	165.62 ± 4.72	85.23 ± 7.20	82.34 ± 6.51	31.25 ± 2.27	30.14 ± 3.41	38.33 ± 3.10	37.23 ± 3.06 <sup>†‡§*</sup>
HIIT+NanoC	34.50 ± 3.58	166.39 ± 5.44	84.19 ± 4.69	79.18 ± 4.69	30.42 ± 2.54	29.15 ± 3.36	38.49 ± 3.01	36.67 ± 3.32 <sup>†‡§*</sup>
Placebo	36.39 ± 2.91	165 ± 6.10	86.13 ± 5.18	87.08 ± 6.23	31.66 ± 2.33	31.64 ± 2.52	37.73 ± 2.36	37.52 ± 2.84

(\*): Significant compared to pre-test. (§): Significant compared to control group. (¥): Significant compared to placebo group. (†): Significant compared to nanocurcumin supplement group.

Metabolic indices demonstrated marked improvements. Serum glucose levels decreased by 4.92% in NanoC, 12.75% in HIIT, and 14.72% in HIIT+NanoC, with Placebo showing a 3.80% increase. HIIT and HIIT+NanoC reductions were significantly greater than NanoC (9.90% and 12.03%, respectively;  $p=0.001$ ). HOMA-IR reductions were 25.93% in NanoC, 38.90% in HIIT, and 47.54% in HIIT+NanoC ( $p=0.001$  for all), with HIIT and HIIT+NanoC outperforming NanoC by 17.51% and 29.18% ( $p=0.001$ ), but no difference between HIIT groups. HbA1c showed a time effect ( $p=0.003$ ,  $t=3.16$ ) and group effect ( $p=0.001$ ,  $F=5.20$ ), with time  $\times$  group interaction ( $p=0.001$ ,  $F=4.90$ ). The HIIT+NanoC group had the greatest reduction compared to HIIT ( $p=0.001$ ) and NanoC ( $p=0.001$ ). Serum insulin decreased by 43.5% in HIIT+NanoC, versus 29% in HIIT and 13% in NanoC, indicating synergy. TTE increased significantly in HIIT+NanoC (~3 minutes,  $p<0.001$ ), followed by HIIT and NanoC, with negligible changes in Placebo and Control (time  $\times$  group:  $p<0.001$ ; group:  $p<0.001$ ).

These results suggest synergistic effects, where HIIT enhances muscle glucose uptake via AMPK and GLUT-4 pathways, while nanocurcumin reduces inflammation and oxidative stress, amplifying metabolic benefits. Discrepancies with prior studies may stem from variations in population, dosage, or protocol duration.



**Figure 1.** Effect of High Intensity Interval training and nanocurcumin consumption on HOMA-IR in obese and overweight women. (\*): Significant compared to pre-test. (§): Significant compared to control group. (¥): Significant compared to placebo group. (†): Significant compared to nanocurcumin supplement group.

### Innovation and Practical Implications

This study innovates by investigating the combined effects of HIIT and nanocurcumin in overweight/obese women, a demographic underrepresented in prior research, using a rigorous five-group design to isolate synergistic impacts. Unlike studies focusing on isolated interventions, it highlights nanocurcumin's enhanced bioavailability for metabolic applications. Practically, these findings advocate non-pharmacological strategies for glucose control, potentially reducing reliance on medications in prediabetic populations. HIIT's time-efficiency (short sessions) combined with especially in resource-limited settings. Clinicians can integrate this for weight management and

diabetes prevention, improving patient adherence through combined modalities. Broader implications include policy recommendations for community-based fitness and supplement protocols, fostering preventive healthcare. Future innovations could explore molecular mechanisms (e.g., NF- $\kappa$ B inhibition) via advanced biomarkers, enhancing personalized interventions.

### Conclusions and Recommendations

In conclusion, combining HIIT and nanocurcumin synergistically optimizes glucose metabolism, insulin sensitivity, and endurance in obese women, outperforming individual interventions. This underscores the value of multimodal approaches in metabolic disorder management. Recommendations include larger-scale studies with diverse populations (e.g., men, diabetics) and longer durations to assess sustainability. Incorporate detailed dietary controls and long-term follow-ups to evaluate enduring effects. Explore molecular pathways (e.g., AMPK activation) for deeper insights. Public health initiatives should promote HIIT-nanocurcumin protocols in clinical guidelines, emphasizing safety and accessibility to mitigate obesity-related risks globally.

مقاله در حال انتشار - پذیرفته شده

## اثر تعاملی تمرین تناوبی شدید و مصرف نانوکورکومین در تنظیم متابولیسم گلوکز زنان چاق و دارای اضافه وزن

تریفه بابایی<sup>۱</sup>، خالد محمد زاده سلامت<sup>۱</sup>✉، ظاهر اعتماد<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

### چکیده

۱- گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

**هدف:** هدف تحقیق حاضر بررسی اثر تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) و مصرف نانوکورکومین بر تنظیم متابولیسم گلوکز زنان چاق و دارای اضافه وزن بود.

**روش شناسی:** چهل زن چاق و دارای اضافه وزن ( $BMI=31.09 \pm 2.77$ ) به پنج گروه ۸ نفری شامل: تمرینات تناوبی شدید (HIIT)، نانوکورکومین (NanoC)، HIIT + NanoC، دارونما (PI) و کنترل تقسیم شدند. گروه های تمرین HIIT به مدت هشت هفته و سه جلسه در هفته و با شدت ۸۰ درصد حداکثر ضربان قلب (HRmax) دویند. گروه های مصرف نانوکورکومین در مدت هشت هفته روزانه ۸۰ میلی گرم از آن دریافت کردند. شاخص های HbA1c، گلوکز ناشتا و شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) و زمان رسیدن به واماندگی (TTE) قبل و بعد از مداخله اندازه گیری و با روش تحلیل واریانس (ANOVA) دوره تحلیل شدند.

**یافته ها:** نتایج نشان داد سطوح گلوکز و HOMA-IR بین گروه های پژوهش تفاوت معناداری دارد ( $P<0.001$ ). بیشترین کاهش در گلوکز سرم ( $14/72\%$ ) و HOMA-IR ( $47/54\%$ ) در گروه HIIT+NanoC نسبت به گروه های NanoC و PL مشاهده شد ( $P<0.001$ ) برای تمامی مقایسات. همچنین، سطوح HbA1c در گروه HIIT+NanoC بیشترین کاهش معنادار را نسبت به هر دو گروه HIIT ( $P=0.001$ ) و NanoC ( $P=0.001$ ) داشت. علاوه بر این، TTE در گروه HIIT+NanoC در مقایسه با گروه های HIIT، NanoC، PI افزایش معناداری داشت ( $P<0.001$ ).

**نتیجه گیری:** تمرین HIIT و مکمل نانوکورکومین به عنوان مداخلات غیردارویی اثرات مفیدی بر کنترل گلوکز به ویژه بر مقاومت به انسولین در زنان چاق و دارای اضافه وزن داشت. ترکیب این دو مداخله و نیز تمرین HIIT نسبت به مصرف نانوکورکومین به تنهایی اثرات بیشتری در بهبود متابولیسم گلوکز ایجاد کرد.

**واژگان کلیدی:** HIIT، نانوکورکومین، متابولیسم گلوکز، مقاومت به انسولین، چاقی.

نویسنده مسئول: ✉

[kh.mohammadzadeh@iau.ac.ir](mailto:kh.mohammadzadeh@iau.ac.ir)

ISSN: ۲۹۸۰-۸۹۶۰

تمامی حقوق این مقاله برای نویسندگان محفوظ است.

