

تأثیر تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) همراه با مکمل بربرین بر متغیرهای هماتولوژیکی مردان میانسال مبتلا به پیش-دیابت: یک کارآزمایی تصادفی کنترل شده

چکیده

دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳ آنلاین: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

مهدی نیک‌سرشت^۱، ولی‌الله دبیدی
روشن^{۲*}، خدیجه نصیری^۱

۱- گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
۲- گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، مرکز پژوهش‌های سلامت و عملکرد ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

زمینه و هدف: تمرینات ورزشی مختلف سازگاری‌های فیزیولوژیکی متفاوتی ایجاد می‌کنند. درحالی‌که اثر پروتکل‌های HIIT کم-حجم و کم-تواتر با فواصل استراحتی مختلف بررسی نشده است. بنابراین هدف پژوهش حاضر تأثیر تمرینات HIIT با فشردگی بالا (HC) و پایین (LC) همراه با مکمل بربرین (BBR) بر متغیرهای هماتولوژی مردان پیش-دیابتی بود.

روش بررسی: این مطالعه نیمه تجربی از مهر لغایت آذر ۱۴۰۰ در دانشگاه مازندران انجام شد. ۵۴ مرد دارای اضافه وزن/چاق با میانگین سنی $48/6 \pm 7/0$ سال، شاخص توده بدنی $30/7 \pm 3/1$ و درصد چربی $30/4 \pm 4/0$ به‌صورت تصادفی و مساوی به شش گروه LC، HC+BBR، LC+BBR، BBR و کنترل تقسیم شدند. پروتکل‌های تمرینی HC (نسبت کار: استراحت، ۲:۱) و LC (۱:۱) شامل هشت حرکت وزن بدن با شدت $80-95\%$ ضربان قلب بیشینه از ۲-۴ ست به مدت هشت هفته/دو جلسه در هفته بود. پاسخ این متغیرها به آزمون ورزشی بروس پیش و پس از مداخله ارزیابی شد. تحلیل داده‌ها با آزمون آنالیز واریانس دو طرفه و آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معناداری $P < 0/05$ انجام شد.

یافته‌ها: مقایسه اولیه متغیرهای هماتولوژی گروه‌های پیش-دیابتی و غیردیابتی تفاوت معناداری نداشت (همه، $P > 0/05$). در مقایسه با پیش-آزمون، گلبول‌های سفیدخون (WBCs) گروه‌های LC و LC+BBR و لنفوسیت‌های همه‌ی مداخله‌ها (به جز مکمل) کاهش معناداری داشتند (همه، $P < 0/05$). هموگلوبین و هماتوکریت گروه‌های HC و HC+BBR کاهش معناداری داشت ($P < 0/05$). هرچند، در پاسخ به فعالیت ورزشی بروس، WBCs در گروه‌های LC و LC+BBR (به ترتیب 18% و 25%) کاهش معناداری نشان داد (هر دو، $P < 0/005$).

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد تمرین LC، حتی بدون مصرف مکمل، با کاهش WBCs موجب عملکرد ایمنی موثرتر و اثرات همولیزی کمتری نسبت به پروتکل تمرین HC می‌گردد.

کلمات کلیدی: خون، تمرینات تناوبی با شدت بالا، چاقی، پیش‌دیابت.

* نویسنده مسئول: بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی.
تلفن: ۰۱۱-۳۵۳۰۲۲۰۱
E-mail: v.dabidi@umz.ac.ir

مقدمه

هایپرگلیسمی کنترل نشده نقش مهمی در ایجاد بیماری قلبی-عروقی، آسیب اجزای سلولی خون دارد و عامل بروز چندین عوارض میکروواسکولار است.^۲ همچنین، هایپرگلیسمی مزمن باعث ایجاد بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و پاتولوژیک می‌شود که بر

دیابت نوع ۲ (Type 2 diabetes, T2D) یک بیماری متابولیکی و از مهمترین مشکلات سلامت عمومی در جهان است.^۱ دیابت و

گلیکاسیون لیپیدها و پروتئین‌ها در سلول‌ها، متابولیسم لیپیدها، پاسخ التهابی، تکثیر سلولی، رشد سلولی و پارامترهای ایمنی و هماتولوژیک تأثیر می‌گذارد که به وضوح در بیماران دیابتی مشاهده می‌شود.^۳ گزارش شده که یکی از عوامل ایجاد التهاب در افراد مبتلا به دیابت اختلال در متغیرهای هماتولوژیکی مانند White blood cells (WBCs)، هماتوکریت (Hematocrit, HCT)، محتوای پلاکتی، تجمع و تغییر شکل گلبول‌های قرمز است.^۲ پارامترهای خون از جمله WBCs، نسبت نوتروفیل به لنفوسیت (Neutrophil lymphocyte ratio, NLR)، پلاکت‌ها، میانگین حجم پلاکت (Mean platelet volume, MPV) و پهنای توزیع پلاکتی (Platelet distribution width, PDW) به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده اختلال عملکرد اندوتلیال و التهاب مزمن شناسایی شده‌اند. نشان داده‌اند که افزایش WBCs با چندین عامل خطر بیماری قلبی-عروقی و دیابت و همچنین افزایش PDW، MPV و تعداد پلاکت‌ها با بیماری‌های التهابی به‌عنوان سندرم متابولیک، دیابت و بیماری عروق کرونر مرتبط بوده است.^۲ افزون‌براین، افزایش سطح گلوکز از طریق سفتی غشای گلبول قرمز موجب تغییر رفتار طبیعی گلبول‌های قرمز شده و افزایش هماتوکریت ناشی از نفوذپذیری بیشتر دیواره عروق مویرگی در مبتلایان به دیابت منجر به افزایش ویسکوزیته خون و اختلال در اکسیژن رسانی به بافت‌ها می‌شود.^{۴،۵}

مطالعات در خصوص وضعیت متغیرهای هماتولوژی افراد پیش-دیابتی محدود است. یک مطالعه نشان داده است که افراد مبتلا به اختلال گلوکز ناشتا و اختلال تحمل گلوکز شانس بیشتری برای ابتلا به دیابت پس از پنج تا ۱۰ سال داشته‌اند.^۶ همچنین، افزایش سطح هماتوکریت و ویسکوزیته خون از عوامل ایجاد مقاومت انسولین و پیش‌بینی‌کننده مستقل T2D هستند.^۷ با این حال، چند مطالعه گزارش کرده‌اند که افزایش تعداد گلبول‌های قرمز، تعداد لکوسیت‌ها و افزایش فعالیت پلاکتی با وضعیت پیش-دیابتی مرتبط هستند.^{۸،۹} همچنین، نتایج شاخص میانگین غلظت هموگلوبین گلبولی (Mean Hemoglobin Concentration, MCHC Corpuscular) در گروه دیابتی بالاتر از گروه پیش-دیابتی است.^۹ با این وجود، بررسی متغیرهای هماتولوژیک برای کنترل وضعیت متابولیکی و التهابی مفید به‌نظر می‌رسد. فعالیت‌های ورزشی مختلف بسته به نوع، شدت، حجم و طول دوره می‌تواند تأثیرات متفاوتی داشته باشد. بر اساس آخرین

