

Adaptation of the Hemorheological System in Pre-Diabetic Men and Women Following Regular Exercise: Effects of Gender and Two 40-Session Intermittent Exercise Methods

Zohreh Hasan Fakhrabadi¹, Valiollah Dabidi Roshan²

1. University of Mazandaran, Master's student, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Babolsar, Iran.

E- mail : Fkhrabadi5986@gmail.com

2. University of Mazandaran, Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Babolsar, Iran.

E- mail: Vdabidiroshan@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research

Article history:

Received:

5 May 2025

Received in revised form:

20 May 2025

Accepted:

20 July 2025

Published online:

21 February 2026

Keywords:

Interval Training,
Nordic Walking,
Cardiovascular Risk Factors,
Quality of Life
Aging.
(Times New Roman 9pt,
Italic)

ABSTRACT

Introduction: There is substantial clinical evidence indicating that the hemorheological properties of blood are significantly impaired in elderly individuals, particularly those with diabetes. The aim of this study was to investigate the effects of 40 sessions of high-intensity functional training (HIFT) and intermittent Nordic walking (INW) on hemorheological, cardiovascular, and physical performance indices in sedentary pre-diabetic men and women.

Methods: In this study, 60 participants (30 men and 30 women) aged 55 to 75 years with an HbA1c range of 5.7–6.4% participated. Participants of each gender were randomly assigned to three groups: INW, HIFT, and control (n = 10 per group). The 40-session training protocol was conducted based on the principle of progressive overload. Hemorheological assessments were performed before and after the interventions.

Results: Both training methods led to significant reductions in fibrinogen levels ($p = 0.002$), blood viscosity ($p \leq 0.001$), and hematocrit ($p = 0.001$), as well as improvements in upper-body strength ($p \leq 0.001$), lower-body strength ($p \leq 0.001$), and six-minute walk performance ($p \leq 0.001$). Although no significant differences were found between the two training methods, the effects were more pronounced in men than in women.

Conclusion: The use of effective non-pharmacological strategies, such as regular physical exercise, can improve cardiovascular health and physical performance in men and women at risk of diabetes.

Cite this article: Last Name Initial., Last Name Initial., & Last Name Initial. Title of paper. *Journal of Sport Biosciences*. 2024;17(4). 5-22.

DOI: <http://doi.org/10.22059/JSB.2025.394769.1678>.



Journal of Sport Biosciences by University of Tehran Press is licensed under [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). | Web site: <https://jsb.ut.ac.ir/> | Email: jsb@ut.ac.ir.

Extended Abstract

Introduction

Aging is associated with progressive physiological changes, including alterations in hemorheological parameters such as increased blood viscosity and impaired microcirculation, which elevate cardiovascular risks, especially in prediabetic individuals. Regular physical exercise is recognized as a non-pharmacological strategy to improve cardiovascular health and blood rheology, yet limited research has explored the gender-specific responses to advanced exercise modalities in older adults. High-Intensity Functional Training (HIFT), a time-efficient regimen combining aerobic and resistance exercises, and Interval Nordic Walking (INW), a low-cost, full-body activity, are both promising interventions for promoting cardiovascular and metabolic health. This study aimed to compare the effects of 40 sessions of HIFT and INW on hemorheological indices and physical performance in prediabetic men and women aged 56–75 years, and to investigate gender-specific responses to these exercise modalities.

Methods

This semi-experimental study involved 60 sedentary older adults (30 men, 30 women; HbA1c range to 5.7–6.4%) from Quchan, Iran, who met strict inclusion criteria and were randomly allocated by sex into three groups: HIFT, INW, and control (n=10 each per sex). Training was conducted over 10 weeks (4–5 sessions/week, total of 40 sessions), following progressive overload principles.

HIFT Protocol: Participants completed dynamic, multijoint movements organized into four progressive training phases with work-to-rest ratios ranging from 2:1 to 3:1, achieving 85–95% HRmax (Borg RPE 7–9). **INW Protocol:** Nordic walking sessions progressed from 2000 to 8800 steps per session over 8 weeks, performed at 60–75% HRmax, with structured sets and rests. Blood samples were collected pre- and post-intervention after a 12-hour fast. Hemorheological markers (fibrinogen, blood viscosity, hematocrit, platelets, total protein, albumin), hematological indices, and physical performance (upper- and lower-body strength, six-minute walk test [6MWT]) were assessed using validated laboratory and field methods. Data were analyzed using two-way repeated measures ANOVA with sex and training group as factors (SPSS v27, $\alpha=0.05$).

Results

Both HIFT and INW significantly reduced fibrinogen ($p=0.002$), blood viscosity ($p\leq 0.001$), and hematocrit ($p=0.001$), with no significant intergroup differences,

though HIFT produced slightly greater viscosity reductions, whereas INW improved fibrinogen more. Platelet counts, total protein, and albumin showed sex-dependent responses, with men experiencing greater protein increases and albumin reductions. Hematological findings revealed significant increases in white blood cells, hemoglobin, and mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) ($p\leq 0.05$), accompanied by decreased hematocrit levels. These adaptations likely reflect exercise-induced erythropoietic stimulation and improved oxygen transport.

Both interventions markedly enhanced upper- and lower-body strength and 6MWT distances ($p\leq 0.001$), with INW showing superior gains in endurance ($p=0.01$). Sex differences were notable, as men demonstrated greater improvements in physical capacity and hemorheological adaptations, likely due to higher baseline muscle mass, hormonal profiles, and differential responsiveness to high-intensity exercise stimuli.

Conclusion

Forty sessions of both HIFT and INW effectively improved blood rheology, hematological health, and functional fitness in prediabetic older adults, regardless of sex. However, men exhibited a stronger response to training in terms of hemorheological indices and physical performance. These findings underscore the value of accessible, non-pharmacological interventions like functional training and Nordic walking to mitigate cardiovascular risks, enhance blood fluidity, and improve quality of life in aging populations. Future studies should integrate nutritional monitoring and explore long-term adherence to confirm sustainable benefits of these modalities.

Ethical Considerations:

The study protocol was approved by the Ethics Committee of University of Mazandaran (IR.UMZ.REC.1402.016) and adhered to the Declaration of Helsinki. All participants provided written informed consent and retained the right to withdraw at any time.

Compliance with ethical guidelines: All ethical standards for studies involving human participants were fully met.

Funding: This study received no external funding.

Authors' contribution:

Conflict of interest:

Acknowledgments:



سازگاری سیستم همورئولوژی در مردان و زنان پیش‌دیابتی متعاقب تمرینات منظم ورزشی: تأثیرات جنس و دو روش تمرینی تناوبی ۴۰ جلسه‌ای

زهرة حسن فخرآبادی^۱، ولی اله دبیدی روشن^۲

۱. دانشگاه مازندران، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، بابلسر، ایران. رایانامه: Fkhrabadi5986@gmail.com

۲. نویسنده مسؤل: دانشگاه مازندران، استاد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، بابلسر، ایران. رایانامه: Vdabidiroshan@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	مقدمه: شواهد بالینی معتبری وجود دارد که نشان می‌دهد ویژگی‌های همورئولوژیکی خون در افراد سالمند، به‌ویژه مبتلایان به دیابت، به‌طور چشمگیری دچار اختلال می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر ۴۰ جلسه تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIFT) و پیاده‌روی نوردیک تناوبی (INW) بر شاخص‌های همورئولوژیکی، قلبی-عروقی و عملکرد بدنی در مردان و زنان پیش‌دیابتی کم‌تحرك بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶	روش پژوهش: در این تحقیق ۶۰ بیمار (۳۰ مرد و ۳۰ زن) ۵۵ تا ۷۵ ساله با HbA1c بین ۵/۷ تا ۶/۴ درصد حضور داشتند که به تفکیک هر جنس به‌طور تصادفی به سه گروه HIIFT، INW و کنترل (هر گروه ۱۰ نفر) دسته‌بندی شدند. ۴۰ جلسه پروتکل تمرینی بر اساس اصل اضافه بار انجام شد. ارزیابی همورئولوژیک در پیش و پس از مداخله‌ها نشان داد که هر دو روش تمرینی موجب کاهش معنادار فیبرینوژن ($P=0/002$)، ویسکوزیته خون ($P\leq 0/001$)، هماتوکریت ($P=0/001$) و بهبود قدرت بالانتنه ($P\leq 0/001$)، پایین‌تنه ($P\leq 0/001$) و ۶ دقیقه پیاده‌روی ($P\leq 0/001$) شد. اگرچه تفاوت معناداری بین دو روش تمرینی دیده نشد، اثربخشی تمرینات در مردان بیشتر از زنان بود.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱	نتیجه‌گیری: استفاده از روش‌های غیردارویی مؤثری مانند تمرینات بدنی منظم، سلامت قلبی-عروقی و عملکرد بدنی را در مردان و زنان در معرض خطر دیابت بهبود می‌بخشد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲	
کلیدواژه‌ها: پیاده‌روی نوردیک، تمرین تناوبی، سالمندی، عوامل خطرزای قلبی-عروقی، کیفیت زندگی.	