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه کردستان

شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۸۹۶۰

نوع دسترسی: آزاد



DOI: <https://doi.org/10.22034/ren.2025.144495.1129>

Copyright ©The authors

### Citation:

Babaei T, Mohamadzadeh Salamat Kh, Etemad Z. The Interactive effect of High Intensity Interval training and nanocurcumin consumption on regulating glucose metabolism in obese and overweight women. *Research in Exercise Nutrition*. 2025;4(4):- . Doi: <https://doi.org/10.22034/ren.2025.144495.1129>

## مقدمه

کورتومین همراه با تمرینات ورزشی ممکن است اثرات مفیدی در تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی در افراد دارای اضافه وزن داشته باشد (۱۲). قراخانلو و همکاران (۲۰۲۵)، در مطالعه دیگری نشان داد که تمرینات HIIT به همراه مصرف کورتومین تأثیر بیشتری بر کاهش چاقی در زنان دارد و کورتومین و تمرینات HIIT می‌توانند به عنوان یک رویکرد درمانی برای کاهش پیامدهای منفی چاقی در نظر گرفته شوند (۱۳).

با وجود شواهد جداگانه‌ای که از اثرات مفید تمرین HIIT و مصرف نانوکورتومین بر متابولیسم گلوکز حمایت می‌کنند، مطالعات اندکی به بررسی اثرات ترکیبی این دو مداخله پرداخته‌اند (۱۲). مکانیسم احتمالی اثر کورتومین بر متابولیسم گلوکز، عمدتاً از طریق کاهش مقاومت به انسولین است. این امر با مهار مسیرهای التهابی کلیدی مانند NF-κB، کاهش استرس اکسیداتیو و فعال‌سازی مسیر AMPK (که در جذب گلوکز نقش دارد) محقق می‌شود. فرم نانویی کورتومین، با افزایش زیست‌دسترسی، این اثرات را تقویت می‌کند (۱۴).

از آنجا که HIIT می‌تواند از طریق تحریک مسیرهای متابولیکی وابسته به عضله و نانوکورتومین از طریق کاهش التهاب و استرس اکسیداتیو عمل کند (۱۵)، انتظار می‌رود که اجرای همزمان این دو راهبرد دارای اثرات هم‌افزایی در بهبود تنظیم قند خون و افزایش حساسیت به انسولین باشد. بنابراین، پرسش اصلی این پژوهش آن است که آیا ترکیب تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل‌سازی نانوکورتومین می‌تواند نسبت به هر یک از این مداخلات به تنهایی، اثر بیشتری بر بهبود متابولیسم گلوکز در زنان چاق و دارای اضافه‌وزن داشته باشد؟ پاسخ به این پرسش می‌تواند شواهد علمی ارزشمندی برای طراحی مداخلات چندوجهی به‌منظور پیشگیری یا کنترل دیابت نوع ۲ در جمعیت‌های پرخطر فراهم کند.

## روش‌شناسی

### آزمودنی‌ها

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح پس‌آزمون و پیش‌آزمون با گروه کنترل بود. جامعه هدف این مطالعه را زنان بالغ (۳۰-۴۰ سال) دارای اضافه‌وزن یا چاقی ساکن در شهرستان مریوان تشکیل می‌دادند که دارای شاخص توده بدنی (BMI) برابر یا بالاتر از ۲۵ کیلوگرم بر متر مربع بودند و شرایط اولیه لازم برای شرکت در تمرینات ورزشی و مکمل‌سازی را داشتند. این جامعه شامل زنان سالم (بدون دیابت تشخیص‌داده‌شده تحت درمان)، یا زنان با اختلالات متابولیکی خفیف تا متوسط که به

چاقی و اضافه‌وزن به‌عنوان یکی از معضلات جدی سلامت عمومی در دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای شیوع یافته‌اند و به‌عنوان عوامل خطر اصلی برای بروز مقاومت به انسولین، دیابت نوع ۲، و سایر اختلالات متابولیک شناخته می‌شوند (۱). افزایش توده چربی، به‌ویژه در ناحیه احشایی، با تغییرات نامطلوب در ترشح آدیپوکاین‌ها، افزایش التهاب سیستمیک و اختلال در هموستاز گلوکز همراه است و در نهایت منجر به کاهش حساسیت به انسولین می‌شود (۲). به همین دلیل، یافتن رویکردهای مؤثر برای بهبود متابولیسم گلوکز در زنان دارای اضافه‌وزن و چاق اهمیت ویژه‌ای دارد.

تمرینات تناوبی با شدت بالا<sup>۱</sup> (HIIT) به‌عنوان یک الگوی ورزشی نوین و کارآمد، به دلیل صرف زمان کمتر و اثرات متابولیکی قابل توجه، در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است (۳). مطالعات نشان داده‌اند که HIIT می‌تواند از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو، بهبود ظرفیت میتوکندریایی عضلات، و تحریک مسیرهای سیگنالی مرتبط با GLUT-4، حساسیت به انسولین و برداشت گلوکز محیطی را بهبود بخشد (۴، ۵). علاوه بر این، HIIT در مقایسه با تمرینات تداومی با شدت متوسط<sup>۲</sup> (MICE) قادر است با حجم تمرین کمتر، تغییرات مشابه یا حتی بیشتری در شاخص‌های متابولیسم گلوکز ایجاد کند (۶، ۷).

از سوی دیگر، استفاده از ترکیبات طبیعی با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، به‌عنوان راهکار مکمل برای مقابله با اختلالات متابولیکی مورد توجه قرار گرفته است (۸). کورتومین، ماده فعال زردچوبه، دارای اثرات اثبات‌شده‌ای در کاهش استرس اکسیداتیو، مهار مسیرهای التهابی (مانند NF-κB) و بهبود عملکرد سلول‌های بتای پانکراس است (۹). با این حال، زیست‌دسترسی پایین کورتومین در فرم معمولی، کارایی درمانی آن را محدود کرده است. به همین دلیل، استفاده از فرمولاسیون‌های نوین مانند نانوکورتومین، که جذب و پایداری بیشتری دارند، به‌عنوان راهکار بالقوه برای ارتقاء اثربخشی این ترکیب در مطالعات انسانی پیشنهاد شده است (۱۰). پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که مصرف نانوکورتومین می‌تواند سطوح قند خون ناشتا، HbA1c و شاخص‌های مقاومت به انسولین<sup>۳</sup> (HOMA-IR) را در بیماران مبتلا به دیابت و افراد در معرض خطر کاهش دهد (۱۱). فخری و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای نشان داد که مصرف مکمل

1. High intensity interval training.

2. Moderate intensity continuous training.

3. Homeostatic Model Assessment for Insulin Resistance.

## ملاحظات اخلاقی

تمام مراحل مطالعه با رعایت اصول اخلاقی مربوط به پژوهش‌های انسانی انجام شد و پروتکل مطالعه توسط کمیته اخلاق پژوهشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنجید با کد IR.IAU.SDJ.REC.1404.036 تصویب گردید. تمامی شرکت‌کنندگان قبل از ورود به مطالعه، فرم رضایت آگاهانه را مطالعه و امضا کردند. شرکت‌کنندگان از اهداف، روش‌ها، مزایا، خطرات احتمالی، و حق ترک مطالعه در هر زمان آگاه شدند. همچنین، حفظ محرمانگی اطلاعات شخصی و داده‌های آزمایشگاهی به‌طور کامل تضمین شد و تمامی نتایج فقط به صورت گروهی و ناشناس گزارش شدند.

قبل از آغاز مداخلات، تمامی شرکت‌کنندگان در یک جلسه آشنایی با مطالعه و تمرین HIIT حضور یافتند تا با نحوه اجرای تمرینات، شدت و زمان‌بندی هر جلسه و استفاده از تجهیزات آشنا شدند. در این مرحله، سلامت عمومی، سابقه پزشکی، داروها و عادات سبک زندگی بررسی شد تا اطمینان حاصل شود که شرکت‌کنندگان واجد شرایط حضور در برنامه تمرینی و تکمیل‌سازی هستند.