دستورالعمل کالج پزشکی ورزشی آمریکا، افراد باید حداقل ۱۵۰ دقیقه در هفته فعالیت ورزشی با شدت متوسط یا ۷۵ دقیقه با شدت بالا انجام دهند تا از بیماری‌های متابولیکی و التهابی پیشگیری کنند.^{۱۰-۱۲} با این حال، یک مطالعه مبتنی بر جمعیت بالا گزارش کرده است که این پیشنهاد تنها برای ۱۵ تا ۲۰٪ افراد جامعه به‌دلیل کمبود زمان قابل اجرا است.^{۱۳} از طرف دیگر، تمرینات HIIT بهتر از تمرینات تداومی با شدت متوسط می‌تواند نشانگرهای مقاومت به انسولین و هموگلوبین گلیکوزیله را کاهش دهد.^{۱۴} برای مثال، تمرین HIIT با حجم کم، پروفایل التهابی و متابولیکی را در مردان دارای اضافه وزن/چاق بهبود بخشید.^{۱۵،۱۶} در مقابل، نشان دادند که تمرینات HIIT تأثیری بر هماتولوژی (HCT، آهن و فریتین) مردان سالم دارای اضافه وزن غیرفعال ندارد.^{۱۴} همچنین اجرای دو نوع تمرین HIIT جز در MCHC و RDW در اکثر متغیرهای هماتولوژی دختران چاق و دارای اضافه وزن غیرفعال تفاوت معناداری ایجاد نکرد.^{۱۵} به‌علاوه، بررسی پاسخ متغیرهای خونی به فعالیت‌های ورزشی نشان داد که یک جلسه ۵۰ دقیقه‌ای تمرینات HIIT ویژه تکنواندوکاران مرد با نسبت کار به استراحت ۱:۲ نشان داد که مقادیر (Red blood cells, RBCs)، HCT و پلاکت کاهش و WBCs، نوتروفیل و NLR افزایش یافت.^{۱۶} در حالی که، یک جلسه فعالیت مقاومتی با محدودیت جریان خون (۲۰٪ 1RM، ۱۵ تکرار، ۳ ست با استراحت ۳۰ ثانیه) در افراد دیابتی منجر به افزایش معنادار مقادیر RBCs و Hemoglobin (Hemoglobin, HGB) شد، اما تأثیری بر سایر متغیرهای هماتولوژیک نداشت.^{۱۷} این در حالی است که، ادبیات پژوهش نشان می‌دهد متغیرهای هماتولوژیکی پس از تمرینات HIIT کم حجم و کم تواتر مبتنی بر وزن همراه با مکمل‌دهی بربرین و پاسخ آنها به یک فعالیت وامانده‌ساز در مردان میانسال پیش-دیابتی مطالعه نشده است.

بربرین (Berberine, BBR) یک آلکالوئید بنزیلیزوکینولین (Benzyloisoquinoline alkaloids, BIA) طبیعی است که دارای سابقه طولانی کاربردهای پزشکی در طب سنتی چین است. بربرین به‌عنوان یک ماده فعال زیستی طبیعی، عمدتاً به‌طور طبیعی در ریشه‌ها، ریزوم‌ها و پوست ساقه گیاهان دارویی مختلف از خانواده‌های Rutaceae، Ranunculaceae و Berberidaceae وجود دارد. تایید شده است که خواص بیولوژیکی مفید بالینی مختلفی از جمله خواص ضد بیماری قلبی-عروقی و ضد سرطان را نشان می‌دهد.^{۱۸} همچنین

ناشتا ۱۱۰ تا ۱۸۰ بدون مصرف داروهای کنترل کننده قند، سن بین ۴۰ تا ۶۰ سال، شاخص توده بدنی از 25 kg/m^2 تا 35 ، غیرفعال، عدم شرکت منظم در هیچ برنامه آموزشی و/یا اجرای رژیم منظم در طول شش ماه پیش از مطالعه بود. در مقابل معیارهای خروج عبارت بودند از، فشارخون شریانی شدید، کم‌خونی، بیماری‌های محدودکننده استخوان-مفاصل، عوارض جدی عمومی و یا خاص ناشی از دیابت، بروز مشکلات مرتبط با سلامتی مانند تاری دید، سرگیجه و حالت تهوع و غیره در طول دوره تمرین، میزان اشباع اکسیژن خون شریانی کمتر از ۹۵٪ از طریق پالس اکسیمتر، استفاده از داروهایی مانند متفورمین، گلی بن گلامید، تiazولیدین دیونها، بتابلوکرها، ضدانعقادها، ضدالتهاب‌ها، همچنین عدم انجام تمرینات منظم در طول دوره پژوهش (کمتر از ۸۰٪ جلسات) و ابتلا به سویه‌های جدید ویروس کرونا و یا آفتولانزا در طول فرآیند پژوهش از دیگر معیارهای حذف افراد از فرآیند مطالعه بود.

از ۱۵۵ داوطلب مراجعه‌کننده پس از غربالگری مطابق معیارهای ورود/خروج ۶۷ نفر از آنها به‌صورت تصادفی در شش گروه LC+BBR (n=۱۲)، HC+BBR (n=۱۲)، LC (n=۱۱)، HC (n=۱۱)، BBR (n=۱۱)، و کنترل (n=۱۰) قرار گرفتند. در طول زمان مطالعه (آموزش یا کنترل)، ۱۳ شرکت‌کننده به‌دلایل مختلف از جمله کم‌خونی، مسائل خانوادگی، عدم شرکت در ارزیابی‌ها، افراد با علایم سرما خوردگی (سویه‌های جدید کرونا و یا آنفولانزا) و سایر دلایل خاص از مطالعه حذف شدند. نهایتاً، تجزیه و تحلیل آماری برای ۵۴ نفر از آزمودنی‌ها (۹ نفر در هرگروه) صورت گرفت. افزون‌براین، ۱۰ نفر از افرادی که تنها به دلیل قندخون نرمال شرایط ورود به مطالعه را نداشتند برای مقایسه اولیه با گروه پیش‌دبابتی وارد مطالعه شدند. در این مطالعه آزمودنی‌های گروه HC+BBR و LC+BBR به مدت هشت هفته برنامه تمرینی و مکمل را انجام دادند، اما گروه مکمل روزانه بربرین دریافت کردند و گروه کنترل در این مدت به سبک زندگی کم تحرک خود ادامه دادند.

ارزیابی آنتروپومتری، ترکیب بدنی و عملکردی: اندازه‌گیری شاخص‌های دموگرافی و آشنایی با پروتکل‌های تمرین و آزمون ورزشی بروس یک هفته پیش از شروع مطالعه انجام شد. شاخص‌های پیکرسنجی از قبیل قد، وزن، محیط دور کمر (Waist circumference, WC) و نسبت کمر به لگن (Waist-to-hip ratio)

به‌عنوان یک داروی گیاهی سنتی با اثرات ضدالتهابی و بهبود مقاومت به انسولین توجه بیشتری را برای درمان بیماری T2D جلب کرده است.^{۱۸} مصرف BBR می‌تواند از طریق کاهش استرس اکسیداتیو، اثر محافظتی در برابر تجمع پلاک، آپوپتوز و تولید سوپراکسید داشته باشد.^{۱۹} مطابق بررسی‌ها تمرینات HIIT نه‌تنها در مدت زمان کمتری اجرا می‌شوند بلکه نسبت به تمرینات مقاومتی و هوازی (حداقل سه جلسه در هفته و حجم بالا) مزایای بیشتری هم دارند. تمرینات HIIT در تواتر و حجم بالا احتمالاً رفتار گلوبول‌های قرمز و فعالیت ایمنی را تشدید کند. اکنون با در نظر گرفتن موارد فوق‌الذکر و محدودیت‌های جدی عصر پساکروناوی و اینکه آیا تمرینات HIIT با مکمل بربرین می‌تواند به‌عنوان یک سیستم درمانی برای بهبود وضعیت ایمنی و رتولوژی در جمعیت‌های پیش‌دیابتی عمل کند؟ محققان قصد دارند که تأثیر تمرینات HC-HIIT و LC-HIIT در تواتر و حجم کم با و بدون مکمل بربرین بر متغیرهای هماتولوژیک (متغیرهای مرتبط با گلوبول‌های سفید، گلوبول‌های قرمز و پلاکت‌ها) مردان میانسال پیش‌دیابتی چاق/اضافه وزن را بررسی کنند. به‌علاوه، بررسی اثر حاد فعالیت ورزشی بروس پیش و پس از هشت هفته مداخله در متغیرهای مذکور و مقایسه اولیه این متغیرها با یک گروه از مردان اضافه وزن/چاق غیر دیابتی، از اهداف دیگر این مطالعه بود.