استناد: حسن فخرآبادی، زهرة؛ دبیدی روشن، ولی اله. سازگاری سیستم همورئولوژی در مردان و زنان پیش‌دیابتی متعاقب تمرینات منظم ورزشی: تأثیرات جنس و دو روش تمرینی تناوبی ۴۰ جلسه‌ای. نشریه علوم زیستی ورزشی، ۱۴۰۴؛ ۱۷(۴)، ۲۲-۵.

DOI: <http://doi.org/10.22059/JSB.2025.394769.1678>

دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کپی‌رایت کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است. آدرس نشریه: <https://jsb.ut.ac.ir/> | ایمیل: jsb@ut.ac.ir



ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

سالمندی با تغییرات معکوس در دستگاه‌های مختلف بدن از جمله تغییرات منفی دوره‌ای مرتبط با سیستم همورئولوژی همراه است [۱]. کاهش وابسته به سن در عملکرد سلول‌های بدن با تغییرات مولکولی و عملکردی مختلف از جمله افزایش ویسکوزیته خون و تغییرات هموئوستاز خون همراه است که به نوبه خود به موجب افزایش خطر حوادث قلبی-عروقی می‌شود [۲]. از این‌رو به‌غیر از راهکارهای دارویی، اتخاذ هرگونه راهکار غیردارویی که موجب کنترل تغییرات هموئوستاز خون شود، تأثیر بسزایی در پیشگیری از مشکلات وابسته به آن خواهد داشت.

طی دهه اخیر، انجام تمرینات منظم بدنی به‌طور گسترده به‌عنوان یک سبک سالم زندگی و همچنین راهبرد مؤثر درمانی غیردارویی برای بیماری‌های قلبی-عروقی شناخته شده است [۳]. یکی از آثار تمرینات منظم بدنی، ایجاد تغییرات در شاخص‌های هماتولوژیک و رئولوژیک خونی است. خواص رئولوژیک خون نقش بسیار مهمی در رساندن اکسیژن به بافت‌های بدن دارد و ویسکوزیته یکی از خواص رئولوژیک خون است که تغییرات معکوس آن به‌ویژه در دوران سالمندی با بروز حوادث قلبی-عروقی همراه است. در مقابل، شواهد متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد ورزش منظم بدنی از طریق تنظیم اتساع عروق شریانی و همین‌طور کاهش شاخص‌های التهابی مانند فیبرینوژن و گلبول‌های سفید خونی می‌تواند سازوکارهای محافظتی را ایجاد کند [۴]. اگرچه محققان قبلی تأثیرات حاد و یک‌وهله تمرین عملکردی با شدت بالا $HIFT^3$ و پیاده‌روی نوردیک NW^3 را بر سیستم رئولوژی خون ورزشکاران بررسی کرده‌اند [۵]، اما تأثیر یک دوره تمرینات تناوبی نوردیک و تمرینات تناوبی عملکردی بر شاخص‌های همورئولوژی خون مردان و زنان پیش‌دیابتی کاملاً مشخص نیست [۶].

طی دهه اخیر، موانع متعددی مانند مشغله فراوان زندگی و نبود فرصت لازم برای پرداختن به فعالیت بدنی کم‌حجم و طولانی‌مدت در جلسات متعدد موجب شد که ایده کاهش جلسات تمرینی در هفته در برابر افزایش شدت ورزش مورد توجه محققان قرار گیرد [۸،۷]. در این زمینه ایده $HIFT$ به‌عنوان یک سبک تمرینی پیشرفته مرتبط با فعالیت‌های روزمره مورد توجه قرار گرفته است. در این روش تمرینی، فعالیت‌های هوازی و مقاومتی عملکردی با هدف اصلی ایجاد نیازهای متابولیکی شایان توجه در قالب یک تمرین با زمان کارآمد ترکیب می‌شود [۹]. NW روشی از فعالیت بدنی است که با چوب‌دستی یا الگویی از آن (حرکات شبیه‌سازی شده) انجام می‌شود و با تأثیرات مفیدی مانند به‌کارگیری عضلات تنه و اندام‌های فوقانی، افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max})، افزایش سرعت راه رفتن و مصرف کالری بیشتر بدون افزایش میزان درک فشار بزرگ در بیماران با نارسایی قلبی همراه است [۱۰-۱۲]. افزون بر این، این روش‌های تمرینی از حداقل تجهیزات و فضا استفاده می‌کنند و محدودیت ضرورت حضور در مراکز تناسب اندام را کاهش می‌دهند. بر اساس نتایج پژوهش‌ها اجرای تمرینات $HIFT$ در جمعیت‌های در معرض خطر، موجب بهبود ظرفیت اکسیژن، مقاومت به انسولین و قدرت عضلانی [۱۳،۱۴]، همچنین بهبود سندروم متابولیک شده [۱۵] و در جمعیت‌های سالم، نیز سبب بهبود آمادگی قلبی-تنفسی، قدرت و توان عضلانی و سبب دور کمر و چابکی می‌شود [۹]. با وجود این، تأثیر این تمرینات بر سیستم همورئولوژی به‌ویژه در سالمندان با وضعیت پیش‌دیابتی کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است.

از این‌رو، نظر به موانع و محدودیت‌های اقتصادی در شرایط کنونی جامعه، رویکردهای تمرینی تناوبی ساده و با حداقل امکانات بیش از هر زمان دیگر حائز اهمیت است و به‌نظر می‌رسد انتخاب مناسبی برای ارزیابی سیستم همورئولوژیک در سالمندان باشد. فرض بر آن است تفاوت زیادی بین اثربخشی ۴۰ جلسه تمرینات $HIFT$ و پیاده‌روی نوردیک به روش تناوبی بر نشانگرهای همورئولوژیک بین دو جنس (مردان در برابر زنان) وجود ندارد. بر این اساس تحقیق حاضر درصدد پاسخگویی به دو پرسش است: اول اینکه چه تفاوتی بین اثربخشی ۴۰ جلسه تمرینات $HIFT$ و پیاده‌روی نوردیک به روش تناوبی بر شاخص‌های همورئولوژیک و عملکرد بدنی مردان و زنان پیش‌دیابتی ۵۵ تا ۷۵ سال شهرستان قوچان وجود دارد؟ دوم، آیا تفاوتی بین اثربخشی این تمرینات بین دو جنس وجود دارد؟

1. Cardiovascular diseases

2. High Intensity Functional Training

3. Nordic walking

روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی است که شامل ۴۰ جلسه تمرینی برای مردان و زنان سالمند (۵۶ تا ۷۵ سال) بود. این تحقیق تحت بررسی و تأیید کمیته اخلاق ملی با کد IR.UMZ.REC.1402.016 و بر اساس دستورالعمل هلسینکی در تابستان ۱۴۰۲ انجام گرفت. آزمودنی‌ها ضمن شرکت و رضایت آگاهانه در پژوهش، می‌توانستند در هر مرحله از تحقیق انصراف دهند. آزمایش خون در آزمایشگاه مرکزی قوچان و ارزیابی‌های عملکردی در باشگاه ورزشی توکل انجام شد.

معیارهای ورود و خروج از تحقیق و نحوه دسته‌بندی آزمودنی‌ها

معیارهای ورود شامل قند خون ناشتایی در محدوده ۱۰۰ تا ۱۲۵ و سطح هموگلوبین A1C در دامنه ۵/۷ تا ۶/۴ درصد، نداشتن فعالیت بدنی منظم در شش ماه گذشته، نداشتن نقص عضو، عدم استعمال دخانیات در سه ماه پیش از تحقیق، عدم مصرف الکل، یائسگی حداقل یک سال پیش از پژوهش در زنان و نداشتن بیماری‌های التهابی مزمن و کنترل‌نشده بودند، همچنین از ورود افراد با مشکلاتی اعم از آسیب‌های ارتوپدی و مفصلی پیشرفته به فرایند پژوهش جلوگیری شد. افراد شرکت‌کننده باید حداقل در ۸۷ درصد جلسات تمرینی بر اساس فرمول (تعداد جلسات تمرینی مورد انتظار تقسیم بر کل جلسات تمرینی ضربدر ۱۰۰) یعنی ۳۵ جلسه از ۴۰ جلسه شرکت می‌کردند.