ارزیابی اولیه شامل اندازه‌گیری‌های پایه‌ای متابولیک و فیزیولوژیک بود که شامل: وزن، قد و محاسبه شاخص توده بدنی (BMI)، دور کمر و نسبت دور کمر به باسن، فشار خون و ضربان قلب در حالت استراحت، و نمونه‌گیری خون برای تعیین گلوکز ناشتا، HbA1c، انسولین سرم و شاخص HOMA-IR بود. نمونه‌گیری خون پس از ۱۰ تا ۱۲ ساعت ناشتایی شبانه در ساعات ۸ تا ۹ صبح و در حالت نشسته از ورید آنتی‌کوبیتال به‌وسیله سرنگ یکبار مصرف استریل انجام شد. به‌طور متوسط ۵ میلی‌لیتر خون وریدی جمع‌آوری و در لوله‌های بدون ضد انعقاد برای تهیه سرم ریخته شد.

پس از نمونه‌گیری، خون‌های جمع‌آوری شده طبق پروتکل استاندارد، به مدت ۱۰ دقیقه با دور  $3000 \times g$  در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند (سانتریفیوژ مدل Hettich EBA 20، آلمان) تا سرم جدا گردد (۱). سرم‌های جدا شده بلافاصله به میکروتیوب‌های استریل منتقل و جهت جلوگیری از چرخه‌های ذوب-انجماد، در فریزر  $-80$  درجه سانتی‌گراد (مدل Thermo Scientific، آمریکا) نگهداری شدند. تمامی نمونه‌ها برای مدت زمان حداکثر ۶ هفته در این شرایط ذخیره شدند و سپس در یک

صورت سرپایی کنترل شده اند، بود، مشروط بر اینکه با معیارهای ورود و خروج مطابقت داشتند. معیارهای ورود شامل: زنان ۴۰ تا ۳۰ سال، شاخص BMI بالاتر از ۲۵، عدم تشخیص دیابت نوع ۱ یا نوع ۲ تحت درمان دارویی، عدم شرکت منظم در برنامه ورزشی منظم بیشتر از ۲ جلسه در هفته طی ۳ ماه قبل از مطالعه، تمایل به همکاری و امضای فرم رضایت‌نامه آگاهانه، عدم مصرف مزمن مکمل کورکومین یا داروهای مؤثر بر متابولیسم گلوکز طی ۳ ماه گذشته بودند. برای تعیین حجم نمونه مورد نیاز مطالعه، از نرم‌افزار (G\*Power) نسخه ۳.۱ استفاده شد. با توجه به طراحی مطالعه به صورت کارآزمایی بالینی با پنج گروه و اندازه‌گیری پیش‌آزمون و پس‌آزمون، آزمون ANOVA دوطرفه در نظر گرفته شد تا اثر اصلی گروه، اثر زمان و اثر تعامل گروه  $\times$  زمان بر متغیرهای متابولیسم گلوکز بررسی گردد. پارامترهای مورد استفاده در محاسبه حجم نمونه شامل سطح معناداری  $\alpha = 0.05$ ، توان آماری  $0.80$  (۸۰٪ احتمال تشخیص اثر واقعی) و اندازه اثر متوسط ( $f = 0.25$ ) بود. معیارهای خروج شامل: بارداری یا شیردهی، بیماری قلبی جدی، فشارخون کنترل نشده (مثلاً فشار خون بیشتر از  $16/10$  mmHg)، یا هر وضعیت پزشکی که مانع انجام تمرین HIIT شود، اختلالات کبدی یا کلیوی حاد/پیشرفته (AST/ALT بیش از ۳ برابر حد نرمال)، مصرف داروهای کاهنده قند (مثل متفورمین، انسولین) یا داروهای شناخته‌شده که متابولیسم گلوکز را به‌طور قابل‌توجهی تغییر می‌دهند، سابقه حساسیت شدید به کورکومین/زردچوبه، شرکت در مطالعه بالینی دیگر یا مصرف مکمل‌های تغذیه‌ای مؤثر بر گلوکز طی ۳ ماه اخیر. در نهایت ۴۰ نفر به‌صورت هدفمند و بر اساس معیارهای ورود انتخاب شده و با روش تصادفی‌سازی بلوکی از طریق سایت [www.randomizer.org](http://www.randomizer.org) در پنج گروه (هر گروه ۸ نفر) شامل گروه HIIT، گروه نانوکورکومین (NanoC)، گروه HIIT + NanoC، گروه دارونما و گروه کنترل تقسیم شدند.

## طرح نمونه‌گیری و روش گزینش شرکت‌کنندگان

نمونه‌گیری از طریق اطلاعیه دوره‌های سلامتی، پوستر در مراکز بهداشتی، شبکه‌های اجتماعی، و مراجعه از کلینیک‌های محلی انجام شد. متقاضیان اولیه از مسیر تلفنی/آنلاین غربال شدند و سپس در جلسه حضوری برای سنجش BMI، معاینه بالینی کوتاه و آزمایش‌های پایه گلوکز ناشتا، HbA1c، آنزیم‌های کبدی و سابقه پزشکی پذیرفته یا رد می‌شدند.

غذایی، پرسشنامه یادآمد غذایی ۲۴ ساعته در سه نوبت (شامل دو روز کاری و یک روز آخر هفته) در میانه‌های هفته‌های چهارم و هشتم مطالعه تکمیل گردید. داده‌های حاصل از این پرسشنامه‌ها به منظور اطمینان از عدم مصرف معنادار کورکومین از منابع خارج از پروتکل و نیز بررسی یکنواختی دریافت کلی کالری و درشت‌مغذی‌ها بین گروه‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت، با تأیید عدم وجود تفاوت معنادار در دریافت کالری و الگوی غذایی بین گروه‌ها، تمامی شرکت‌کنندگان در تحلیل‌های نهایی حفظ شدند.

### آزمون زمان تا رسیدن به خستگی<sup>۴</sup> (TTE)

برای بررسی اثبات تأثیر فیزیولوژیک پروتکل تمرین HIIT، ظرفیت استقامتی و تحمل به خستگی آزمودنی‌ها با استفاده از آزمون TTE ارزیابی شد. در این آزمون، شرکت‌کنندگان فعالیت ورزشی با شدت ثابت را تا زمانی که قادر به ادامه آن نباشند، انجام دادند. شدت آزمون به درصدی از  $HR_{max}$  (۸۵٪) تنظیم گردید. آزمون بر روی تردمیل انجام شد و قبل از شروع، یک گرم کردن استاندارد ۵ تا ۱۰ دقیقه‌ای با شدت کم انجام گرفت. شرکت‌کنندگان سپس با شدت تعیین شده فعالیت کردند و ضربان قلب آن‌ها به صورت مداوم با استفاده از دستگاه‌های معتبر پایش شد تا در محدوده هدف حفظ شود. آزمون زمانی متوقف شد که شرکت‌کننده قادر به ادامه فعالیت نبود، که دلایل آن شامل خستگی شدید، عدم توانایی در حفظ شدت، یا رسیدن به ضربان قلب هدف بود. زمان توقف فعالیت به عنوان TTE ثبت شد و نشان‌دهنده ظرفیت استقامتی و تحمل به خستگی شرکت‌کننده بود.

### اندازه‌گیری‌های پس از مداخله

پس از اتمام دوره مداخله، تمامی اندازه‌گیری‌ها مجدداً توسط پرسنل در پیش آزمون و با استفاده از همان روش و دستگاه‌ها انجام شد تا اثرات تمرین HIIT و مصرف نانوکورکومین بر متابولیسم گلوکز ارزیابی شود. اندازه‌گیری‌های پس از مداخله شامل وزن، BMI و ترکیب بدنی (با استفاده از دستگاه Bioelectrical Impedance Analyzer، مدل InBody 720، کره جنوبی)، فشار خون و ضربان قلب استراحت (با دستگاه Omron M6 Comfort، ژاپن) و نمونه‌گیری مجدد خون برای تعیین غلظت گلوکز ناشتا، HbA1c و انسولین بود. غلظت گلوکز ناشتا با استفاده از کیت گلوکز اکسیداز-پراکسیداز (Pars Azmoon, Iran; Cat. No. 1200011) و HbA1c با کیت کروماتوگرافی مایع با کارایی

جلسه آزمایشگاهی واحد (Batch Assay) و با استفاده از کیت‌های یکسان، برای آنالیز نهایی شاخص‌های بیوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفتند. برای تضمین کیفیت، فرآیند نمونه‌گیری و ذخیره‌سازی توسط تکنسین مجرب انجام شد و تمام دستگاه‌ها قبل از استفاده کالیبره شدند. علاوه بر این، شرکت‌کنندگان پیش از شروع مداخله با نحوه ثبت حضور در جلسات تمرین و مصرف مکمل آشنا شده و راهنمایی‌های لازم برای رعایت پایبندی به پروتکل دریافت کردند.