روش بررسی

این مطالعه نیمه تجربی یک مداخله‌ای تصادفی و کنترل‌شده بود که به منظور مقایسه اثرات هشت هفته تمرین LC-HIIT و HC-HIIT با و بدون مکمل‌دهی روزانه بر برترین بر متغیرهای هماتولوژیک مردان دارای اضافه وزن/چاق پیش-دیابتی طراحی شد. جامعه آماری این پژوهش مردان میانسال ۴۰ تا ۶۰ ساله بودند که جمع‌آوری آنها به دو روش رسانه‌ای و مصاحبه با افراد صورت گرفت. از همه آزمودنی‌ها خواسته شد تا پرسشنامه سابقه پزشکی (به‌عنوان ابزار غربالگری) و فرم رضایت نامه را تکمیل کنند. ضمناً این مطالعه مطابق با آخرین ویرایش اطلاعیه هلسینکی با شناسه اخلاق (IR.UMZ.REC.1401.011) توسط دانشگاه مازندران تایید شد.

معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از: مردان با دور کمر بیش از ۹۴ cm، نسبت دور کمر به لگن بیش از ۰/۹۵، افراد با قندخون

یک لوله حاوی ضدانعقاد (EDTA) ریخته و برای تجزیه و تحلیل پروفایل‌های خونی، از جمله WBCs، نوتروفیل‌ها (Neutrophil)، Neu)، لنفوسیت‌ها (Lymphocyte, Lym)، HGB، RBCs، NLR، HCT، میانگین حجم گویچه‌ای (Mean corpuscular volume)، MCV)، میانگین هموگلوبین گویچه‌ای (Mean corpuscular hemoglobin, MCH)، MCHC، دامنه گستردگی گلبول‌های قرمز (Red cell Distribution Width, RDW)، PLT، MPV و PDW با استفاده از دستگاه خودکار آنالیزر هماتولوژی (Automatic analyzer, model No.7180, Hitachi, Japan) انجام شد. افزون‌براین، غلظت گلوکز ناشتا بلافاصله پس از نمونه‌گیری با استفاده از روش گلوکز اکسیداز (Glucose B-test, Wako Pure Chemical, Osaka, Japan) اندازه‌گیری شد. ضمناً تمام مراحل خونگیری مطابق دستورالعمل WHO در مورد خونگیری بود.

مداخلات و کنترل آزمودنی‌ها: باتوجه به اینکه مطالعه حاضر روی جمعیت خاص و در دوران پسا کرونایی بود، محققان به‌دنبال حذف محدودیت‌ها و موانع تمرینی، برنامه‌های تمرینی را به نحوی انتخاب کردند که نیازمند ابزار خاصی نباشد و با حداقل زمان و تواتر هفتگی اجرا شود. بر این اساس، پروتکل‌های HIIT مبتنی بر وزن بدن در منزل با حجم و تواتر کم در دو فشردگی مختلف انتخاب شد (جدول ۱). یک هفته پیش از شروع مطالعه نحوه صحیح اجرای پروتکل‌ها و حرکات در قالب ویدئو کلیپ و کتابچه آموزشی در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت. همچنین، آزمودنی‌ها به‌صورت مجزا در فضای مجازی توسط مربی کنترل شدند.

افزون‌براین، بازدید حضوری و توزیع مکمل هر دو هفته یکبار صورت گرفت. که مطابق ادبیات پژوهش، استفاده از دوزهای روزانه ۹۰۰ تا ۱۵۰۰ mg بربرین در افراد با مشکلات متفاوت متابولیکی مشاهده شد، اما مناسب‌ترین مقدار بدون عوارض آن برای افراد چاق/اضافه وزن پیش‌دیابتی و دیابتی دوز روزانه ۱۰۰۰ mg بود.^{۲۴،۲۳} بر این اساس، در مطالعه حاضر برای گروه‌های HC+BBR، BBR و LC+BBR از بربرین با محتوای هر دو کپسول ۱۰۰۰ mg شرکت امید پارسینا دماوند (OPD Pharma, Iran) استفاده شد که همراه وعده‌های صبحانه و شام مصرف شد.

علاوه‌براین، گروه کنترل از کپسول‌های دارونما حاوی نشاسته در طرح و رنگ مشابه دو بار در روز استفاده کردند. آزمودنی‌ها در

WHR) به شرح زیر اندازه‌گیری شد. قد و وزن افراد با استفاده از دستگاه دیجیتال (Seca) با دقت ۰/۱ cm و ۰/۵ kg و شاخص‌های WC (باریکترین محل تنه، سطح طبیعی کمر بین دنده‌ها و قفسه سینه) و WHR با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شد. درصد چربی افراد با استفاده از دستگاه آنالیز ترکیب بدنی (Medigate Inc., Boca X1, USA) انجام شد. ارزیابی حداکثر اکسیژن مصرفی و پاسخ آزمودنی‌ها به فعالیت حاد بروس با استفاده از نوارگردان (h/p/cosmos sports and medical gmbh, Mercury model, Nussdorf-Traunstein Germany) انجام شد. آزمودنی‌های پس از پنج دقیقه گرم کردن، فعالیت روی نوارگردان را براساس دستورالعمل آزمون بروس با سرعت و شیب استاندارد تا زمان واماندگی و یا قطع فعالیت زیر نظر محقق ادامه دادند. در مطالعه حاضر از شاخص‌های دستیابی به ۹۰٪ حداکثر ضربان (ضربان سنج پولار)، نمایان شدن علائم دستگاه عصبی (از قبیل آتاکسی و سرگیجه) و ناتوانی فرد، برای توقف پروتکل استفاده شد.^{۲۰} افزون‌براین، با استفاده از مقیاس درک فشار بورک (Rating of perceived exertion, RPE) طی فعالیت و اعلام نمره RPE برابر یا بیشتر از ۱۷ (در مقیاس شش تا ۲۰ ارزشی) به منزله رسیدن فرد به مرز واماندگی و یا اکسیژن مصرفی اوج بود.^{۲۱} مقادیر VO_{2max} برحسب میلی‌لیتر کیلوگرم در دقیقه، با استفاده از پروتکل بروس (Bruce protocol) و مطابق فرمول Pollock و همکاران به‌دست آمد.^{۲۲} همه تست‌گیری‌ها در مرکز کنترل و ارزیابی سلامت دانشگاه مازندران با دمای محیط ۲۴ تا ۲۶ °C و رطوبت نسبی ۵۰ تا ۶۰٪ صورت گرفت.

$$VO_{2max} (ml/kg/min) = 14.76 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3)$$

نمونه‌گیری خون: از آزمودنی‌ها خواسته شد تا سه روز پیش از خونگیری (در هر مرحله ۸ ml) از فعالیت ورزشی اجتناب کنند. همچنین از آنها خواسته شد که به مدت دو روز پیش از خونگیری در ابتدا و پس از مداخله، رژیم‌های غذایی مشابهی دریافت کنند. خونگیری مرحله نخست پس از ۱۰ ساعت ناشتایی و هشت ساعت خواب شبانه (حوالی ساعت ۹ تا ۱۰ صبح) و پنج دقیقه پس از تست ورزش بروس گرفته شد. نمونه‌گیری دوم نیز ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین و پنج دقیقه پس از تست ورزش از آزمودنی‌ها در شرایط زمانی و محیطی مشابه با اندازه‌گیری‌های اولیه از ورید بازویی در حالت نشسته گرفته شد. سپس نمونه‌های خونی به داخل

جدول ۱: پروتکل‌های تمرینی اینتروال شدید به مدت هشت هفته / دو جلسه در هفته.

پروتکل‌های تمرینی	متغیرهای تمرینی	هفته ۱ و ۲	هفته ۳ و ۴	هفته ۵ و ۶	هفته ۷ و ۸
HC-HIIT	ست: شامل هشت اینتروال با نسبت کار/استراحت ۲۰ به ۱۰ ثانیه با مقاومت وزن بدن				
	تعداد ست	۲	۳	۴	۴
	ست×استراحت بین ست (دقیقه)	۴×۱	۴×۱	۴×۱	۴×۱
	مدت زمان	۱۰	۱۵	۲۰	۲۰
	شدت (RPE، ۱۰ ارزی)	۷	۸-۷	۸-۷	۹-۸
LC-HIIT	ساده یا پیچیدگی حرکت	S	S	S&C	S&C
	ست: شامل ۸ اینتروال با نسبت کار/استراحت ۲۰ به ۲۰ ثانیه با مقاومت وزن بدن				
	تعداد ست	۲	۳	۴	۴
	ست×استراحت بین ست (دقیقه)	۵×۱	۵×۱	۵×۱	۵×۱
	مدت زمان	۱۲	۱۸	۲۴	۲۴
	شدت (RPE، ۱۰ ارزی)	۷	۸-۷	۸-۷	۹-۸
	ساده یا پیچیدگی حرکت	S	S	S&C	S&C

پروتکل اینتروال شدید با فشردگی بالا (High-Compression, HC-HIIT)، پروتکل اینتروال شدید با فشردگی پایین (Low-Compression, LC-HIIT)، حرکات ورزشی ساده (Simple, S)، حرکات ورزشی پیچیده (Complex, C).