در مجموع ۳۰ مرد و ۳۰ زن داوطلب از قوچان وارد تحقیق شده و در تابستان ۱۴۰۲ به‌صورت تصادفی به گروه‌های کنترل و تجربی تقسیم شدند. گروه تجربی شامل گروه‌های INW و HIFT بود که هر کدام به زیرگروه‌های مردان و زنان (تمام گروه‌ها ۱۰ نفر) تقسیم شدند.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد مشخصات آنتروپومتریک و دموگرافیک گروه‌های مختلف مردان و زنان پیش‌دیابتی در ابتدای دوره تحقیق

WHR	BMI (کیلوگرم/مترمربع)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	سن (سال)	قند خون اولیه		
					میلی‌گرم/دسی (لیتر)	سن (سال)	
کنترل	زنان	۱۰۴/۶۰±۹۷/۵۰	۶۱/۴۰±۳/۶۵	۷۱/۷۵±۵/۳۳	۱۵۴/۴۰±۶/۱۳	۳۰/۱۴±۲/۱۹	۰/۸۷±۰/۰۹
	مردان	۱۴۰/۸۰±۷۶/۳۴	۶۱/۴۰±۳/۶۸	۸۵/۴۲±۹/۳۰	۱۶۸/۸۰±۸/۶۲	۳۰/۱۶±۴/۵۳	۰/۹۴±۰/۰۶
HIFT	زنان	۱۲۲/۸۰±۸۰/۲۶	۶۱/۰۰±۲/۶۶	۷۳/۹۰±۰/۹۵	۱۵۷/۲۰±۶/۵۲	۳۰/۲۲±۳/۱۵	۰/۸۳±۰/۰۳
	مردان	۱۳۴/۹۰±۷۸/۲۵	۶۱/۶۰±۴/۰۶	۸۳/۳۰±۱۰/۸۱	۱۷۲/۰۰±۵/۵۳	۲۷/۸۸±۲/۴۷	۰/۹۴±۰/۰۶
INW	زنان	۹۴/۸۰±۱۸/۷۱	۶۲/۵۰±۲/۸۳	۷۰/۲۰±۸/۳۱	۱۵۶/۵۰±۴/۹۵	۲۸/۸۰±۳/۵۷	۰/۸۴±۰/۰۳
	مردان	۹۹/۶۰±۲۳/۱۷	۶۰/۸۰±۲/۷۴	۸۱/۰۵±۱۱/۸۵	۱۷۰/۴۰±۶/۱۵	۲۷/۹۷±۴/۱۸	۰/۹۰±۰/۰۵

*شاخص توده بدن (BMI)، نسبت دور کمر به لگن (WHR)

پروتکل تمرینی HIFT

پروتکل تمرینی تحقیق حاضر از پژوهش هر نیچ و همکاران [۱۶] اقتباس و با اندکی اصلاحات اجرا شد. آزمودنی‌ها طی دو جلسه اول نحوه اجرای صحیح حرکات ورزشی را آموختند. تمرینات طی ۴۰ جلسه انجام شد. پروتکل تمرینی اصلی شامل چهار نوبت ۴ تا ۷/۵ دقیقه‌ای بود که در فازهای تمرینی مختلف متغیر بودند. به منظور رعایت اصل اضافه بار نیز در هر فاز تمرینی نسبت استراحت به فعالیت تغییر کرد. نسبت استراحت به فعالیت نوبت‌ها در ۱۰ جلسه ابتدایی ۱ به ۲، در ۱۰ جلسه دوم ۱ به ۲/۵ و در ۲۰ جلسه انتهایی به صورت ۱ به ۳ اعمال شد. هر نوبت از تمرینات شامل چهار نوع حرکات دینامیک (هوازی)، قدرتی بالاتنه، قدرتی پایین‌تنه و قدرتی میان‌تنه بود. تمرینات شامل پلانک، شکم روسی، پلانک تی آر ایکس، هالو هولد، شنای سوئدی، پای کوهنورد، ضربه به باسن، زانوبند، نشر جانب، پشت‌بازو، سر شانه خم، بایسپس تی آر ایکس، پرس بالای سر، گابلت اسکات، لانچ، باکس جامپ و غیره بود. شاخص شدت تمرین بر اساس مقیاس درک فشار بورگ (RPE) بود که تمرینات HIFT با ۸۵ تا ۹۵ درصد حداکثر ضربان قلب را معادل RPE [۱۰-۷] از مقیاس ده عددی ارزیابی کردند.

جدول ۲. پروتکل تمرینات HIFT در آزمودنی‌های تحقیق حاضر

شاخص‌های تمرینی	فاز ۱	فاز ۲	فاز ۳	فاز ۴
۴۰ جلسه در ۱۰ هفته (۴ جلسه در هفته)	جلسه ۲-۱	جلسه ۱۱-۱۸	جلسه ۲۰-۱۹	جلسه ۲۸-۲۱
مدت زمان کل جلسه (دقیقه)	۲۴	۲۸	۲۶	۳۸
زمان خالص تمرین (دقیقه)	۱۶	۲۶	۱۸	۲۸
زمان خالص استراحت (دقیقه)	۸	۱۲	۸	۱۰
نسبت کار به استراحت	۲:۱	۲,۵:۱	۳:۱	۳:۱
استراحت بین ست (دقیقه)	۶	۴	۶/۵	۷/۵
استراحت بین حرکات (دقیقه)	۳	۲	۳	۲,۵
تعداد تمرینات	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶
تعداد ست	۴	۴	۴	۴

پروتکل تمرینی پیاده‌روی نوردیک به روش تناوبی (INW)

پروتکل پیاده‌روی نوردیک به روش تناوبی نیز با استفاده از بررسی محققان قبلی [۱۷، ۱۸] و با اندکی اصلاحات طراحی شد. به‌طور خلاصه، آزمودنی‌ها فعالیت پیاده‌روی را به روش نوردیک به مدت ۸ هفته، هر هفته ۵ جلسه و با شدت ۶۰ تا ۷۵ درصد MHR اجرا کردند. با توجه به مطالعه اولیه، مسافت ۲۰۰۰ گام به‌عنوان میزان پایه به مدت ۴۰ دقیقه اجرا شد. برای کنترل تعداد گام‌های طی‌شده، از دستگاه گام‌سنج امرون مدل $PAS20$ استفاده شد. آزمودنی‌ها تعداد گام از ۲۰۰۰ گام در جلسه اول را به ۸۸۰۰ گام در آخرین جلسه هفته چهارم در مدت ۴۰ دقیقه ثابت اجرا کردند. تعداد ست‌ها و استراحت بین آنها با رعایت اصل اضافه بار اعمال شد.

جدول ۳. پروتکل تمرینات INW در آزمودنی‌های تحقیق حاضر

هفته	روز	تعداد گام	تعداد ست	تعداد تکرار در هر ست	مسافت در هر تکرار (متر)	استراحت بین ست‌ها (دقیقه)	استراحت بین تکرارها (دقیقه)	مدت کل جلسه تمرینی	کالری مصرفی
اول	شنبه	۲۰۰۰	۴	۸	۲۵۰	۳	۲		
	یکشنبه	۲۰۰۰	۴	۸	۲۵۰	۳	۲		
	سه‌شنبه	۲۰۰۰	۴	۸	۲۵۰	۳	۲		
	چهارشنبه	۲۲۰۰	۴	۸	۲۷۵	۳	۲		
	پنجشنبه	۲۲۰۰	۴	۸	۲۷۵	۳	۲		
دوم	شنبه	۲۴۰۰	۴	۸	۳۰۰	۳	۲		
	یکشنبه	۲۶۰۰	۴	۸	۳۲۵	۳	۲		
	سه‌شنبه	۲۸۰۰	۴	۸	۳۵۰	۳	۲		
	چهارشنبه	۳۰۰۰	۴	۸	۳۷۵	۳	۲		
	پنجشنبه	۳۰۰۰	۴	۸	۳۷۵	۳	۲		
سوم	شنبه	۳۰۰۰	۳	۶	۵۰۰	۴	۲		
	یکشنبه	۳۲۰۰	۳	۶	۵۳۳	۴	۲		
	سه‌شنبه	۳۴۰۰	۳	۶	۵۶۷	۴	۲		
	چهارشنبه	۳۶۰۰	۳	۶	۶۰۰	۴	۲		
	پنجشنبه	۳۸۰۰	۳	۶	۶۳۳	۴	۲		
	شنبه	۴۰۰۰	۳	۶	۶۶۷	۴	۲		
	یکشنبه	۴۲۰۰	۳	۶	۷۰۰	۴	۲		

چهارم	سه‌شنبه	۴۴۰۰	۳	۶	۷۳۳	۴	۲
	چهارشنبه	۴۶۰۰	۳	۶	۷۶۷	۴	۲
	پنجشنبه	۴۸۰۰	۳	۶	۸۰۰	۴	۲
	شنبه	۵۰۰۰	۴	۸	۶۲۵	۳	۲
	یکشنبه	۵۲۰۰	۴	۸	۶۵۰	۳	۲
پنجم	سه‌شنبه	۵۴۰۰	۴	۸	۶۷۵	۳	۲
	چهارشنبه	۵۶۰۰	۴	۸	۷۰۰	۳	۲
	پنجشنبه	۵۸۰۰	۴	۸	۷۲۵	۳	۲
	شنبه	۶۰۰۰	۳	۶	۱۰۰۰	۴	۲
	یکشنبه	۶۲۰۰	۳	۶	۱۰۳۳	۴	۲
ششم	سه‌شنبه	۶۴۰۰	۳	۶	۱۰۶۷	۴	۲
	چهارشنبه	۶۶۰۰	۳	۶	۱۱۰۰	۴	۲
	پنجشنبه	۶۸۰۰	۳	۶	۱۱۳۳	۴	۲
	شنبه	۷۰۰۰	۴	۸	۸۷۵	۴	۳
	یکشنبه	۷۲۰۰	۴	۸	۹۰۰	۴	۳
هفتم	سه‌شنبه	۷۴۰۰	۴	۸	۹۲۵	۴	۳
	چهارشنبه	۷۶۰۰	۴	۸	۹۵۰	۴	۳
	پنجشنبه	۷۸۰۰	۴	۸	۹۷۵	۴	۳
	شنبه	۸۰۰۰	۳	۶	۱۳۳۳	۵	۳
	یکشنبه	۸۲۰۰	۳	۶	۱۳۶۷	۵	۳
هشتم	سه‌شنبه	۸۴۰۰	۳	۶	۱۴۰۰	۵	۳
	چهارشنبه	۸۶۰۰	۳	۶	۱۴۳۳	۵	۳
	پنجشنبه	۸۸۰۰	۳	۶	۱۴۶۷	۵	۳