### تمرین اینتروال شدید

مدت زمان مداخله تمرین اینتروال شدید در گروه‌های تمرین هشت هفته بود که سه جلسه در هفته، هر جلسه شامل ۱۰ وهله فعالیت با شدت ۸۰٪ حداکثر ضربان قلب ( $HR_{max}$ ) و به مدت ۱ دقیقه و همچنین ۱۰ وهله استراحت فعال با شدت ۶۰٪  $HR_{max}$  با استفاده از دوچرخه ارگومتر مونارک انجام شد (جدول ۱). تعیین  $HR_{max}$  از طریق تست فزاینده رکاب‌زنی انجام شد؛ در این تست، شرکت‌کننده در ابتدا با سرعت ثابت ۷۰ RPM رکاب می‌زد و هر سه ثانیه، یک وات به مقاومت افزوده می‌شد تا زمانی که توان خروجی به زیر ۵۰ RPM می‌رسید، در این نقطه،  $HR_{max}$  با دستگاه پولار ثبت شد. شدت تمرین در جلسات تمرین اینتروال شدید نیز به صورت پیوسته با استفاده از مانیتور ضربان قلب کنترل و ثبت شد (۱۶).

### مکمل‌سازی نانوکورکومین

شرکت‌کنندگان در گروه‌های نانوکورکومین روزانه یک عدد مکمل ژل نرم نانوکورکومین حاوی ۸۰ میلی‌گرم کورکومین نانومیسلی، ساخت شرکت Exir Nanosina (مورد تایید وزارت بهداشت، سازمان غذا و دارو) را شرکت‌کنندگان در گروه‌های نانوکورکومین روزانه یک عدد مکمل ژل نرم نانوکورکومین حاوی ۸۰ میلی‌گرم کورکومین نانومیسلی، ساخت شرکت Exir Nanosina را بلافاصله بعد از صبحانه به مدت ۸ هفته مصرف کردند. گروه دارونما نیز کپسولی مشابه از نظر شکل، رنگ و اندازه حاوی نشاسته دریافت کرد. شرکت‌کنندگان موظف به عدم استفاده از هرگونه ماده حاوی کورکومین (از جمله زردچوبه) طی مدت مطالعه بودند و پرسشنامه یادآمد غذایی را به صورت منظم تکمیل نمودند. "به منظور کنترل دقیق دریافت کورکومین از منابع غذایی، از کلیه شرکت‌کنندگان خواسته شد تا در طول دوره مطالعه از مصرف هرگونه ماده غذایی حاوی کورکومین (از جمله ادویه زردچوبه، غذاهای حاوی آن و مکمل‌های مرتبط) خودداری نمایند. برای نظارت بر پایبندی به این پروتکل و ثبت دریافت‌های

4. Time to exhaustion.

جدول ۱. پروتکل تمرین اینتروال شدید.

هفته	تعداد، مدت و شدت وهله‌های فعالیت با شدت بالا	تعداد، مدت و شدت وهله‌های استراحت فعال
اول	۴ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۸۰ درصد HRmax	۴ وهله چهار دقیقه‌ای با شدت ۶۰ درصد HRmax
دوم	۵ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۸۰ درصد HRmax	۵ وهله با سه دقیقه‌ای با شدت ۶۰ درصد HRmax
سوم	۶ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۸۰ درصد HRmax	۶ وهله با دو دقیقه‌ای با شدت ۶۰ درصد HRmax
چهارم	۷ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۸۰ درصد HRmax	۷ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۶۰ درصد HRmax
پنجم	۸ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۸۰ درصد HRmax	۸ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۶۰ درصد HRmax
ششم	۹ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۸۰ درصد HRmax	۹ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۶۰ درصد HRmax
هفتم	۱۰ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۸۰ درصد HRmax	۱۰ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۶۰ درصد HRmax
هشتم	۱۰ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۸۰ درصد HRmax	۱۰ وهله یک دقیقه‌ای با شدت ۶۰ درصد HRmax

به‌منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، آزمون شاپیرو-ویلک به کار گرفته شد. همچنین به‌منظور بررسی اثرات اصلی و تعاملی تمرین HIIT و مکمل‌سازی نانوکوکومین بر متغیرهای وابسته، از تحلیل واریانس دوطرفه (Two-way ANOVA) بهره گرفته شد. در مواردی که تفاوت معنادار بین گروه‌ها مشاهده شد، آزمون تعقیبی بونفرونی جهت تعیین محل دقیق تفاوت‌ها مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های پس از مداخله با داده‌های اولیه مقایسه شد تا اثرات اصلی زمان، گروه و تعامل گروه × زمان بر متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از ANOVA دوطرفه با اندازه‌گیری مکرر ارزیابی گردد. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. سطح معناداری در تمامی آزمون‌ها کمتر از ۰/۰۵ (p<0.05) در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های توصیفی و آنتروپومتریکی آزمودنی‌ها در جدول ۲ بصورت میانگین و انحراف استاندارد ارائه شده است.

بالا یا (BioSystems, Spain; Cat. No. 12832) HPLC اندازه‌گیری شد. تعیین غلظت انسولین سرمی با روش ELISA ساندویچی (استفاده از کیت Monobind Inc., USA; Cat. No. 5825-300) انجام گردید. حساسیت تشخیص (Limit of Detection) کیت انسولین ۲ μIU/mL و ضرایب تغییرپذیری درون‌آزمودنی (Intra-assay CV) و برون‌آزمودنی (Inter-assay CV) به ترتیب ۵٪ و ۷٪ گزارش شده است.

شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$HOMA - IR = \frac{Insulin \left( \frac{\mu IU}{mL} \right) \times Glucose (mg/dL)}{405}$$

روش آماری

جدول ۲. ویژگی‌های توصیفی و آنتروپومتریکی آزمودنی‌ها.

گروه‌ها	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	BMI (کیلوگرم / مجذور قد به متر)	چربی بدن (%)
کنترل	پیش آزمون	۱۶۵/۶۷ ± ۴/۱۴	۸۶/۶۱ ± ۵/۲۷	۳۱/۴۸ ± ۲/۱۷	۳۶/۶۴ ± ۲/۴۳
	پس آزمون	۳۵/۳۸ ± ۴/۲۷	۸۷/۱۴ ± ۵/۳۸	۳۲/۰۳ ± ۲/۱۵	۳۶/۵۶ ± ۲/۱۸
NanoC	پیش آزمون	۱۶۶/۱۶ ± ۵/۱۶	۸۷/۴۹ ± ۶/۱۶	۳۱/۸۶ ± ۲/۴۵	۳۷/۵۷ ± ۲/۳۹
	پس آزمون	۳۴/۲۵ ± ۲/۶۵	۸۶ ± ۵/۴۷	۳۱/۲۷ ± ۲/۷۲	۳۷/۴۱ ± ۲/۲۷
HIIT	پیش آزمون	۱۶۵/۶۲ ± ۴/۷۶	۸۵/۲۲ ± ۷/۲۰	۳۱/۲۵ ± ۲/۲۷	۳۷/۲۳ <sup>±۳%</sup> ± ۳/۰۶
	پس آزمون	۳۶/۲۵ ± ۲/۲۸	۸۲/۳۴ <sup>±۳%</sup> ± ۶/۵۱	۳۰/۱۴ <sup>±۳%</sup> ± ۳/۴۱	۳۸/۳۳ ± ۳/۱۰