(Push up)، (۴) پای کوهنوردی (Mountain Climber)، (۵) پلانک استاندارد (Standard Plank)، (۶) ضربه به باسن (Butt Kickers)، (۷) اسپلیت (Split) و (۸) اسکیتی (Skaters) بود. پس از بهبود وضعیت آمودنی‌ها نسبت به مبنا و در راستای همان گروه‌های عضلانی برای چهار هفته انتهای حرکات پیچیده‌تری انتخاب شد، که شامل: (۱) اسکات جامپ (Squat Jump)، (۲) اسکیر جامپ جک (Skier Jumping Jacks)، (۳) شنای سوئدی (Push up)، (۴) پای کوهنوردی، (۵) سوپر پلانک (Super Plank)، (۶) جامپ جک (Jumping Jack)، (۷) لانچ (Lunge) و (۸) اسکیتور جامپ (Skaters Jump) بود. از روش‌های آماری توصیفی و استنباطی جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk test) و نمودار Q-Q برای بررسی نرمالیتی داده‌ها و برای بررسی اثر مداخلات بر متغیرهای مورد بررسی از آزمون آنالیز واریانس دو طرفه (Two-way analysis of variance) استفاده شد. در صورت مشاهده تغییرات معناداری از آزمون تعقیبی بونفرونی (Post hoc Bonferroni test) جهت تعیین محل تفاوت استفاده شد. افزون‌براین، مقایسه بین گروه‌های پیش-دیابتی و غیردیابتی با Independent samples

گروه‌های تمرین پروتکل تاباتا (Tabata protocol) و محقق ساخته را با رعایت اصل اضافه بار (افزایش ست‌ها، پیچیدگی حرکات و RPE) به مدت هشت هفته و هفته‌ای دو جلسه در منزل تمرین کردند (جدول ۱). شدت پروتکل‌های HIIT از طریق RPE تعیین شده معادل با ۸۰ تا ۹۵٪ ضربان قلب بیشینه بود.^{۲۵} پروتکل تمرینی HC (مدل تاباتا) با هشت توالی در سری‌های ۲۰ ثانیه کار و ۱۰ ثانیه استراحت (نسبت ۲/۱) در مدت زمان هر ست چهار دقیقه اجرا شد.^{۳۶} در مقابل پروتکل LC (محقق ساخته) با هشت توالی در سری‌های ۲۰ ثانیه کار و ۲۰ ثانیه استراحت (نسبت ۱/۱) برای هر ست پنج دقیقه بود. در طول دوره جلسات تمرینی با دو ست شروع و با چهار ست به اتمام رسید. همچنین آزمودنی‌ها ۱۰ دقیقه گرم کردن، پنج دقیقه سرد کردن و یک دقیقه استراحت بین ست‌ها را رعایت کردند. افزون‌براین، انتخاب حرکات به گونه‌ای بود که در هر جلسه تمرینی تقریباً عضلات کل بدن به کار گرفته شد. حرکات در چهار هفته اول از نوع ساده بودند و با توجه به توالی‌های هشت‌تایی هر ست شامل ۸ حرکت: (۱) ایر اسکات (Air Squats)، (۲) زانوبلند (High Knee)، (۳) شنای سوئدی روی زانو (Knee

t test انجام شد. در تمام مراحل این مطالعه برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS software, version 20 (IBM SPSS, Armonk, NY, USA) با فاصله اطمینان ۹۵٪ ($P < ۰/۰۵$) از نظر معناداری آماری لحاظ شد.

یافته‌ها

جدول ۲، توصیف آماری مشخصات دموگرافی آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف را نشان می‌دهد. ابتدا متغیرهای هماتولوژی بین دو گروه پیش‌دیابتی و غیردیابتی مقایسه شد (جدول ۳)، نتایج Independent samples t test نشان داد که در مقایسه اولیه هیچ کدام از متغیرهای بین دو گروه تفاوت معناداری ندارند (همه، $P > ۰/۰۵$). سازگاری متغیرهای هماتولوژی پیش و پس از مداخله: نتایج متغیرهای هماتولوژی (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد) از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در جدول ۴ و شکل ۱ گزارش شده است. پس از هشت هفته مداخله، در مقایسه با پیش‌آزمون WBCs علیرغم روند کاهشی در همه مداخله‌ها تنها در گروه‌های LC و LC+BBR تفاوت معناداری دیده شد (هر دو، $P < ۰/۰۵$), همچنین، مقادیر لنفوسیت‌ها در همه مداخله‌ها به جز گروه مکمل به‌طور معناداری کاهش یافت ($P < ۰/۰۵$). علاوه‌براین، مقادیر متغیرهای HGB و HCT با گروه‌های

HC و HC+BBR در مقایسه با پیش‌آزمون کاهش معناداری داشت ($P < ۰/۰۵$). اما تفاوت معناداری بین گروه‌ها و اثر تعاملی بین‌مداخله‌های مختلف (گروه $\times$ زمان) برای متغیرها فوق‌الذکر وجود نداشت ($P > ۰/۰۵$). در مقابل، پس از هشت هفته، برای سایر متغیرهای هماتولوژیک شامل نوتروفیل، لنفوسیت، نسبت نوتروفیل/لنفوسیت، شمار گلبول قرمز، MCV، MCH، MCHC، RDW، PLT، MPV و PDW به‌ترتیب از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در هیچ‌کدام از مداخله‌ها تغییرات معناداری ایجاد نکرد ($P > ۰/۰۵$). همچنین، بین گروه‌ها و اثر تعاملی در مداخله‌های مختلف (گروه $\times$ زمان) برای این دست از متغیرها نیز تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P > ۰/۰۵$). پاسخ متغیرهای هماتولوژی به فعالیت فزاینده بروس پیش و پس از مداخله: تغییرات متغیرهای هماتولوژی از قبل تا پنج دقیقه پس از آزمون ورزشی بروس با تغییرات آنها پس از هشت هفته مداخله مقایسه شد. نتایج نشان داد که تنها شمارگلبول‌های سفید خون در گروه‌های LC و LC+B (به‌ترتیب ۱۸٪ و ۲۵٪) کاهش معناداری داشت (هر دو، $P < ۰/۰۰۵$). در مقابل، برای سایر متغیرها از جمله نوتروفیل، لنفوسیت، نسبت نوتروفیل/لنفوسیت، شمار گلبول‌های قرمز، HGB، HCT، MCV، MCH، MCHC، RDW، PLT، MPV و PDW تغییرات معناداری مشاهده نشد ($P > ۰/۰۵$).

جدول ۲: مشخصات دموگرافی آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد).