ارزیابی ترکیب بدن، ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد بدنی

ارزیابی ترکیب بدن، عملکرد بدنی و ویژگی‌های فیزیولوژیک مردان و زنان در دو نوبت پیش و پس از مداخله‌های تمرینی و با روش‌های استاندارد انجام شد. ضربان قلب و فشار خون با گوشی پزشکی *isomed* و حداکثر ضربان قلب پیش‌بینی‌شده با استفاده از معادله تاناکا

PULSE OXIMETER LK88 نیز از دستگاه پالسی اکسی‌متر مدل $(MHR=208-(0.7*Age))$ محاسبه شد. برای ارزیابی *SPO2* نیز از دستگاه پالسی اکسی‌متر مدل *FINGERTIP* استفاده شد. پالس اکسی‌متر در نوک انگشت اشاره دست غیربرتر قرار داشت.

برای اندازه‌گیری قدرت پایین‌تنه از آزمون ۳۰ ثانیه‌ای نشست و برخاست روی صندلی که توسط جونز و همکاران [۱۹] گسترش یافت، استفاده شد. این آزمون شاخص پایا و معتبر (دارای روایی ۷۱-۷۸ درصد و پایایی ۸۴-۹۲ درصد) از قدرت اندام تحتانی بدن فراهم می‌کند. به‌منظور بررسی قدرت اندام فوقانی از آزمون پرس بازو ۳۰ ثانیه‌ای، به طریقی که قبلاً توسط محققان دیگر [۱۹] توصیف شده، استفاده شد. برای ارزیابی آمادگی قلبی تنفسی، آزمون پیاده‌روی ۶ دقیقه‌ای، از آزمون ۶ دقیقه پیاده‌روی به روش استاندارد توصیف‌شده توسط محققان قلبی [۲۰] استفاده شد.

نحوه خون‌گیری و آنالیز آزمایشگاهی

خون‌گیری در وضعیت ۱۲ ساعت ناشتایی و در دو نوبت در قبل (سطوح پایه) و متعاقب ۴۰ جلسه و ۴۸ ساعت بعد از آخرین مداخله‌های تمرینی ارزیابی شد. برای تعیین شاخص‌های همورئولوژی از کیت‌های بیوشیمی شرکت فرآسماد با حساسیت بالای ۹۵ درصد و دستگاه اتوآنالایزر بیوشیمی مدل *BT1500* ساخت ایتالیا استفاده شد. انسولین با کیت انسولین مونوکیت با حساسیت بالای ۹۵ درصد و دستگاه الایزا ریدر مدل *BIOTEK ELX800TS* ساخت آمریکا اندازه‌گیری شد.

روش‌های تجزیه و تحلیل آماری

از آمار پارامتریک آنالیز واریانس دوطرفه به‌منظور تعیین تأثیرات ۴۰ جلسه تمرینات *HIFT* و *INW* در مردان و زنان بر شاخص‌های همورئولوژیک استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری *SPSS* نسخه ۲۷ و در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ انجام گرفت.

یافته‌ها

تمام آزمودنی‌ها مداخله تمرینی ۴۰ جلسه تمرین *HIFT* و *INW* را بدون آسیب تکمیل کردند. در ابتدای تحقیق تفاوت معناداری بین میانگین مقادیر شاخص‌های رئولوژیک، هماتولوژیک و شاخص‌های عملکردی بین سه گروه زنان کنترل، *HIFT* و *INW* و سه گروه مردان کنترل، *HIFT* و *INW* وجود نداشت.

الف) اثر ۴۰ جلسه مداخله‌های تمرینی بر شاخص‌های رئولوژیک مردان و زنان پیش‌دیابتی

داده‌های جدول ۴ در مورد شاخص‌های رئولوژیکی نشان می‌دهد صرف‌نظر از نوع فعالیت ورزشی (*HIFT* و *INW*)، ۴۰ جلسه تمرین تناوبی موجب کاهش معنادار مقادیر فیبرینوژن و ویسکوزیته خون در هر دو گروه مردان و زنان شد (به ترتیب $P=0/002$ و اندازه اثر = $0/083$ ، $P=0/008$ و اندازه اثر = $0/063$)، درحالی‌که مقادیر پلاکت، آلبومین و پروتئین تام تفاوت معناداری را نشان نمی‌دهد.

همچنین مقایسه بین دو گروه تمرینی نشان داد بین تغییرات فیبرینوژن و ویسکوزیته خون تفاوت معناداری وجود داشت (به ترتیب $P \leq 0/001$ و اندازه اثر = $0/145$ ، $P \leq 0/001$ و اندازه اثر = $0/138$). فیبرینوژن در تمرینات *INW* افزایش بیشتری نسبت به تمرینات *HIFT* داشت؛ با این حال میزان ویسکوزیته خون در فعالیت *HIFT* کاهش بیشتری نسبت به تمرینات *INW* داشت ($P \leq 0/05$). افزون بر این بین تغییرات پلاکت، آلبومین و پروتئین تام به دو نوع تمرین *HIFT* و *INW* تفاوت معناداری وجود نداشت (جدول ۴).

مقایسه جنسیت نیز نشان داد اگرچه تغییرات فیبرینوژن و ویسکوزیته خون بین دو جنس تفاوت معناداری نداشت، اما تغییرات پلاکت، آلبومین و پروتئین تام بین دو جنس تفاوت معناداری داشت (به ترتیب $P=0/002$ و اندازه اثر $=0/086$ ، $P=0/002$ و اندازه اثر $=0/082$ و $P=0/001$ و اندازه اثر $=0/045$). میزان پروتئین تام و پلاکت در مردان بیشتر از زنان افزایش داشته، اما میزان آلبومین در مردان بیشتر از زنان کاهش داشت ($P \leq 0/05$).

جدول ۴. تغییرات شاخص‌های ۳ رئولوژیک طی ۴۰ جلسه تمرین HIFT و INW در مردان و زنان

اندازه اثر	p-value	پس آزمون	پیش آزمون	گروه‌ها	شاخص‌ها
0/145	تمرین: $<0/001$ *	309/80-322/40	318/90-344/67	زن	CO
0/083	زمان: $0/002$ *	294/90-324/21	294/80-325/12	مرد	
0/013	جنسیت: $0/238$ *	261/20-326/76	276/40-323/75	زن	HIFT
0/026	گروه*زمان: $0/244$ *	275/60-317/41	297/10-318/89	مرد	
		282/80-312/53	313/00-320/52	زن	INW
		271/00-318/94	291/90-321/92	مرد	
0/025	تمرین: $0/25$ *	244/60-329/15	253/90-330/06	زن	CO
0/015	زمان: $0/19$ *	220/21-322/34	219/50-322/73	مرد	
0/086	جنسیت: $0/002$ *	256/80-327/27	253/40-327/17	زن	HIFT
0/021	گروه*زمان: $0/32$ *	254/50-328/31	237/50-324/56	مرد	
		276/50-324/07	240/00-325/78	زن	INW
		224/60-326/01	207/00-322/36	مرد	
0/138	تمرین: $<0/001$ *	4/14-0/18	4/07-0/21	زن	CO
0/063	زمان: $0/008$ *	4/13-0/23	4/11-0/23	مرد	
0/026	جنسیت: $0/09$ *	3/78-0/20	4/00-0/20	زن	HIFT
0/071	گروه*زمان: $0/018$ *	3/89-0/18	4/05-0/25	مرد	
		3/84-0/13	4/03-0/13	زن	INW
		3/96-0/16	4/09-0/21	مرد	
0/022	تمرین: $0/30$ *	3/88-0/34	4/01-0/26	زن	CO
0/007	زمان: $0/40$ *	4/28-0/29	4/30-0/25	مرد	
0/082	جنسیت: $0/002$ *	4/13-0/12	4/15-0/17	زن	HIFT
0/008	گروه*زمان: $0/64$ *	4/19-0/24	4/25-0/24	مرد	
		4/13-0/09	4/15-0/16	زن	INW
		4/11-0/07	4/06-0/10	مرد	