۳۶/۶۷ <sup>†‡§*</sup> ± ۳/۳۳	۳۸/۴۹ ± ۳/۰۱	۲۹/۱۵ <sup>†‡§*</sup> ± ۳/۳۶	۳۰/۴۲ ± ۲/۵۴	۷۹/۱۸ <sup>†‡§*</sup> ± ۵/۱۸	۸۴/۱۹ ± ۴/۶۹	۱۶۶/۳۹ ± ۵/۴۴	۳۴/۵۰ ± ۳/۵۸	<b>Nano+HIIT</b>
۳۷/۵۲ ± ۲/۸۴	۳۷/۷۳ ± ۲/۳۶	۳۱/۶۴ ± ۲/۵۲	۳۱/۶۶ ± ۲/۳۳	۸۷/۰۸ ± ۶/۲۳	۸۶/۱۳ ± ۵/۱۸	۱۶۵ ± ۶/۱۰	۳۶/۳۹ ± ۲/۹۱	دارونما

(\*) معناداری نسبت به پیش آزمون. (†): معنی داری نسبت به گروه کنترل. (‡): معناداری نسبت به گروه دارونما. (§): معناداری نسبت به گروه کامل نانو کور کومین.

تفاوت معناداری با گروه کامل نانو کور کومین ( $p=0/069$ ) و گروه HIIT+نانو کور کومین ( $p=0/11$ ) مشاهده نشد.

### اثر تعاملی HIIT و مکمل سازی نانو کور کومین بر سطوح سرمی گلوکز، انسولین و شاخص HOMA-IR در زنان چاق

نتایج نشان داد که در شاخص های گلوکز سرمی، اثر زمان ( $p=0/001$ )، اثر گروه ( $p=0/001$ ) و اثر تعامل گروه\* زمان ( $p=0/008$ ) و شاخص HOMA-IR اثر زمان ( $p=0/001$ )، اثر گروه ( $p=0/001$ ) و اثر تعامل زمان\* گروه ( $p=0/001$ ) معنادار بودند. میانگین گلوکز سرمی در گروه های NanoC، کاهش ۴/۹۲٪، تمرین HIIT کاهش ۱۲/۷۵٪، گروه HIIT+NanoC کاهش ۱۴/۷۲٪ و در گروه دارونما افزایش ۳/۸۰٪ در پس آزمون نسبت به پیش آزمون مشاهده گردید. این در حالی بود که در گروه های تمرین HIIT و HIIT+NanoC، کاهش های ۹/۹۰٪ و ۱۲/۰۳٪؛ بترتیب نسبت به گروه NanoC مشاهده گردید ( $p=0/001$ ).

میانگین شاخص HOMA-IR در گروه های NanoC، تمرین HIIT و HIIT+NanoC بترتیب؛ کاهش های ۲۵/۹۳٪، ۳۸/۹۰٪ و ۴۷/۵۴٪ مشاهده گردید ( $p=0/001$ ) برای تمامی مقایسات) که بیشترین کاهش مربوط به گروه HIIT+NanoC بود ( $p=0/001$ ). همچنین کاهش های ۱۷/۵۱٪ و ۲۹/۱۸٪ بترتیب؛ در گروه های تمرین HIIT و HIIT+NanoC نسبت به گروه NanoC مشاهده شد ( $p=0/001$ ). در حالی که تفاوت معناداری بین دو گروه تمرین HIIT و HIIT+NanoC وجود نداشت (جدول ۳).

نتایج نشان داد که وزن، BMI و درصد چربی بدن تغییرات معناداری در اثر زمان و گروه داشتند. در وزن، اثر زمان ( $p=0/001$ )، گروه ( $p=0/001$ ) و تعامل زمان\* گروه ( $p=0/006$ ) معنادار بود. گروه HIIT کاهش وزن ۵/۵۱٪ نسبت به کنترل ( $p=0/001$ )، ۵/۴۴٪ نسبت به دارونما ( $p=0/001$ )، و ۴/۲۶٪ نسبت به مکمل نانو کور کومین ( $p=0/001$ ) داشت. گروه HIIT+نانو کور کومین کاهش وزن ۹/۱۳٪ نسبت به کنترل ( $p=0/001$ )، ۹/۰۷٪ نسبت به دارونما ( $p=0/001$ ) و ۷/۹۳٪ نسبت به مکمل نانو کور کومین ( $p=0/003$ ) داشت؛ اما بین دو گروه HIIT و HIIT+نانو کور کومین تفاوت معناداری نبود ( $p=0/07$ ).

در BMI، اثر زمان ( $p=0/003$ ) و تعامل زمان\* گروه ( $p=0/002$ ) معنادار بود. گروه HIIT کاهش ۵/۹۰٪ BMI نسبت به کنترل ( $p=0/003$ )، ۴/۷۴٪ نسبت به دارونما ( $p=0/047$ ) و ۴/۴۸٪ نسبت به مکمل نانو کور کومین ( $p=0/048$ ) داشت. گروه HIIT+نانو کور کومین کاهش ۸/۹۹٪ BMI نسبت به کنترل، ۷/۸۷٪ نسبت به دارونما و ۶/۷۸٪ نسبت به مکمل نانو کور کومین داشت ( $p=0/001$ ) برای همه مقایسه ها؛ اما بین دو گروه HIIT و HIIT+نانو کور کومین تفاوت معناداری نبود ( $p=0/13$ ) در درصد چربی بدن، اثر زمان ( $p=0/001$ )، گروه ( $p=0/001$ ) و تعامل زمان\* گروه ( $p=0/004$ ) معنادار بود. گروه HIIT کاهش ۳/۷۵٪ نسبت به کنترل و ۳/۴۴٪ نسبت به دارونما داشت، اما

جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد شاخص های گلیسیمیک.

گروه ها	گلوکز (میلی گرم / دسی لیتر)		انسولین (μIU/mL)		شاخص HOMA-IR	
	پیش-آزمون	پس-آزمون	پیش-آزمون	پس-آزمون	پیش-آزمون	پس-آزمون
کنترل	۱۱۸/۵ ± ۴/۷۵	۱۲۳ ± ۵/۵۵	۲۰/۶۲ ± ۳/۲۰	۲۲/۱۲ ± ۲/۹۴	۶/۰۵ ± ۱/۹۷	۶/۷۱ ± ۲/۲۴
NanoC	۱۱۶/۸۷ ± ۸/۲۱	۱۱۱/۱۲ ± ۷/۹۹	۱۹/۵ ± ۲/۸۷	۱۸/۱۲ ± ۲/۴۷	۵/۵۸ ± ۲/۵۴	۹۷/۴ ± ۲/۲۳
HIIT	۱۱۴/۷۵ ± ۶/۱۱	± ۵/۵۱	۱۹/۱۲ ± ۳/۴۴	۱۶/۶۲ ± ۳/۱۵	۵/۴۱ ± ۱/۷۲	۴/۱۰ ± ۲/۱۸
NanoC+HIIT	۱۱۴/۶۲ ± ۴/۶۸	۹۷/۹۷ ± ۴/۸۳	۱۸/۵ ± ۲/۴۴	۱۶/۱۴ ± ۱/۹۲	۵/۲۳ ± ۱/۵۶	۳/۵۲ ± ۲/۳۷

۶/۴۴ ± ۲/۰۹	۶/۲۶ ± ۲/۲۴	۲۲/۵ ± ۲/۲۹	۲۲/۱۲ ± ۲/۴۱	۱۱۶ ± ۵/۹۰	۱۱۴/۶۲ ± ۶/۰۷	دارونما
-------------	-------------	-------------	--------------	------------	---------------	---------