متغیرها	گروه‌ها (n=۵۴)					
	(n=۹) CON	(n=۹) BBR	(n=۹) LC+BBR	(n=۹) HC+BBR	(n=۹) LC	(n=۹) HC
سن (سال)	۴۹/۴۱۴/۲۹	۵۲/۷۱۷/۲۵	۴۸/۴۱۴/۳۹	۴۸/۴۱۷/۲۳	۴۹/۸۳۷/۱۳	۴۸/۴۱۴/۲۸
قد (cm)	۱۷۴/۹۳۰۷/۱۴	۱۷۳/۵۹۲/۷۴	۱۷۳/۹۳۲/۳۱	۱۷۳/۵۹۳/۳۷	۱۷۰/۴۸۷/۶۴	۱۷۲/۲۱۱/۸۷
وزن (kg)	۹۵/۹۳۵/۴۵	۹۱/۱۴۷۸/۴۰	۹۵/۱۵۴۸/۷۷	۸۸/۷۸۷/۹۷	۸۹/۱۳۸۲/۴۳	۸۹/۱۳۳۰۱/۰۵
WC (cm)	۱۰۲/۵۳۷/۵۲	۱۰۱/۸۲۸/۵۲	۱۰۴/۶۳۰/۵۰	۹۸/۴۳۰/۴۸	۹۹/۵۳۰/۶۰	۹۹/۶۳۸/۱۷
WHR (cm)	۰/۰۹۷/۰۴	۰/۰۹۹/۰۴	۰/۰۹۷/۰۴	۰/۰۹۵/۰۳	۰/۰۹۶/۰۴	۰/۰۹۵/۰۳
توده چربی (%)	۳۲/۴۲۸/۳۱	۲۸/۳۸۴/۵۷	۲۹/۲۹۴/۸۵	۲۹/۳۳۷/۷۴	۳۱/۴۲۵/۷۷	۲۹/۳۳۵/۷۹
گلوکز ناشتا (mg/dl)	۱۲۸/۲۰۳۳/۵۲	۱۳۳/۲۸۵/۷۸	۱۳۴/۲۶۲/۳۶	۱۴۰/۲۲۸/۱۹	۱۳۸/۱۴۱/۹۶	۱۳۱/۹۷۸/۵۲
انسولین ناشتا (μ U/ml)	۱۸/۳۳۵/۷۴	۱۸/۴۳۷/۶۰	۱۶/۳۳۱/۴۹	۱۷/۷۳۸/۰۷	۲۰/۶۳۵/۸۲	۱۹/۳۳۶/۶۷
BMI (kg/m^2)	۳۱/۲۳۶/۱۴	۳۰/۴۳۴/۲۵	۳۱/۲۳۶/۴۶	۲۹/۲۴۱/۲۹	۳۰/۳۳۶/۶۴	۲۹/۳۳۸/۵۷
VO ₂ max ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	۳۰/۴۹۳/۹۶	۳۰/۵۱۷/۳۷	۳۲/۵۸۶/۷۳	۳۰/۵۹۷/۰۸	۳۱/۴۵۱/۵۰	۳۵/۷۷۹/۱۲

محیط دور کمر (WC)، نسبت کمر به لگن (WHR)، شاخص توده بدن (BMI)، حداکثر اکسیژن مصرفی (VO₂max)، گروه تمرین با فشاردگی بالا (HC)، گروه تمرین با فشاردگی پایین (LC)، گروه تمرین با فشاردگی بالا + بربرین (HC+BBR)، گروه تمرین با فشاردگی پایین+ بربرین (LC+BBR)، گروه بربرین (BBR) و گروه کنترل (CON).

جدول ۳. مقایسه متغیرهای هماتولوژی در افراد پیش-دیابتی و غیردیابتی پیش از مداخله (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد).

متغیرها	دامنه نرمال متغیرها		پیش-دیابتی ها (n=۵۴)	غیردیابتی ها (n=۱۰)	آماري		P
	پایین	بالا			پایین	بالا	
WBCs ($10^9/L$)	۴/۰۰	۱۱/۰۰	۷/۱ $\pm$ ۱/۰۵۵	۶/۱ $\pm$ ۸۵/۶۳	-۲/۰۰	۱/۴۸	۰/۷۶۰
Neu ($10^9/L$)	۲/۰۰	۷/۰۰	۳/۱ $\pm$ ۴۷/۳۲	۳/۱ $\pm$ ۴۹/۱۴	-۱/۴۳	۱/۴۷	۰/۹۸۱
Lym ($10^9/L$)	۰/۸۰	۴/۰۰	۲/۰ $\pm$ ۷۰/۴۷	۲/۰ $\pm$ ۶۴/۴۰	-۰/۵۸	۰/۴۷	۰/۸۳۴
NLR (نسبت)	۱/۷۵	۲/۵۰	۱/۰ $\pm$ ۳۰/۴۶	۱/۰ $\pm$ ۳۲/۳۷	-۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۹۱۸
RBCs ($10^9/L$)	۳/۵۰	۵/۵۰	۵/۰ $\pm$ ۱۸/۶۱	۵/۰ $\pm$ ۱۱/۳۲	-۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۸۰۶
HGB (g/dL)	۱۱/۰۰	۱۶/۰۰	۱۴/۱ $\pm$ ۴۵/۰۸	۱۴/۰ $\pm$ ۵۷/۷۰	-۱/۰۴	۱/۲۸	۰/۸۳۰
HCT	۳۷/۰۰	۵۴/۰۰	۴۳/۲ $\pm$ ۵۹/۶۴	۴۳/۱ $\pm$ ۹۵/۹۰	-۲/۵۰	۳/۲۲	۰/۷۹۹
MCV (fL)	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۵/۷ $\pm$ ۸۴/۳۸	۸۶/۲ $\pm$ ۰۵/۰۰	-۷/۵۶	۷/۹۸	۰/۹۵۸
MCH (pg)	۲۷/۰۰	۳۴/۰۰	۲۸/۴ $\pm$ ۳۴/۱۳	۲۸/۱ $\pm$ ۵۷/۱۴	-۴/۱۲	۴/۵۸	۰/۹۱۴
MCHC (g/dL)	۳۲/۰۰	۳۶/۰۰	۳۳/۱ $\pm$ ۱۳/۰۸	۳۳/۰ $\pm$ ۱۷/۷۲	-۱/۱۳	۱/۲۱	۰/۹۴۴
RDW (fL)	۳۵/۰۰	۵۶/۰۰	۴۰/۳ $\pm$ ۸۹/۱۴	۴۰/۱ $\pm$ ۱۲/۷۹	-۴/۱۳	۲/۵۹	۰/۶۴۱
PLT ($10^9/L$)	۱۵۰	۵۰۰	۲۰۵/۵۳ $\pm$ ۹۱/۱۱	۲۴۲/۵۴ $\pm$ ۲۵/۱۶	-۲۳/۱۳	۹۵/۸۰	۰/۲۲۰
MPV (fL)	۶/۵۰	۱۲/۰۰	۱۰/۱ $\pm$ ۱۲/۳۹	۹/۰ $\pm$ ۰۰/۲۹	-۲/۵۹	۰/۳۴	۰/۱۲۸
PDW (fL)	۹/۰۰	۱۸/۰۰	۱۵/۲ $\pm$ ۵۳/۰۹	۱۶/۰ $\pm$ ۰۲/۱۳	-۱/۷۰	۲/۶۸	۰/۲۸۳

شمار گلبول‌های سفید (WBCs)، نوتروفیل‌ها (Neu)، لنفوسیت‌ها (Lym)، نسبت نوتروفیل/لنفوسیت (NLR)، شمارگلبول‌های قرمز خون (RBCs)، هموگلوبین (HGB)، هماتوکریت (HCT)، میانگین حجم گویچه‌ای (MCV)، میانگین هموگلوبین گویچه‌ای (MCH)، غلظت متوسط هموگلوبین گلبول‌های قرمز (MCHC)، دامنه گسترده‌ی گلبول‌های قرمز (RDW)، پلاکت‌ها (PLT)، میانگین حجم پلاکت (MPV)، پهنای توزیع پلاکتی (PDW).

بحث

مداخله‌ها (به جز مکمل) بهبود یافتند. این درحالی بود که، HGB و HCT در گروه‌های HC و HC+BBR کاهش یافت. علاوه‌براین، پاسخ حاد متغیرهای هماتولوژیک به پروتکل بروس پیش و پس از تمرین مورد بررسی قرار گرفت که تنها WBCs در گروه‌های LC و LC+BBR به‌ترتیب ۱۸ و ۲۵٪ بهبود یافتند. همچنین، تفاوت معناداری در متغیرهای هماتولوژیک بین گروه‌های پیش-دیابتی و غیردیابتی مشاهده نگردید.