اندازه اثر	تمرین: ۰/۳۳	زن		CO	Total Proteine (g/dL)
		۷/۰۰۰/۰۴۵	۷/۰۷۰/۰۶۰		
۰/۰۲۰	تمرین: ۰/۳۳	۷/۲۱۰/۰/۳۳	۷/۳۲۰/۰/۳۷	مرد	
۰/۰۲۱	زمان: ۰/۱۳۹	۷/۱۸۰/۰/۱۸	۷/۱۳۰/۰/۴۰	زن	
۰/۰۵۰	جنسیت: *۰/۰۱	۷/۴۶۰/۰/۲۰	۷/۲۶۰/۰/۲۹	مرد	HIFT
۰/۰۴۵	گروه*زمان: ۰/۰۸	۷/۲۲۰/۰/۱۸	۷/۱۲۰/۰/۲۳	زن	
		۷/۳۸۰/۰/۱۹	۶/۹۸۰/۰/۳۳	مرد	INW

*نشانه تفاوت معناداری بین گروه‌ها در سطح $P \leq 0.05$

ب) اثر ۴۰ جلسه مداخله‌های تمرینی بر شاخص‌های هماتولوژیک در مردان و زنان پیش‌دیابتی

تغییرات شاخص‌های هماتولوژیک در جدول ۵، مؤید آن است که ۴۰ جلسه تمرینات تناوبی صرف‌نظر از نوع آن (INW و HIFT)، موجب کاهش معنادار هماتوکریت ($P=0.001$ و اندازه اثر = 0.056). در هر دو گروه مردان و زنان شده است. تعداد گلبول‌های سفید، گلبول‌های قرمز، هموگلوبین، حجم متوسط سلولی، میانگین هموگلوبین سلولی، غلظت هموگلوبین گلبول‌های قرمز و میزان توزیع گلبول‌های قرمز تفاوت معناداری نداشت (جدول ۵).

مقایسه بین دو گروه تمرینی نشان داد بین تغییرات گلبول‌های سفید، تعداد گلبول‌های قرمز، حجم متوسط سلولی، میانگین هموگلوبین سلولی، غلظت گلبول‌های قرمز و میزان توزیع گلبول‌های قرمز به دو نوع تمرین HIFT و INW تفاوت معناداری وجود نداشت، اما هموگلوبین در تمرینات INW افزایش بیشتری نسبت به تمرینات HIFT داشت؛ با این حال میزان هماتوکریت در گروه INW در مقایسه با گروه کنترل میزان آن کاهش و در گروه HIFT در مقایسه با گروه کنترل افزایش داشت ($P \leq 0.05$).

مقایسه جنسیت نیز نشان داد اگرچه تفاوت معناداری در تغییرات حجم متوسط سلولی، تعداد گلبول‌های قرمز و میزان توزیع گلبول‌های قرمز بین دو جنس وجود نداشت (به ترتیب $P=0.076$ و اندازه اثر = $0.077/0.29$ و $P=0.060$ ، اندازه اثر = 0.029 و $P=0.060$ و اندازه اثر = 0.029)، اما در پاسخ‌های گلبول‌های سفید، هموگلوبین، هماتوکریت، میانگین هموگلوبین سلولی و میانگین غلظت هموگلوبین گلبولی بین دو جنس تفاوت معناداری مشاهده شد (جدول ۵). میزان گلبول‌های سفید، تعداد گلبول‌های قرمز، هموگلوبین، میانگین هموگلوبین سلولی، میانگین غلظت هموگلوبین گلبولی در مردان بیشتر از زنان افزایش داشته، اما میزان هماتوکریت در مردان بیشتر از زنان کاهش داشت ($P \leq 0.05$).

جدول ۵. تغییرات شاخص‌های هماتولوژیک طی ۴۰ جلسه تمرین HIFT و INW در مردان و زنان

شاخص‌ها	گروه‌ها	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	p-value	اندازه اثر
CO	زن	۶/۱±۲۶/۱۱	۶/۰±۰۰/۹۹		
	مرد	۷/۱±۴۵/۲۷	۷/۱±۵۲/۱۹	تمرین: ۰/۱۵	۰/۰۳۴
HIFT	زن	۶/۱±۰۲/۴۳	۶/۱±۳۷/۱۶	زمان: ۰/۰۵۶	۰/۰۳۳
	مرد	۷/۱±۲۵/۵۴	۷/۱±۷۳/۳۴	جنسیت: * <0.001	۰/۱۷۴
INW	زن	۵/۱±۵۸/۲۵	۶/۰±۵۵/۸۵	گروه*زمان: ۰/۱۵۷	۰/۰۳۴
	مرد	۶/۱±۱۵/۴۴	۷/۱±۱۵/۲۶		

		۴/۰±۷۶/۴۳	۴/۰±۷۵/۴۵	زن	CO	RBC (10*6/uL)
۰/۰۲۱	تمرین: ۰/۳۱	۴/۰±۷۶/۳۵	۴/۰±۷۵/۳۴	مرد		
۰/۰۱۱	زمان: ۰/۲۸	۴/۰±۷۲/۳۷	۴/۰±۷۵/۲۷	زن	HIFT	
۰/۰۲۹	جنسیت: ۰/۰۷۷	۵/۰±۱۶/۱۱	۴/۰±۹۷/۴۵	مرد		
۰/۰۰۸	گروه*زمان: ۰/۶۵	۵/۱±۰۱/۱۰	۴/۰±۶۵/۲۳	زن	INW	
		۵/۰±۱۲/۴۲	۴/۴±۹۹/۵۰	مرد		
		۱۲/۱±۸۲/۰۶	۱۲/۱±۷۸/۰۲	زن	CO	Hgb (g/dL)
۰/۱۰۴	تمرین: ۰/۰۰۳*	۱۴/۱±۰۷/۰۰	۱۴/۱±۲۰/۰۴	مرد		
۰/۰۱۲	زمان: ۰/۲۶	۱۳/۱±۶۱/۱۴	۱۳/۰±۶۵/۸۵	زن	HIFT	
۰/۲۳۳	جنسیت: ۰/۰۰۱*	۱۵/۱±۲۲/۱۸	۱۴/۱±۷۶/۲۰	مرد		
۰/۰۱۲	گروه*زمان: ۰/۵۳	۱۳/۰±۸۹/۶۵	۱۳/۰±۵۵/۹۵	زن	INW	
		۱۴/۱±۸۳/۲۷	۱۴/۱±۱۴/۵۷	مرد		
		۳۹/۱±۳۲/۹۴	۳۹/۲±۴۲/۱۰	زن	CO	HCT (%)
۰/۰۲۳	تمرین: ۰/۰۲*	۴۲/۲±۶۰/۳۴	۴۲/۲±۵۲/۳۳	مرد		
۰/۰۹۲	زمان: ۰/۰۰۱*	۴۱/۲±۲۳/۸۹	۴۲/۲±۶۰/۴۰	زن	HIFT	
۰/۱۷۵	جنسیت: ۰/۰۰۱*	۴۱/۲±۵۰/۸۲	۴۳/۳±۹۳/۳۱	مرد		
۰/۰۵۱	گروه*زمان: ۰/۰۵۹	۳۸/۲±۸۲/۱۲	۴۰/۲±۶۱/۱۳	زن	INW	
		۴۰/۱±۵۴/۹۶	۴۳/۲±۹۳/۹۶	مرد		
		۸۴/۴±۲۵/۸۷	۸۴/۵±۳۵/۰۶	زن	CO	MCV (fL)
۰/۰۴۹	تمرین: ۰/۰۵۸	۸۹/۴±۶۲/۴۱	۸۹/۴±۶۵/۴۶	مرد		
۰/۰۰۱	زمان: ۰/۸۰	۸۹/۱±۷۸/۹۱	۸۹/۲±۶۷/۰۲	زن	HIFT	
۰/۰۲۹	جنسیت: ۰/۰۷۶	۸۷/۲±۷۹/۹۶	۸۹/۳±۵۵/۳۴	مرد		
۰/۰۰۰	گروه*زمان: ۰/۹۸	۸۷/۳±۲۶/۰۱	۸۷/۳±۳۴/۳۰	زن	INW	
		۸۷/۳±۰۸/۳۸	۸۷/۴±۲۲/۰۳	مرد		
		۲۷/۲±۴۱/۴۰	۲۷/۲±۰۰/۳۸	زن	CO	MCH (pg)
۰/۰۲۲	تمرین: ۰/۳۰	۲۹/۲±۹۸/۲۵	۲۹/۲±۹۴/۲۴	مرد		
۰/۰۰۳	زمان: ۰/۵۹	۲۸/۰±۵۰/۸۶	۲۸/۰±۷۴/۹۲	زن	HIFT	
۰/۰۹۲	جنسیت: ۰/۰۰۱*	۲۹/۱±۸۱/۷۷	۲۹/۱±۷۰/۴۴	مرد		
۰/۰۰۳	گروه*زمان: ۰/۸۵					