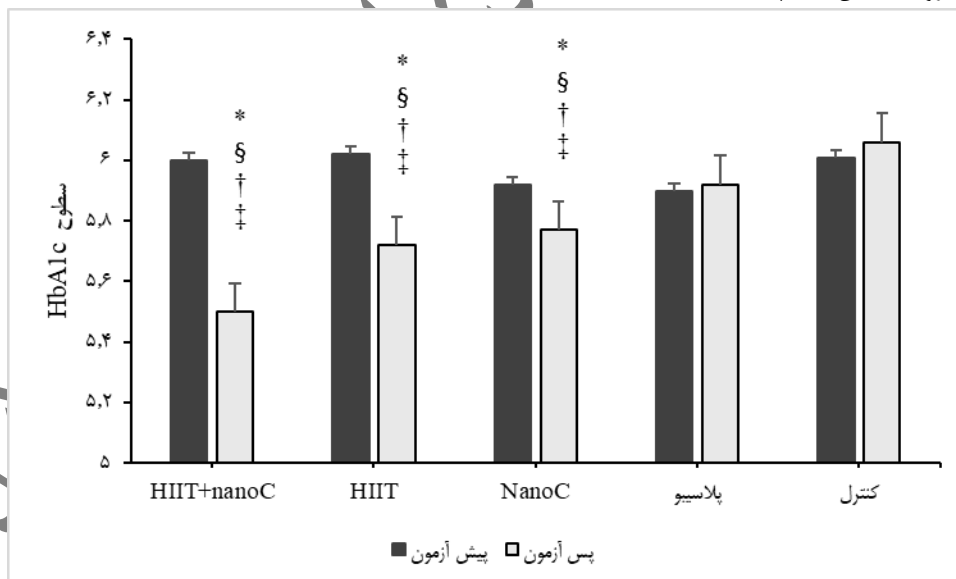
(\*)؛ معناداری نسبت به پیش‌آزمون. (S)؛ معناداری نسبت به گروه کنترل. (‡)؛ معناداری نسبت به گروه دارونما. (†)؛ معناداری نسبت به گروه مکمل نانوکورکومین.

به طوری که گروه‌های مداخله‌ای کاهش بیشتری را تجربه کردند. علاوه بر این، اثر تعامل زمان × گروه نیز معنادار بود ( $p=0/001$ ، درجه آزادی=۴،  $F=4/90$ )، به طوری که کاهش HbA1c در گروه HIIT+NanoC بیشترین میزان را داشت، در حالی که گروه کنترل تفاوت معناداری نشان نداد. بر اساس داده‌های جدول ۳، ترکیب تمرین تناوبی شدید (HIIT) و نانوکورکومین، بیشترین کاهش (۴۳/۵٪) را در سطح انسولین سرم ایجاد کرد. این کاهش نه تنها در مقایسه با گروه کنترل (با افزایش ۳۱٪/۶) معنادار است، بلکه از اثر هر یک از مداخلات به تنهایی (کاهش ۲۹٪ توسط HIIT و کاهش ۱۳٪ توسط نانوکورکومین) نیز به طور چشمگیری بیشتر می‌باشد. این نتیجه، نشان‌دهنده یک اثر همافزایی قوی بین ورزش و این مکمل در بهبود حساسیت به انسولین است.

### اثر تعاملی HIIT و مکمل سازی نانوکورکومین بر سطوح HbA1c و سطوح انسولین در زنان چاق

اثر تعاملی HIIT و مکمل سازی نانوکورکومین بر سطوح HbA1c در زنان چاق نتایج نشان داد که اثر زمان در HbA1c معنادار بود، به طوری که مقادیر کلی HbA1c از پیش‌آزمون به پس‌آزمون کاهش یافت، بدون توجه به گروه‌ها آزمون t جفتی ( $t=3/16$ ،  $p=0/003$ ) که این کاهش عمدتاً ناشی از اثر گروه‌های مداخله‌ای بود. همچنین اثر گروه نیز معنادار گزارش شد، به طوری که میانگین HbA1c بین گروه‌ها تفاوت داشت (آنوای دو طرفه؛  $p=0/001$ ،  $F=5/20$ ، آزادی،  $F=5/20$ )، به ویژه گروه‌های HIIT و HIIT+NanoC سطوح پایین‌تری از HbA1c نشان دادند.

تحلیل اضافی تغییرات ( $\Delta = \text{post} - \text{pre}$ ) HbA1c نیز تفاوت معناداری بین گروه‌ها نشان داد ( $p=0/002$ ، درجه آزادی=۴).



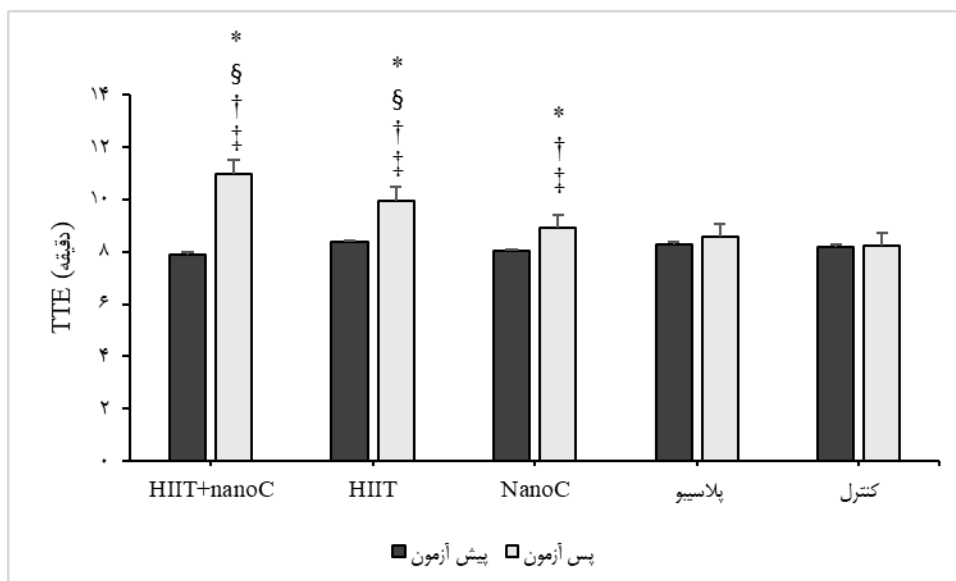
**نمودار ۱.** تغییرات سطوح HbA1c در زمان‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه‌های تحقیق. (\*): معناداری نسبت به پیش‌آزمون. (S)؛ معناداری نسبت به گروه NanoC. (†)؛ معناداری نسبت به گروه دارونما. (‡)؛ معناداری نسبت به گروه کنترل. ( $p=0/005$ ).

زمان و گروه در مورد TTE معنادار بود ( $p<0.001$ )، به طوری که بیشترین افزایش TTE در گروه HIIT+NanoC مشاهده شد (افزایش حدود ۳ دقیقه نسبت به پیش‌آزمون)، سپس گروه HIIT و در مرتبه بعد گروه NanoC قرار گرفتند، در حالی که تغییرات در گروه‌های دارونما و کنترل ناچیز و غیرمعنادار بود. اثر گروه نیز

### اثر تعاملی HIIT و مکمل سازی نانوکورکومین شاخص TTE در زنان چاق

در این مطالعه، TTE در پنج گروه شامل HIIT، NanoC، HIIT+NanoC، دارونما و کنترل در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر متقابل

به طور مستقل معنادار بود ( $p < 0.001$ )، اما اثر زمان به تنهایی معنادار نبود ( $p = 0.845$ ).



**نمودار ۱.** تغییرات شاخص TTE در زمان‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه‌های تحقیق. (\*): معناداری نسبت به پیش‌آزمون. (‡): معناداری نسبت به گروه کنترل. (†): معناداری نسبت به گروه دارونما. (§): معناداری نسبت به گروه NanoC. ( $p = 0.05$ ).