در مطالعه حاضر ظرفیت دو نوع تمرین HC-HIIT و LC-HIIT با و بدون BBR بر متغیرهای WBCs، Neu، Lym، NLR، RBCs، HGB، HCT، MCV، MCH، MCHC، RDW، PLT، MPV و PDW در افراد پیش-دیابتی اضافه وزن/چاق بررسی شد. در مقایسه با پیش آزمون، WBCs در تمرین LC و LC+BBR و Lym در همه‌ی

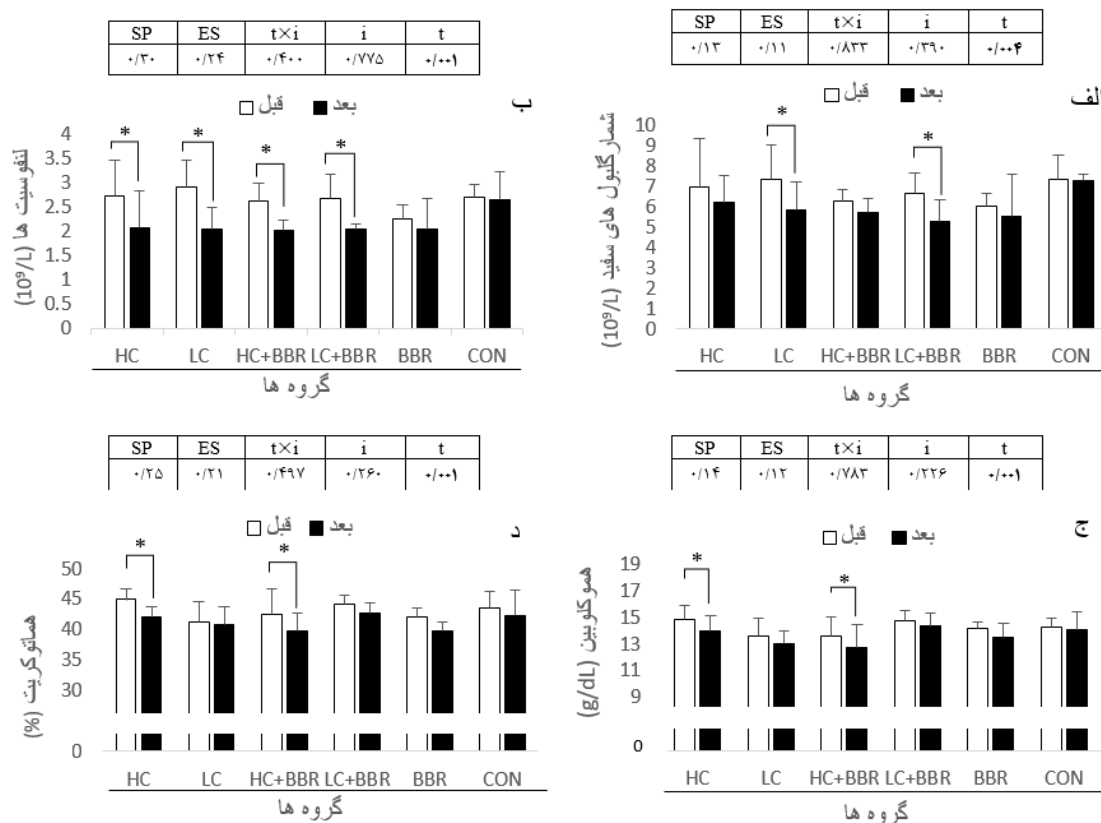
جدول ۴: مقادیر پایه و پس از هشت هفته مداخله تمرینی و مکمل در متغیرهای هماتولوژیک (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد).

P					گروه‌ها (n=۵۴)						متغیرها
SP	ES	tXi	i	t	(n=۹) CON	(n=۹) BBR	(n=۹) LC + BBR	(n=۹) HC+BBR	(n=۹) LC	(n=۹) HC	
۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۹۶۴	۰/۲۹۱	۰/۶۹۰	۴/۱ $\pm$ ۳۸/۱۰	۳/۰ $\pm$ ۱۰/۶۷	۳/۰ $\pm$ ۱۲/۷۴	۳/۰ $\pm$ ۰۸/۳۵	۳/۰ $\pm$ ۱۴/۷۵	۳/۱ $\pm$ ۱۸/۹۷	Neu (10 ⁹ /L)
					۳/۰ $\pm$ ۹۴/۷۴	۲/۱ $\pm$ ۹۸/۲۲	۲/۰ $\pm$ ۶۶/۸۳	۲/۰ $\pm$ ۹۷/۴۵	۲/۱ $\pm$ ۹۷/۴۰	۳/۰ $\pm$ ۴۱/۶۱	قبل
											بعد
۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۶۵۷	۰/۷۳۶	۰/۲۱۰	۱/۰ $\pm$ ۶۳/۴۸	۱/۰ $\pm$ ۳۸/۳۸	۱/۰ $\pm$ ۲۴/۴۹	۱/۰ $\pm$ ۱۹/۲۰	۱/۰ $\pm$ ۵۵/۱۰	۱/۰ $\pm$ ۱۲/۵۱	(نسبت)
					۱/۰ $\pm$ ۶۰/۶۴	۱/۰ $\pm$ ۴۲/۱۸	۱/۰ $\pm$ ۲۵/۳۵	۱/۰ $\pm$ ۴۲/۱۳	۱/۰ $\pm$ ۲۵/۶۵	۱/۰ $\pm$ ۸۷/۹۱	NLR
											قبل
۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۵۴۷	۰/۴۵۰	۰/۹۱۰	۵/۰ $\pm$ ۰۵/۳۸	۴/۰ $\pm$ ۴۷/۱۰	۴/۰ $\pm$ ۹۵/۲۲	۵/۰ $\pm$ ۷۲/۲۷	۵/۱ $\pm$ ۰۸/۱۳	۵/۰ $\pm$ ۳۵/۷۰	RBCs (10 ⁹ /L)
					۴/۰ $\pm$ ۸۲/۳۳	۴/۰ $\pm$ ۶۶/۶۵	۵/۰ $\pm$ ۰۶/۲۶	۵/۰ $\pm$ ۶۵/۹۰	۵/۱ $\pm$ ۲۱/۱۵	۵/۰ $\pm$ ۲۸/۸۴	قبل
											بعد
۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۵۱۰	۰/۲۵۳	۰/۰۷۰	۹۰/۲ $\pm$ ۲۵/۲۴	۹۰/۳ $\pm$ ۲۳/۵۶	۸۹/۲ $\pm$ ۱۲/۶۲	۷۴/۸ $\pm$ ۱۰/۸۷	۸۴/۱۳ $\pm$ ۲۲/۰۴	۷۹/۱۶ $\pm$ ۱۰/۵۰	MCV (fL)
					۸۶/۳ $\pm$ ۸۰/۴۴	۸۶/۹ $\pm$ ۳۶/۶۰	۸۳/۱ $\pm$ ۳۰/۲۱	۷۱/۱۵ $\pm$ ۸۳/۵۹	۷۹/۱۱ $\pm$ ۳۷/۷۷	۸۰/۱۲ $\pm$ ۶۸/۵۰	قبل
											بعد
۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۹۲۸	۰/۳۲۲	۰/۱۳۰	۳۰/۱ $\pm$ ۳۲/۷۹	۳۱/۱ $\pm$ ۶۰/۴۱	۲۹/۱ $\pm$ ۸۵/۴۸	۲۵/۳ $\pm$ ۶۶/۶۰	۲۷/۵ $\pm$ ۹۷/۶۷	۲۸/۴ $\pm$ ۲۸/۵۰	MCH (pg)
					۲۹/۱ $\pm$ ۰۵/۱۲	۲۹/۵ $\pm$ ۳۶/۶۲	۲۸/۱ $\pm$ ۴۰/۴۹	۲۳/۶ $\pm$ ۳۳/۷۰	۲۵/۵ $\pm$ ۸۵/۳۵	۲۷/۵ $\pm$ ۲۰/۳۹	قبل
											بعد
۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۹۰۵	۰/۷۶۱	۰/۶۸۱	۳۳/۱ $\pm$ ۶۰/۲۹	۳۳/۱ $\pm$ ۵۳/۴۰	۳۳/۱ $\pm$ ۴۲/۷۶	۳۲/۱ $\pm$ ۴۶/۲۳	۳۳/۱ $\pm$ ۰۰/۸۵	۳۳/۱ $\pm$ ۱۰/۱۲	MCHC (g/dL)
					۳۳/۱ $\pm$ ۱۷/۵۵	۳۳/۳ $\pm$ ۸۳/۰۷	۳۳/۱ $\pm$ ۷۲/۸۱	۳۲/۲ $\pm$ ۱۶/۶۷	۳۲/۲ $\pm$ ۰۲/۷۵	۳۳/۱ $\pm$ ۲۴/۶۵	قبل
											بعد
۰/۵۹	۰/۴۰	۰/۰۹۳	۰/۵۸۸	۰/۷۴۶	۴۱/۲ $\pm$ ۹۰/۰۰	۴۰/۲ $\pm$ ۳۰/۰۷	۴۱/۲ $\pm$ ۵۵/۲۶	۳۸/۵ $\pm$ ۰۶/۰۶	۴۲/۳ $\pm$ ۸۷/۹۶	۳۹/۲ $\pm$ ۷۸/۳۵	RDW (fL)
					۴۲/۱ $\pm$ ۳۲/۸۸	۴۴/۲ $\pm$ ۳۰/۹۲	۳۸/۳ $\pm$ ۲۵/۹۵	۳۷/۷ $\pm$ ۴۰/۴۵	۴۰/۴ $\pm$ ۲۵/۶۱	۴۰/۵ $\pm$ ۵۸/۴۷	قبل
											بعد
۰/۶۵	۰/۴۳	۰/۰۶۶	۰/۳۷۲	۰/۷۲۰	۱۷۸/۳۰ $\pm$ ۷۵/۸۶	۲۴۱/۷۹ $\pm$ ۰۰/۶۸	۱۷۵/۱۳ $\pm$ ۰۰/۱۹	۲۱۸/۲۹ $\pm$ ۶۶/۱۹	۲۵۴/۵۰ $\pm$ ۵۰/۶۱	۲۰۰/۶۳ $\pm$ ۴۰/۰۷	PLT (10 ⁹ /L)
					۱۸۸/۲۲ $\pm$ ۰۰/۳۳	۲۳۱/۱۶ $\pm$ ۵۰/۸۲	۱۷۹/۴۶ $\pm$ ۷۵/۶۲	۱۹۹/۷۲ $\pm$ ۶۶/۰۳	۲۴۸/۵۳ $\pm$ ۵۰/۶۵	۲۰۲/۵۹ $\pm$ ۲۰/۰۳	قبل
											بعد
۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۵۹۱	۰/۹۹۴	۰/۹۶۹	۱۰/۱ $\pm$ ۱۰/۰۴	۹/۰ $\pm$ ۷۰/۳۶	۱۰/۰ $\pm$ ۱۲/۲۳	۹/۱ $\pm$ ۲۶/۵۳	۹/۲ $\pm$ ۹۲/۳۲	۹/۰ $\pm$ ۶۴/۷۳	MPV (fL)
					۱۰/۰ $\pm$ ۱۵/۷۳	۱۰/۱ $\pm$ ۲۶/۲۷	۱۰/۰ $\pm$ ۳۰/۶۱	۱۰/۳ $\pm$ ۹۳/۲۹	۹/۰ $\pm$ ۴۷/۹۳	۱۱/۴ $\pm$ ۰۸/۳۵	قبل
											بعد
۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۵۹۲	۰/۲۲۲	۰/۷۰۱	۱۶/۱ $\pm$ ۶۲/۱۷	۱۶/۱ $\pm$ ۴۶/۰۵	۱۶/۱ $\pm$ ۲۵/۱۰	۱۴/۲ $\pm$ ۲۶/۳۸	۱۴/۲ $\pm$ ۷۵/۳۰	۱۶/۱ $\pm$ ۲۴/۳۷	PDW (fL)
					۱۶/۱ $\pm$ ۵۵/۶۲	۱۶/۲ $\pm$ ۷۶/۵۳	۱۶/۱ $\pm$ ۷۰/۱۰	۱۵/۱ $\pm$ ۳۶/۵۷	۱۴/۲ $\pm$ ۶۷/۰۷	۱۴/۲ $\pm$ ۵۸/۳۲	قبل
											بعد