		۲۹/۱±۵۹/۰۵	۲۹/۱±۱۱/۲۴	زن			
		۲۸/۱±۸۳/۹۲	۲۸/۱±۵۶/۸۷	مرد	INW		
		۳۲/۱±۵۸/۶۳	۳۲/۱±۰۵/۵۴	زن			
۰/۰۳۷	تمرین: ۰/۱۲	۳۳/۱±۳۷/۰۱	۳۳/۰±۳۶/۹۸	مرد	CO		
۰/۰۲۱	زمان: ۰/۱۳	۳۲/۱±۰۰۱/۲۱	۳۲/۰±۰۵/۸۵	زن		MCHC (%)	
۰/۰۹۲	جنسیت: ۰/۰۰۱*	۳۳/۱±۸۹/۲۸	۳۳/۰±۵۸/۸۳	مرد	HIFT		
۰/۰۰۸	گروه*زمان: ۰/۶۵	۳۳/۱±۸۷/۰۴	۳۳/۱±۳۵/۰۱	زن			
		۳۳/۱±۴۵/۵۲	۳۲/۱±۷۲/۴۴	مرد	INW		
		۱۳/۱±۰۱/۱۲	۱۳/۱±۳۱/۰۱	زن			
۰/۰۰۲	تمرین: ۰/۸۸	۱۲/۶۵±۰/۷۳	۱۲/۷۰±۰/۷۳	مرد	CO		
۰/۰۰۳	زمان: ۰/۵۹	۱۲/۰±۹۶/۶۸	۱۲/۰±۹۳/۷۴	زن		RDW_CV (%)	
۰/۰۰۲	جنسیت: ۰/۶۰	۱۲/۰±۶۳/۶۶	۱۲/۰±۸۷/۶۴	مرد	HIFT		
۰/۰۰۴	گروه*زمان: ۰/۸۰	۱۲/۰±۶۷/۳۹	۱۲/۰±۲۸/۵۶	زن			
		۱۳/۰±۲۳/۷۶	۱۳/۰±۵۲/۹۶	مرد	INW		

*نشانه تفاوت معناداری بین گروه‌ها در سطح $P \leq 0.05$

ج) اثر ۴۰ جلسه مداخله‌های تمرینی بر شاخص‌های عملکردی در مردان و زنان پیش‌دیابتی

تغییرات شاخص‌های عملکردی متعاقب ۴۰ جلسه تمرین HIFT و INW در مردان و زنان پیش‌دیابتی در جدول ۶ حاکی از آن است که هرچند هر دو نوع فعالیت ورزشی (HIFT و INW)، موجب افزایش معنادار مقادیر قدرت بالاتنه، قدرت پایین‌تنه و ۶ دقیقه پیاده‌روی در هر دو گروه مردان و زنان شد (به ترتیب $P \leq 0.001$ و اندازه اثر = ۰/۱۳۳، $P \leq 0.001$ و اندازه اثر = ۰/۱۴۱، $P \leq 0.001$ و اندازه اثر = ۰/۲۱۲)، اما قدرت بالاتنه متعاقب دو نوع تمرین HIFT و INW تفاوت معناداری وجود نداشت ($P = 0.064$ و اندازه اثر = ۰/۰۵۰)، اما بین تغییرات قدرت پایین‌تنه و ۶ دقیقه پیاده‌روی تفاوت معناداری وجود داشت (به ترتیب $P = 0.03$ و اندازه اثر = ۰/۰۶۲، $P = 0.01$ و اندازه اثر = ۰/۲۴۹). هر دو مورد متعاقب تمرینات INW افزایش بیشتری نسبت به تمرینات HIFT داشتند ($P \leq 0.05$).

مقایسه جنسیت نیز مؤید وجود تفاوت معنادار تغییرات قدرت بالاتنه، قدرت پایین‌تنه و ۶ دقیقه پیاده‌روی بین دو جنس است (به ترتیب $P \leq 0.001$ و اندازه اثر = ۰/۵۳۰، $P \leq 0.001$ و اندازه اثر = ۰/۲۵۹ و $P \leq 0.001$ و اندازه اثر = ۰/۱۹۳). مقادیر هر سه شاخص در مردان بیشتر از زنان افزایش داشت ($P \leq 0.05$).

جدول ۶: تغییرات شاخص‌های عملکردی طی ۴۰ جلسه تمرین HIFT و INW در مردان و زنان

شاخص‌ها	گروه‌ها	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	p-value	اندازه اثر
قدرت بالاتنه	زن	۱۴/۲۰±۱/۴۷	۱۴/۵۰±۱/۱۷	تمرین: ۰/۰۶۴	۰/۰۵۰
	مرد	۱۶/۶۰±۲/۰۱	۱۷/۲۰±۱/۸۷	زمان: ۰/۰۰۱*	۰/۱۳۳

۰/۵۳۰	جنسیت: $<0/001$ *	۱۵/۰۰۰/۹۴	۱۴/۰۰۰/۸۱	زن	HIFT	(تکرار)	
۰/۰۲۸	گروه*زمان: ۰/۲۱۶	۱۸/۷۰۰/۲۵	۱۷/۴۰۰/۵۷	مرد			
		۱۵/۱۰۰/۱۱۰	۱۳/۷۰۰/۸۲	زن	INW		
		۱۷/۷۰۰/۴۹	۱۶/۰۰۰/۷۶	مرد			
۰/۰۶۲	تمرین: $0/03$ *	۱۴/۱۰۰/۳۷	۱۴/۰۰۰/۲۴	زن	CO		
۰/۱۴۱	زمان: $<0/001$ *	۱۵/۲۰۰/۹۳	۱۵/۱۰۰/۹۶	مرد			
۰/۲۵۹	جنسیت: $<0/001$ *	۱۴/۹۰۰/۷۳	۱۳/۷۰۰/۴۱	زن	HIFT	قدرت پایین تنه (تکرار)	
۰/۰۶۷	گروه*زمان: ۰/۰۲۳	۱۷/۱۰۰/۷۹	۱۵/۱۰۰/۴۴	مرد			
		۱۵/۳۰۰/۳۳	۱۳/۳۰۰/۸۲	زن	INW		
		۱۷/۸۰۰/۸۷	۱۵/۸۰۰/۸۱	مرد			
۰/۲۴۹	تمرین: $0/01$ *	۵۲۹/۸۰۰/۱۹	۵۰۸/۰۰۰/۸۱	زن	CO		
۰/۲۱۲	زمان: $<0/001$ *	۵۳۸/۰۰۰/۷۱	۵۳۹/۰۰۰/۸۱	مرد			
۰/۱۹۳	جنسیت: $<0/001$ *	۵۹۴/۰۰۰/۴۶/۴۷	۵۴۸/۰۰۰/۵۳/۵۰	زن	HIFT	6MWT (m)	
۰/۰۸۰	گروه*زمان: ۰/۰۱۱*	۶۲۹/۵۰۰/۶۲/۲۹	۵۴۲/۵۰۰/۴۷/۲۱	مرد			
		۴۹۰/۰۰۰/۴۲/۷۵	۴۲۳/۰۰۰/۶۳/۱۶	زن	INW		
		۶۰۹/۵۰۰/۶۲/۱۱	۵۲۳/۵۰۰/۴۷/۶۱	مرد			

*نشانه تفاوت معناداری بین گروه‌ها در سطح $P \leq 0/05$

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر مشخص شد که صرف‌نظر از نوع فعالیت ورزشی (HIFT و INW)، ۴۰ جلسه تمرین تناوبی موجب بهبود معنادار سیستم همورئولوژیکی و عملکرد بدنی در هر دو جنس شد و این اثربخشی در مورد شاخص رئولوژیکی و عملکرد بدنی در مردان محسوس‌تر از زنان سالمند بود. همچنین ۴۰ جلسه تمرین HIFT و INW موجب کاهش معنادار مقادیر فیبرینوژن و ویسکوزیته در هر دو گروه مردان و زنان شد. بر اساس شواهد مداخله‌های حرکتی از طریق اجرای تمرینات عملکردی و هوازی با سازوکار مشابهی بر سیستم گردش خون اثرگذار است و می‌تواند به تغییرات مثبت در سطوح فیبرینوژن و شاخص‌های خون‌شناسی در افراد سالمند منجر شود. این تأثیر اغلب از طریق بهبود فرایندهای ضدالتهابی، ارتقای جریان خون و تعدیل پاسخ‌های هموستاتیک انجام می‌شود؛ به گونه‌ای که فعالیت‌های ورزشی با کاهش التهاب زمینه‌ای و افزایش خون‌رسانی بافتی، نقش اثربخشی در کاهش فیبرینوژن و روان‌تر شدن خون ایفا می‌کند، که این امر می‌تواند خطر بیماری‌های قلبی-عروقی و عوارض ناشی از افزایش ویسکوزیته خون را کاهش دهد [۲۱]. یافته‌های برخی محققان نظیر کرافال جانوشک و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد انجام شش هفته تمرین پیاده‌روی نوردیک سبب کاهش شایان توجه میزان فیبرینوژن در بیماران مبتلا به سندروم کرونر شد [۲۲]. با وجود این، تمرین HIFT نقش محافظتی مهمی در بیماران قلبی دارد، درحالی‌که نشان داده شده است تمرین تناوبی با شدت بالا، زمان ترومبوپلاستین نسبتاً فعال شده را طولانی می‌کند و فعالیت عامل انعقادی و مقادیر فیبرینوژن را کاهش می‌دهد [۲۳، ۲۴]. همچنین فعالیت‌های هوازی منظم از طریق کاهش تحریکات کاتکولامینی، افزایش جریان خون