## بحث

پراکسیداسیون لیپیدی در افراد دارای اضافه وزن داشته باشد (۱۵).  
 در این مطالعه، بررسی تأثیرات تمرین HIIT، مکمل نانوکورکومین، و ترکیب آن‌ها بر شاخص‌های گلوکز سرمی، HOMA-IR، HbA<sub>1c</sub> و TTE در زنان چاق یا دارای اضافه وزن، نشان داد که هر سه مداخله اثرات معناداری بر این متغیرها دارند. مطالعات قبلی به وضوح نشان می‌دهند که HIIT می‌تواند حساسیت به انسولین را بهبود بخشیده و گلوکز سرمی و HOMA-IR را کاهش دهد (۱۷، ۱۸). همچنین، کورکومین (خصوصاً فرم نانو) اغلب به عنوان ترکیبی ضدالتهاب و آنتی‌اکسیدانی گزارش شده که می‌تواند عملکرد متابولیک را بهبود دهد (۱۵، ۱۹، ۲۰). یافته‌های یک مطالعه نشان داد که ترکیب تمرینات تناوبی شدید با مکمل‌دهی کورکومین به عنوان روشی غیرتهاجمی، می‌تواند اثرات مثبت و قابل توجهی در بهبود شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع دو داشته باشد (۲۳).

با این حال، برخی پژوهش‌ها کاهش کمتر یا حتی نتایج متفاوتی را در اثر کورکومین یا تمرین HIIT گزارش کرده‌اند که می‌تواند ناشی از تفاوت‌های متعددی باشد (۲۴، ۲۵). از جمله این عوامل می‌توان به تفاوت در ویژگی‌های جمعیت مورد مطالعه مانند جنسیت، سطح فعالیت بدنی اولیه یا وضعیت سلامت (مانند ابتلا به دیابت)، نوسانات مربوط به دوز و شکل مصرف کورکومین (نانوفرم در مقایسه با فرم معمولی، مقدار و مدت مصرف)، تغییرات در شدت یا مدت پروتکل‌های HIIT، و به‌کارگیری روش‌های

بررسی تأثیرات تمرین HIIT، مکمل نانوکورکومین، و ترکیب آن‌ها بر شاخص‌های گلوکز سرمی، HOMA-IR، HbA<sub>1c</sub> و TTE در زنان چاق یا دارای اضافه وزن، نشان داد که هر سه مداخله اثرات معناداری بر این متغیرها دارند. مطالعات قبلی به وضوح نشان می‌دهند که HIIT می‌تواند حساسیت به انسولین را بهبود بخشیده و گلوکز سرمی و HOMA-IR را کاهش دهد (۱۷، ۱۸). همچنین، کورکومین (خصوصاً فرم نانو) اغلب به عنوان ترکیبی ضدالتهاب و آنتی‌اکسیدانی گزارش شده که می‌تواند عملکرد متابولیک را بهبود دهد (۱۵، ۱۹، ۲۰). یافته‌های یک مطالعه نشان داد که ترکیب تمرینات تناوبی شدید با مکمل‌دهی کورکومین به عنوان روشی غیرتهاجمی، می‌تواند اثرات مثبت و قابل توجهی در بهبود شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع دو داشته باشد (۱۹). در مطالعه دیگری گزارش شد مکمل یاری ۱۲ هفته‌ای با ۸۰ میلی‌گرم در روز کورکومین نانومیسلی توانست MDA، TAC و آدیپونکتین را در کورکومین نانومیسلی بهبود بخشد، اما هیچ تأثیر معناداری بر hs-CRP و NF- $\kappa$ B در داخل و بین گروه‌ها نداشت (۲۱). فخری و همکاران نیز در مطالعه خود گزارش دادند که مصرف مکمل کورکومین همراه با تمرینات ورزشی ممکن است اثرات مفیدی در تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از

اندازه‌گیری گوناگون شامل شاخص‌های زیستی متفاوت یا ارزیابی‌های کوتاه‌مدت اشاره کرد. علاوه بر این، مدت پیگیری کوتاه‌تر یا فقدان پیگیری بلندمدت در برخی مطالعات می‌تواند دلیل دیگری برای ناهم‌سویی نتایج باشد.

تمرین HIIT با فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسان نظیر AMPK موجب افزایش حساسیت به انسولین و بیان ناقل‌های گلوکز (GLUT4) در عضلات شده و این امر به جذب سریع‌تر گلوکز کمک می‌کند (۲۶، ۲۷)؛ ترکیب این روش تمرینی با کورکومین می‌تواند این مسیرهای متابولیکی را تقویت نماید. علاوه بر این، HIIT با افزایش تراکم و عملکرد میتوکندری، توانایی عضلات در سوخت‌وساز گلوکز و چربی را ارتقا می‌دهد (۲۸). از سوی دیگر، نانوکورکومین به دلیل ویژگی‌های ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی، از طریق کاهش عوامل التهابی و بهبود عملکرد آنزیم‌های دفاعی، استرس اکسیداتیو را مهار کرده و باعث افزایش کارایی متابولیکی و تأخیر در خستگی عضلانی می‌شود (۲۷، ۲۸). ترکیب این دو مداخله احتمالاً اثر هم‌افزایی قابل‌توجهی در فعال‌سازی مسیرهای انرژی‌زایی از جمله AMPK و PGC-1 $\alpha$  و در نهایت افزایش بیوژنز میتوکندری و بهبود متابولیسم انرژی دارد که پیامد آن ارتقای زمان تا خستگی (TTE) و کنترل بهتر گلوکز خواهد بود (۲۹).

از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به اندازه نمونه محدود (حدود ۸ نفر در هر گروه) که احتمالاً قدرت آماری را کاهش داده و تعمیم‌پذیری نتایج را دشوار می‌کند، اشاره کرد. عدم کنترل دقیق عواملی همچون رژیم غذایی، میزان استرس، کیفیت خواب و فعالیت‌های روزمره می‌تواند بر نتایج تأثیرگذار باشد. افزون بر این، دوره پیگیری کوتاه‌مدت سبب شد تنها تغییرات پیش و پس از آزمون بررسی شود و اثرات پایدار در طولانی‌مدت تحلیل نشود. تمرکز بر زنان چاق یا دارای اضافه‌وزن نیز باعث می‌شود که تعمیم این یافته‌ها به مردان، افراد با شرایط متابولیک متفاوت یا گروه‌های سنی دیگر با احتیاط صورت گیرد.

## نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهند که ترکیب HIIT و نانوکورکومین به‌صورت هم‌افزایی عمل کرده و بیشترین بهبود را در کنترل گلوکز خونی، کاهش HOMA-IR، کاهش

HbA<sub>1c</sub> و افزایش TTE در زنان چاق داشته است. این یافته‌ها اهمیت اجرای مداخلات چندمحوره (ورزشی + مکملی) را در مدیریت اختلالات متابولیکی برجسته می‌کنند.

## پیام مقاله

نتایج تحقیق حاضر نشان داد تمرین HIIT و مکمل نانوکورکومین می‌تواند اثرات مفیدی در بهبود متابولیسم گلوکز و همچنین مقاومت به انسولین در زنان چاق داشته باشد. علاوه بر این، اثر تعاملی (هم‌افزایی) این دو مداخله اثرات بیشتری در بهبود متابولیسم گلوکز ایجاد می‌کند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان بدینوسیله از تمامی شرکت‌کنندگان در این پژوهش به دلیل صرف زمان و همکاری صمیمانه قدردانی می‌نمایند. همچنین از تلاش‌های کارکنان آزمایشگاه و همکاران پژوهشی که در فرایند جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها یاری‌رسان بودند، صمیمانه تشکر می‌شود.

## تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافی در ارتباط با انتشار این مقاله وجود ندارد.

## منابع مالی

این مقاله حمایت مالی دریافت نکرده است.

## مشارکت نویسندگان

خالید محمدزاده سلامت: طراحی تحقیق، نظارت بر گردآوری داده‌ها، تفسیر نتایج و نگارش و بازبینی مقاله. تریفه بابایی: انجام پروتکل تحقیق، گردآوری داده‌ها، تحلیل آماری نتایج، طراحی نسخه اولیه مقاله. ظاهر اعتماد: کمک به تفسیر نتایج و بازخوانی و تایید نسخه اولیه و نهایی مقاله.