بین متغیرهای هماتولوژیک مردان دارای اضافه وزن پیش‌دیابتی و T2D تفاوتی وجود ندارد.^۹ بنابراین، عدم تفاوت معناداری در متغیرهای مذکور نشان می‌دهد که افراد پیش‌دیابتی و غیردیابتی چاق/اضافه وزن ممکن است در معرض خطرات ناشی از دیابت باشند.

با وجود یافته‌های بحث برانگیز در مورد اثرات بیماری T2D پارامترهای خونی، گزارش شده که بیماران مبتلا به دیابت، اختلال قابل توجهی در پارامترهای مختلف خونی نشان می‌دهند.^{۲۹،۲۸} برای مثال، بیماری دیابت کنترل نشده با چندین اختلال از جمله اختلالات متابولیکی، سلولی و خونی همراه است که منجر به عوارض عروقی مانند نفروپاتی، رتینوپاتی و نوروپاتی و همچنین ایجاد فرآیندهای متابولیکی غیرطبیعی می‌شود که ممکن است استرس اکسیداتیو ایجاد

عدم تفاوت معناداری متغیرهای هماتولوژیک بین افراد پیش‌دیابتی و غیردیابتی در مطالعه حاضر می‌تواند ناشی از دامنه نرمال مقادیر هماتولوژیک دو گروه، وضعیت مشابه شاخص‌های آمادگی هوازی، چاقی یا ترکیبی از آنها باشد. مقایسه این متغیرها در افراد دیابتی با غیردیابتی در سایر مطالعات نشان داد که در برخی متغیرها از جمله PLT، MPV، PDW و NLR تفاوت معناداری وجود دارد.^۲ همچنین، مقایسه بیماران T2D (سابقه هشت ساله) با افراد غیردیابتی حاکی از عدم تفاوت معناداری در اکثر متغیرهای مرتبط با گلبول قرمز خون بود، اما با این حال، مبتلایان دیابتی مقادیر PLT، MPV، PDW و MCH بالاتری داشتند.^{۲۷} این تناقض احتمالا به‌خاطر دامنه نرمال BMI این مطالعه و یکسان بودن شاخص‌های چاقی در گروه‌های مطالعه حاضر باشد. در مقابل، گزارش شده که



شکل ۱: مقادیر پایه و پس از هشت هفته مداخله تمرین و مکمل در برخی متغیرهای هماتولوژیک (میانگین و انحراف استاندارد).

الف) شمار گلبول‌های سفید (WBCs)، ب) لنفوسیت‌ها (Lym)، ج) هموگلوبین (HGB)، د) هماتوکریت (HCT)، اثر زمان (t)، اثر گروه × زمان (i×t)، اثر گروه (i)، اندازه اثر (ES)، توان آزمون (SP). کوهن اندازه اثر (۰/۲) پایین، متوسط (۰/۵) و بالا ذکر کرده است. گروه تمرین با فشرده‌گی بالا (HC)، گروه تمرین با فشرده‌گی پایین (LC)، گروه تمرین با فشرده‌گی بالا + بربرین (HC+BBR)، گروه تمرین با فشرده‌گی پایین + بربرین (LC+BBR)، گروه بربرین (BBR) و گروه کنترل (CON). * تفاوت معناداری در مقایسه با پیش آزمون ($P < 0.05$).