در عضلات و افزایش کلی حجم خون به کاهش سطوح فیبرینوژن منجر می‌شوند [۲۵]. همه این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر همسو هستند و تأثیر کاهشی تمرینات INW و HIIT بر سطوح فیبرینوژن و ویسکوزیته را نشان می‌دهند. به همین ترتیب، تأثیرات ورزش هوازی سبب افزایش حجم پلاسما در نتیجه کاهش ویسکوزیته خون، بهبود عوامل خونی و ESR می‌شود؛ در نتیجه، موجب بهبود سیالیت خون و پیشگیری برخی از بیماری‌های مرتبط با این شاخص‌ها، مانند بیماری‌های قلبی عروقی می‌شود [۲۶]. فعالیت ورزشی با توجه به نوع، مدت، شدت و همچنین میزان آمادگی بدنی فرد موجب تغییر در رئولوژی خون می‌شود [۲۳]. محققان نشان داده‌اند که فعالیت مقاومتی با شدت بالا موجب افزایش تجمع پلاکتی می‌شود، اما تمرینات منظم ورزشی با افزایش حجم پلاسما و کاهش نسبت هماتوکریت نسبت به حجم خون موجب کاهش ویسکوزیته پلاسما می‌شود [۲۷].

موضوع دیگری که در تحقیق حاضر بررسی شد تأثیر ۴۰ جلسه تمرین HIIT و INW بر سیستم هماتولوژیک بود و مشخص شد که این تمرینات موجب افزایش معنادار مقادیر گلبول‌های سفید، هموگلوبین و میانگین غلظت هموگلوبین گلبولی در هر دو گروه مردان و زنان شده است، درحالی که مقدار هماتوکریت به‌طور معناداری کاهش یافت. شواهد پژوهشی نشان داده‌اند که فعالیت‌های تمرینی با شدت متوسط تا شدید باعث افزایش موقتی در ترشح هورمون‌های مرتبط با استرس (مانند کاتکولامین‌ها و کورتیزول) شده که موجب بسیج گلبول‌های سفید از ذخایر عروقی و بافتی به جریان خون می‌شود [۲۸]. در مورد افزایش هموگلوبین و میانگین غلظت هموگلوبین گلبولی، تمرینات HIIT و همچنین پیاده‌روی نوردیک، هیپوکسی گذرا در عضلات فعال را ایجاد می‌کنند که این وضعیت به تحریک اریتروپوئز منجر می‌شود. افزایش اریتروپوئز در نهایت مقدار هموگلوبین و میزان غلظت هموگلوبین داخل گلبولی را افزایش می‌دهد. همچنین فشارهای مکانیکی ناشی از ورزش‌های مقاومتی و قدرتی از جمله فاکتورهایی است که می‌تواند تولید هموگلوبین و افزایش MCHC را تسریع کند، به‌طور کلی، تحریک فاکتور رشد اریتروپوئتی از طریق تمرینات به افزایش ظرفیت حمل اکسیژن خون و پاسخ‌های هماتوپوئتی منجر می‌شود که در افزایش Hb و MCHC منعکس می‌شود [۲۹]. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که در برخی از فاکتورهای اریتروسیت‌ها تفاوت معناداری بین دو گروه مشاهده نشد. این یافته‌ها می‌تواند تا حدودی تأثیر محافظت‌کننده قلب در تمرینات HIIT و INW را توضیح دهد که با تأمین گلبول‌های قرمز غنی از هموگلوبین بدون اصلاح درصد گلبول‌های قرمز در حجم کل خون و در نتیجه افزایش ویسکوزیته خون یک عامل مهم خطر قلبی-عروقی است که اکسیژن‌رسانی سلول را بهبود می‌بخشد. دلیل تفاوت در یافته‌ها را می‌توان به نوع تمرینات استفاده‌شده، شدت تمرینات، جنسیت و سطح آمادگی آزمودنی‌ها نسبت داد [۲۷، ۳۰، ۳۱].

در تحقیق حاضر هر دو تمرینات HIIT و INW باعث افزایش قدرت عضلانی پایین‌تنه و ۶ دقیقه پیاده‌روی در هر دو جنس شد، اما این افزایش متعاقب تمرینات HIIT در مردان بیشتر از زنان بود. سازوکار افزایش قدرت ناشی از تمرین قدرتی می‌تواند بخشی به افزایش هماهنگی عصبی عضلانی و بخشی ناشی از تغییرات احتمالی تارها و شرایط هورمون‌های آنابولیک مانند هورمون رشد و شبه‌انسولین مربوط باشد [۳۲] که البته در تحقیق حاضر سنجدیده نشد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های شرینگتن و همکاران (۲۰۱۹) همسوست که تأثیر مثبت برنامه‌های تمرینی مختلف را بر پیشگیری از زمین خوردن در افراد سالمند گزارش کرده بودند [۳۳]. از محدودیت‌های تحقیق حاضر، عدم کنترل کامل برنامه تغذیه‌ای سالمندان بر شاخص‌های رئولوژیک و هماتولوژیک سالمندان بود. بی‌تردید با کنترل دقیق‌تر وضعیت تغذیه‌ای افراد می‌توان تأثیرات بارزتری از این‌گونه پروتکل‌های تمرینی را در سالمندان شاهد بود. تمرینات HIIT به دلیل شدت بالا و ماهیت چندمفصلی، موجب تحریک بیشتر مسیرهای آنابولیک مانند افزایش ترشح تستوسترون، IGF-1 و سایر فاکتورهای رشد می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مردان نسبت به زنان، حساسیت بیشتری به این محرک‌ها دارند و عضلات آنها پاسخ پروتئین‌سازی قوی‌تری پس از تمرینات پرشدت نشان می‌دهد. همچنین مردان به‌طور معمول دارای حجم عضلانی اولیه و تارهای

تندانقباض بیشتری هستند که با تمرینات شدیدتر مستعد افزایش قدرت و عملکرد بدنی اند. از سوی دیگر، تفاوت‌های ژنتیکی، هورمونی و متابولیکی بین مردان و زنان در سنین سالمندی باعث می‌شود زنان پاسخ آهسته‌تری به تمرینات مقاومتی و تناوبی نشان دهند. به‌طور خلاصه، مردان نسبت به HIFT سودمندی بیشتری از لحاظ تقویت عضلات و افزایش استقامت عملکردی کسب می‌کنند.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، صرف‌نظر از نوع تمرینات نوردیک تناوبی (INW) و تمرینات فانکشنال (HIFT)، ۴۰ جلسه تمرین تناوبی موجب بهبود معنادار سیستم همورئولوژیکی و عملکرد بدنی در هر دو جنس شد و این اثربخشی در مردان محسوس‌تر از زنان سالمند بود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از همکاری بی‌دریغ آزمودنی‌های پژوهش و تیم پژوهشی قدردانی می‌شود.

References

- [1]. Matteini, F., Mulaw, M. A., & Florian, M. C. (2021). Aging of the Hematopoietic Stem Cell Niche: New Tools to Answer an Old Question. *Frontiers in immunology*, 12, 738204. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.738204>.
- [2]. Yan, B., Yuan, Q., & Guryanova, O. A. (2023). Epigenetic Mechanisms in Hematologic Aging and Premalignant Conditions. *Epigenomes*, 7(4), 32. <https://doi.org/10.3390/epigenomes7040032>
- [3]. Chen, H., Chen, C., Spanos, M., Li, G., Lu, R., Bei, Y., & Xiao, J. (2022). Exercise training maintains cardiovascular health: signaling pathways involved and potential therapeutics. *Signal transduction and targeted therapy*, 7(1), 306. <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01153-1>
- [4]. Mardyla, M., Teleglow, A., Ptaszek, B., Jekielek, M., Mańko, G., & Marchewka, J. (2023). Effects of Rowing on Rheological Properties of Blood. *International journal of environmental research and public health*, 20(6), 5159. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065159>
- [5]. Eslami R, Heidary D, Mehdipour A, Heidari S. The Effects of Acute Exercise and Exercise Training on Plasma Fibrinogen Levels in Healthy Individuals: A Meta-Analysis. *Sci J Iran Blood Transfus Organ* 2021; 18 (2) :127-141 <http://bloodjournal.ir/article-1-1379-en.html>
- [6]. Brigatto, F. A., Lima, L. E. M., Germano, M. D., Aoki, M. S., Braz, T. V., & Lopes, C. R. (2022). High Resistance-Training Volume Enhances Muscle Thickness in Resistance-Trained Men. *Journal of strength and conditioning research*, 36(1), 22–30. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003413>
- [7]. Franco, C. M. C., Carneiro, M. A. S., de Sousa, J. F. R., Gomes, G. K., & Orsatti, F. L. (2021). Influence of High- and Low-Frequency Resistance Training on Lean Body Mass and Muscle Strength Gains in Untrained Men. *Journal of strength and conditioning research*, 35(8), 2089–2094. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003145>
- [8]. Wang, X., Soh, K. G., Samsudin, S., Deng, N., Liu, X., Zhao, Y., & Akbar, S. (2023). Effects of high-intensity functional training on physical fitness and sport-specific performance among the athletes: A systematic review with meta-analysis. *PloS one*, 18(12), e0295531. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295531>
- [9]. Prince, S. A., Wooding, E., Mielniczuk, L., Pipe, A. L., Chan, K. L., Keast, M. L., Harris, J., Tulloch, H. E., Mark, A. E., Cotie, L. M., Wells, G. A., & Reid, R. D. (2019). Nordic walking and standard exercise therapy in patients with chronic heart failure: A randomised controlled trial comparison. *European journal of preventive cardiology*, 26(16), 1790–1794. <https://doi.org/10.1177/2047487319871215>