## منابع

- [1] Mensah GA, Mokdad AH, Ford E, Narayan KV, Giles WH, Vinicor F, et al. Obesity, metabolic syndrome, and type 2 diabetes: emerging epidemics and their cardiovascular implications. *Cardiology clinics*. 2004;22(4):485-504.
- [2] Unamuno X, Gómez-Ambrosi J, Rodríguez A, Becerril S, Frühbeck G, Catalán V. Adipokine dysregulation and adipose tissue inflammation in human

- of HIFT with ginger extract supplementation on the levels of some antioxidant enzymes in men with non-alcoholic fatty liver. *Research in Exercise Nutrition*. 2025;3(3):12-1.
- [9] Zamanian MY, Alsaab HO, Golmohammadi M, Yumashev A, Jabba AM, Abid MK, et al. Nf-kb pathway as a molecular target for curcumin in diabetes Mellitus treatment: focusing on oxidative stress and inflammation. *Cell biochemistry and function*. 2024;42(4):e4030.
- [10] Siviero A, Gallo E, Maggini V, Gori L, Mugelli A, Firenzuoli F, et al. Curcumin, a golden spice with a low bioavailability. *Journal of Herbal Medicine*. 2015;5(2):57-70.
- [11] Shafabakhsh R, Asemi Z, Reiner Ž, Soleimani A, Aghadavod E, Bahmani F, et al. The effects of nano-curcumin on metabolic status in patients with diabetes on hemodialysis, a randomized, double blind, placebo-controlled trial. *Iranian Journal of Kidney Diseases*. 2020;14.(ξ)
- [12] Noorbakhsh S, Roshan VD. Influence of 8 weeks of Tabata high-intensity interval training and nanocurcumin supplementation on inflammation and cardiorespiratory health among overweight elderly women. *Preventive Nutrition and Food Science*. 2023;28(3):224.
- [13] Gharakhanlou BJ, Bonab SB, Amaghani A, Shiri-Shahsavari MR. Curcumin supplementation combined with high intensity interval training modulates serum irisin and lipid profile in obese women "A randomized double-blind clinical trial". *Contemporary Clinical Trials Communications*. 2025;44:101464.
- [14] Hussain Y, Khan H, Alotaibi G, Khan F, Alam W, Aschner M, et al. How curcumin targets inflammatory mediators in diabetes: therapeutic insights and possible solutions. *Molecules*. 2022;27(13):4058.
- obesity. *European journal of clinical investigation*. 2018;48(9):e12997.
- [3] Golpasasndi, S., Abdollahpour, S., Golpasandi, H. High-intensity interval training combined with saffron supplementation modulates stress-inflammatory markers in obese women with type 2 diabetes. *Research in Exercise Nutrition*, 2022; 1(1): 55-61. doi: 10.34785/J019.2022.002.
- [4] Kalhor H, Peeri M, Homaei HM, Izadi M. The effect of 6 weeks resistance training and high-intensity interval training on glut-4 gene expression of diabetic rats. *Iranian Journal of Diabetes and Obesity*. 2017;9(1):32-9.
- [5] Bastos-Silva V, Spineli H, Guimarães J, Borbely K, Ursulino J, Aquino T, et al. Effects of long-term metformin administration associated with high-intensity interval training on physical performance, glycogen concentration, GLUT-4 content, and NMR-based metabolomics in healthy rats. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2024;57:e13276.
- [6] Wang N, Liu Y, Ma Y, Wen D. High-intensity interval versus moderate-intensity continuous training: Superior metabolic benefits in diet-induced obesity mice. *Life sciences*. 2017;191:122-31.
- [7] Chavanelle V, Boisseau N, Otero YF, Combaret L, Dardevet D, Montaurier C, et al. Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on glycaemic control and skeletal muscle mitochondrial function in db/db mice. *Scientific reports*. 2017;7(1):204.
- [8] Keshavarz F, Anoushirvani S, Arazi H, Afroundeh R, Golpasandi H. The effect of HIFT with ginger extract supplementation on the levels of some antioxidant enzymes in men with non-alcoholic fatty liver. *Research in Exercise Nutrition*. 2025;3(3):12-1. Doi: Keshavarz F, Anoushirvani S, Arazi H, Afroundeh R, Golpasandi H. The effect

- metabolic syndrome: A randomized, double-blind clinical trial. *Phytotherapy Research*. 2021;35(7):3945-53.
- [22] Naghizadeh H, Heydari F, Pouzesh Jadidi G. The effect of 12 weeks of high-intensity interval training and curcumin consumption on glycemic index, adiponectin and lipid profile in obese men with type2 diabetes hyperlipidemia. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2023;10(1):50-66.
- [23] Babaei S, Fattahpour Marandi M. The effect of 8 weeks of HIIT training and Curcumin supplementation on Adiponectin levels and insulin resistance in obese women with type 2 diabetes. *Journal of Sports and Biomotor Sciences*. 2024;16(31):23-34.
- [24] Poolsup N, Suksomboon N, Kurnianta PDM, Deawjaroen K. Effects of curcumin on glycemic control and lipid profile in prediabetes and type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *PloS one*. 2019;14(4):e0215840.
- [25] Akbari A, Ghiyami Sh, Ghasabi S, Mahmoodi R. The effect of 8 weeks of HICT training combined with olive leaf extract consumption on serum leptin and adiponectin levels in obese elderly women. *Research in Exercise Nutrition*. 2024;3(1):59-71. Doi: <https://doi.org/10.22034/ren.2025.143094.1078>.
- [26] Afzalpoura ME, Yousefib MR, Eivaric SHA, Ilbeigid S. Changes in blood insulin resistance, GLUT4 & AMPK after continuous and interval aerobic training in normal and diabetic rats. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2016;6(9):076-81.
- [27] Kartinah NT, Rusli H, Ilyas E, Andraini T, Paramita N, Santoso D, et al. High-intensity interval training increases AMPK and GLUT4 expressions via FGF21 in skeletal muscles of diabetic rats. *J*
- [15] Fakhri S, Shakeryan S, Alizadeh A, Shahryari A. Effect of 6 weeks of high intensity interval training with nano curcumin supplement on antioxidant defense and lipid peroxidation in overweight girls-clinical trial. *Iranian journal of diabetes and obesity*. 2020.
- [16] Riebe D, Ehrman JK, Liguori G, Magal M. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: American College of Sports Medicine*; 2018.
- [17] Jelleyman C, Yates T, O'Donovan G, Gray LJ, King JA, Khunti K, et al. The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obesity reviews*. 2015;16(11):942-61.
- [18] Álvarez C, Ramírez-Campillo R, Ramírez-Vélez R, Martínez C, Castro-Sepúlveda M, Alonso-Martínez A, et al. Metabolic effects of resistance or high-intensity interval training among glycemic control-nonresponsive children with insulin resistance. *International Journal of Obesity*. 2018;42(1):79-87.
- [19] Jazayeri-Tehrani SA, Rezayat SM, Mansouri S, Qorbani M, Alavian SM, Daneshi-Maskooni M, et al. Nano-curcumin improves glucose indices, lipids, inflammation, and Nesfatin in overweight and obese patients with non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD): a double-blind randomized placebo-controlled clinical trial. *Nutrition & metabolism*. 2019;16(1):8.
- [20] Fattahi Bafghi A, Homae HM, Azarbayjani MA. Effects of high intensity interval training and curcumin supplement on antioxidant enzyme in heart tissue of diabetic rats. *Iranian Journal of Diabetes and Obesity*. 2016;8(3):135-41.
- [21] Bateni Z, Rahimi HR, Hedayati M, Afsharian S, Goudarzi R, Sohrab G. The effects of nano-curcumin supplementation on glycemic control, blood pressure, lipid profile, and insulin resistance in patients with the

Adv Biotechnol Exp Ther.  
2024;7(1):136.

- [28] Jacobs RA, Flück D, Bonne TC, Bürgi S, Christensen PM, Toigo M, et al. Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. Journal of applied physiology. 2013;115(6):785-93.

مقاله در حال انتشار - پذیرفته شده