- [10]. Sobczak, K., Nowinka, P., Wochna, K., & Domaszewska, K. (2023). The Effects of Nordic Walking with Poles with an Integrated Resistance Shock Absorber on Red Blood Cell Distribution and Cardiorespiratory Efficiency in Postmenopausal Women-A Randomized Controlled Trial. *Biology*, 12(2), 179. <https://doi.org/10.3390/biology12020179>
- [11]. Terada, T., Cotie, L. M., Tulloch, H., Mistura, M., Vidal-Almela, S., O'Neill, C. D., Reid, R. D., Pipe, A., & Reed, J. L. (2022). Sustained Effects of Different Exercise Modalities on Physical and Mental Health in Patients With Coronary Artery Disease: A Randomized Clinical Trial. *The Canadian journal of cardiology*, 38(8), 1235–1243. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2022.03.017>
- [12]. Nieuwoudt, S., Fealy, C. E., Foucher, J. A., Scelsi, A. R., Malin, S. K., Pagadala, M., Rocco, M., Burguera, B., & Kirwan, J. P. (2017). Functional high-intensity training improves pancreatic β -cell function in adults with type 2 diabetes. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, 313(3), E314–E320. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00407.2016>
- [13]. Posnakidis, G., Aphamis, G., Giannaki, C. D., Mougios, V., Aristotelous, P., Samoutis, G., & Bogdanis, G. C. (2022). High-Intensity Functional Training Improves Cardiorespiratory Fitness and Neuromuscular Performance Without Inflammation or Muscle Damage. *Journal of strength and conditioning research*, 36(3), 615–623. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003516>
- [14]. Fealy, C. E., Nieuwoudt, S., Foucher, J. A., Scelsi, A. R., Malin, S. K., Pagadala, M., Cruz, L. A., Li, M., Rocco, M., Burguera, B., & Kirwan, J. P. (2018). Functional high-intensity exercise training ameliorates insulin resistance and cardiometabolic risk factors in type 2 diabetes. *Experimental physiology*, 103(7), 985–994. <https://doi.org/10.1113/EP086844>
- [15]. Heinrich, K. M., Crawford, D. A., Langford, C. R., Kehler, A., & Andrews, V. (2021). High-Intensity Functional Training Shows Promise for Improving Physical Functioning and Activity in Community-Dwelling Older Adults: A Pilot Study. *Journal of geriatric physical therapy* (2001), 44(1), 9–17. <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000251>
- [16]. Reed, J. L., Terada, T., Cotie, L. M., Tulloch, H. E., Leenen, F. H., Mistura, M., Hans, H., Wang, H. W., Vidal-Almela, S., Reid, R. D., & Pipe, A. L. (2022). The effects of high-intensity interval training, Nordic walking and moderate-to-vigorous intensity continuous training on functional capacity, depression and quality of life in patients with coronary artery disease enrolled in cardiac rehabilitation: A randomized controlled trial (CRX study). *Progress in cardiovascular diseases*, 70, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2021.07.002>
- [17]. Sobczak, K., Nowinka, P., Wochna, K., & Domaszewska, K. (2023). The Effects of Nordic Walking with Poles with an Integrated Resistance Shock Absorber on Red Blood Cell Distribution and Cardiorespiratory Efficiency in Postmenopausal Women-A Randomized Controlled Trial. *Biology*, 12(2), 179. <https://doi.org/10.3390/biology12020179>
- [18]. Terada, T., Cotie, L. M., Tulloch, H., Mistura, M., Vidal-Almela, S., O'Neill, C. D., Reid, R. D., Pipe, A., & Reed, J. L. (2022). Sustained Effects of Different Exercise Modalities on Physical and Mental Health in Patients With Coronary Artery Disease: A Randomized Clinical Trial. *The Canadian journal of cardiology*, 38(8), 1235–1243. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2022.03.017>
- [19]. Hosseini SH, Samami N, Heshmati S, Mohamadi A. Effect of whole body vibration training program on strength, flexibility and mobility in inactive elderly men. *Quarterly Journal of Geriatric Nursing*. 2018; 4 (1). 2018;96. [in Persian] <http://jgn.medilam.ac.ir/article-1-232-en.html>
- [20]. Jalili M, Nazem F. Evaluation of validity and reliability of diagnostic 6 minute walk test (6MWT) in the measurement of cardio-respiratory efficiency with gass exchange analysis in boys. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2017 May 22;16(2):209-22.. [Persian] <https://doi.org/10.22118/jsmj.2017.49246>
- [21]. Kabata-Pizuch A, Suder A, Handzlik-Waszkiwicz P, Teległów A, Marchewka A. Alterations of Body Composition, Blood Morphology and Fibrinogen Concentration after Vibration Therapy in Older Adult

- Women: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Clinical Medicine*. 2023 Oct 19;12(20):6620. <https://doi.org/10.3390/jcm12206620>
- [22]. Martins, R. A., Veríssimo, M. T., Coelho e Silva, M. J., Cumming, S. P., & Teixeira, A. M. (2010). Effects of aerobic and strength-based training on metabolic health indicators in older adults. *Lipids in health and disease*, 9, 76. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-9-76>
- [23]. Košuta, D., Novaković, M., Božič Mijovski, M., & Jug, B. (2024). Acute effects of high intensity interval training versus moderate intensity continuous training on haemostasis in patients with coronary artery disease. *Scientific reports*, 14(1), 1963. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52521-6>
- [24]. Tekantapeh AB, Zolfaghari MR, Khademvatani K, Fattahi A. Impact of an Eight-Week Moderate-Intensity Aerobic Training Program, Combined With Supplementation of the Aqueous Extract of *Cynodon dactylon*, on Hemorheological Indices in Young Non-athletic Men. <https://doi.org/10.34172/ajmb.2439>
- [25]. Karakoc, Y., Duzova, H., Polat, A., Emre, M. H., & Arabaci, I. (2005). Effects of training period on haemorheological variables in regularly trained footballers. *British journal of sports medicine*, 39(2), e4. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.010637>
- [26]. Connes, P., Simmonds, M. J., Brun, J. F., & Baskurt, O. K. (2013). Exercise hemorheology: classical data, recent findings and unresolved issues. *Clinical hemorheology and microcirculation*, 53(1-2), 187–199. <https://doi.org/10.3233/CH-2012-1643>
- [27]. Simpson RJ, Kunz H, Agha N, Graff R. Exercise and the regulation of immune functions. *Progress in molecular biology and translational science*. 2015 Jan 1;135:355-80. <https://doi:10.1016/bs.pmbts.2015.07.017>
- [28]. Bobeuf F, Labonté M, Khalil A, Dionne IJ. Effect of resistance training on hematological blood markers in older men and women: a pilot study. *Current gerontology and geriatrics research*. 2009;2009(1):156820. <https://doi:10.3389/fphys.2023.1134567>
- [29]. Karakoc Y, Duzova H, Polat A, et al. Effects of training period on haemorheological variables in regularly trained footballers. *British journal of sports medicine* 2005;39(2):e4-e. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.010637>
- [30]. Sandor B, Nagy A, Toth A, Rabai M, Mezey B, Csatho A, Czuriga I, Toth K, Szabados E. Effects of moderate aerobic exercise training on hemorheological and laboratory parameters in ischemic heart disease patients. *PloS one*. 2014 Oct 27;9(10):e110751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110751>
- [31]. Fyfe JJ, Bishop DJ, Stepto NK. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables. *Sports medicine*. 2014 Jun;44:743-62. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0162-1>
- [32]. Sherrington, C., Fairhall, N. J., Wallbank, G. K., Tiedemann, A., Michaleff, Z. A., Howard, K., Clemson, L., Hopewell, S., & Lamb, S. E. (2019). Exercise for preventing falls in older people living in the community. *The Cochrane database of systematic reviews*, 1(1), CD012424. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012424.pub2>
- [33]. Wang X, Soh KG, Samsudin S, Deng N, Liu X, Zhao Y, Akbar S. Effects of high-intensity functional training on physical fitness and sport-specific performance among the athletes: A systematic review with meta-analysis. *Plos one*. 2023 Dec 8;18(12):e0295531. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295531>