متغیرهای سفید خون در جمعیت‌های دیابتی یافت نشد. اما در پژوهشی شش هفته تمرینات هوازی (۳۰ دقیقه/پنج بار در هفته/۶۵-۷۰٪ HRmax) با HIIT (۲۰ دقیقه شامل پنج وهله ایتروال چهار دقیقه‌ای (مشابه پروتکل HC-HIIT) ۵-۴ بار در هفته/۸۵٪ HRmax در افراد دیابتی مقایسه شد، هر دو پروتکل توانست سطوح گلوکز، انسولین، هموگلوبین گلیکوزیله را کاهش دهد اما تمرینات هوازی مؤثرتر بود، در مقابل، HIIT در کاهش سطح کلسترول خون و کاهش سطح LDL و افزایش سطح HDL مفید واقع شد، اما میزان کراتین کیناز به‌عنوان یک شاخص استرس اکسیداتیو در گروه HIIT به‌طور

کند. استرس اکسیداتیو آزاد شده به‌دلیل افزایش سطح گلوکز خون منجر به آسیب اندام‌های مختلف، اندوتلیوم عروقی و پارامترهای هماتولوژیکی و ایمنی می‌شود.^{۳۰} از طرفی، افزایش WBC و NLR را به‌عنوان نشانگرهای التهابی با اختلال متابولیسم گلوکز، مقاومت به انسولین، دیابت و اختلالات قلبی مرتبط می‌دانند.^{۳۱} براساس یافته‌های پژوهش حاضر، اغلب متغیرهای سفید خون با هر دو نوع تمرین کاهش یافت، اما پس از هشت هفته تنها برای متغیر WBCs در تمرین LC و ترکیب آن با بربرین و Lym در همه‌ی مداخله‌ها به جز مکمل این بهبود معنادار بود. مطابق بررسی‌ها تأثیر تمرینات HIIT بر

معناداری بالاتر بود.^{۳۲} این تناقض احتمالا ناشی از حجم و تواتر تمرین باشد که تقریبا دو برابر مطالعه ما بود. همچنین، در مطالعه Hovanloo و همکاران تمرینات اینتروال شدید (دو هفته/سه بار در هفته) در دانشجویان فعال تأثیری بر WBCs نداشت، که با مطالعه حاضر همسو نبود شاید علت آن حجم و طول دوره کم تمرین یا تفاوت در وضعیت سلامتی افراد باشد.^{۳۳}

بیماران مبتلا به T2D در معرض خطر افزایش ناهنجاری‌های انعقادی و حوادث ترومبوآمبولی هستند. فعالیت و تجمع پلاکتی به دلیل اختلال در تنظیم چندین مسیر سیگنالینگ و اختلالات متابولیک از جمله مقاومت به انسولین، هیپرگلیسمی و دیس لیپیدمی در بیماران دیابتی دیده شده است.^{۳۴،۳۵} همچنین، ارتباط مثبت و مستقیمی بین MPV، PDW با بیماری دیابت گزارش شده است اما نتایج برای پلاکت‌ها ضد و نقیض است.^۲ می‌دانیم که با افزایش ظرفیت حمل اکسیژن توان هوایی و استقامت عضلانی افزایش می‌یابد، در نتیجه متغیرهای RBCs و HGB در افزایش یا کاهش ظرفیت انتقال اکسیژن از عوامل ضروری محسوب می‌شوند.^{۱۵} نتایج پژوهش حاضر نشان داد که، به جز کاهش مقادیر HGB و HCT در گروه‌های HC و HC+B مداخله‌های مطالعه حاضر در اکثر متغیرهای قرمز خون و پلاکتی تغییری ایجاد نکرد. به نظر می‌رسد که کاهش این متغیرها در گروه‌های HIIT با فشردگی بالاتر به دلیل افزایش همولیز یا کاهش هماتوکریت قابل توجیح باشد. اما سایر متغیرها در جمعیت پیش-دیابتی چاق/اضافه وزن کمتر تحت تأثیر تمرینات HIIT کم-حجم قرار گرفتند یا تمرینات با شدت بالا در تواتر کم هفته (دو جلسه در هفته) چندان تأثیری بر آنها نداشت. از طرفی دیگر، احتمالا HIIT با فشردگی پایین‌تر اثرات همولیزی کمتری ایجاد می‌کند. اندک مطالعات مرتبط نشان دادند که ۲۴ هفته تمرینات هوایی (۵۰ تا ۷۰٪ اکسیژن مصرفی اوج) در بیماران ایسکمیک قلبی ویسکوزیته، حجم پلاسما، تجمع گلبول‌های قرمز و HCT به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است که با مطالعه حاضر همسو بود.^{۳۶} همچنین، Hosseini و همکاران گزارش کردند که دو نوع تمرین HIIT (فعالیت هوایی با حداکثر سرعت و استراحت ۵۰ درصدی با نسبت کار به استراحت ۱/۱ در حجم یکسان اما با تفاوت در تعداد ست و دورها) طی هشت هفته و سه جلسه در هفته تأثیری در برخی متغیرهای هماتولوژی (HGB، آهن و فریتین) جوانان غیرفعال سالم با اضافه وزن نداشتند.^{۱۴}

در مقابل، HGB و آهن در مطالعه Mohammadi و همکاران پس از هشت هفته تمرینات HIIT (۴×۴ دقیقه) با ۸۵ تا ۹۵٪ حداکثر ضربان قلب در جوانان چاق افزایش معناداری داشت.^{۳۷} افزون‌براین، در مطالعه Ahmadi و همکاران که تأثیر دو نوع تمرین ۱-HIIT (۴ ست ۳۰ ثانیه با شدت ۱۹ الی ۲۰ از میزان درک فشار RPE-مقیاس بورگ Borg scale) و دو دقیقه استراحت بین ست‌ها) و ۲-HIIT (۴ ست ۶۰ ثانیه با همان شدت و چهار دقیقه استراحت بین ست‌ها) را سه جلسه در هفته و به مدت چهار هفته در برخی از متغیرهای هماتولوژیک دختران چاق و دارای اضافه وزن غیرفعال بررسی کردند. همسو با مطالعه حاضر در اکثر متغیرهای مورد بررسی تفاوت معناداری ایجاد نشد، اما در تضاد با مطالعه حاضر تنها MCHC با هر دو تمرین در مقایسه با پیش‌آزمون و گروه کنترل و RDW با تمرین ۲-HIIT نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری یافت داشت.^{۱۵} عدم مطالعات کافی برای متغیرهای هماتولوژیک در مبتلایان دیابتی و پیش-دیابتی و همچنین وجود نتایج ضد و نقیض در گروه‌های خاص احتمالا ناشی از تفاوت در شدت، حجم، طول دوره مطالعه و یا جنسیت آزمودنی‌ها باشد. از طرفی دیگر، در مطالعه Bezci تکواندوکاران نخبه پیش و پس از چهار هفته شرکت در برنامه ورزشی تکواندو در مقادیر میانگین HGB، HCT و MCH افزایش معنادار و در مطالعه Ghanbari-Niaki و همکاران مقادیر MCV و HGB افزایش و RDW کاهش معناداری در دانشجویان فعال تربیت بدنی مرد پس از چهار هفته تمرین بی‌هوایی مشاهده کردند.^{۳۸،۳۹} این نتایج نشان می‌دهد که احتمالا در افراد ورزشکار که سطح آمادگی هوایی بالاتری دارند، ظرفیت حمل اکسیژن از طریق تغییرات عوامل همورئولوژی بهبود یابد.

فعالیت ورزشی حاد سبب پاسخ التهابی متفاوتی در خون می‌شود، یک جلسه ۵۰ دقیقه‌ای تمرینات HIIT ویژه تکواندوکاران مرد با نسبت کار به استراحت ۱:۲ نشان داد که مقادیر RBCs، HCT و پلاکت کاهش و WBCs، نوتروفیل و NLR افزایش یافت.^{۱۶} درحالی‌که، یک جلسه فعالیت مقاومتی با محدودیت جریان خون (۲۰٪ IRM، ۱۵ تکرار، ۳ ست با استراحت ۳۰ ثانیه) در افراد دیابتی منجر به افزایش معنادار مقادیر RBCs و HGB شد، اما تأثیری بر سایر متغیرهای هماتولوژیک نداشت.^{۱۷} این تناقض می‌تواند ناشی از نوع فعالیت (فعالیت‌های شدید طولانی افزایش WBCs بیشتر و پایدارتر

و LC-HIIT با یا بدون BBR بر پارامترهای هماتولوژیک در مردان دارای اضافه وزن/چاق پیش دیابتی بررسی شده است که می‌تواند به عنوان یک مزیت در نظر گرفته شود.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرینات LC-HIIT با یا بدون BBR با مدت زمان ریکاوری دو برابری در مقایسه با HC-HIIT می‌تواند اثرات مطلوبتری در متغیرهای سفید خون از جمله WBCs و Lym ایجاد کند. همچنین، این مدل تمرین قادر است عوارض همولیزی کمتری ایجاد کند درحالی‌که موجب بهبود آمادگی جسمانی و ترکیب بدنی مشابه با مدل HC-HIIT شده است. علاوه بر این، مدل LC-HIIT با و بدون مصرف مکمل توانست تأثیرات فعالیت ورزشی حاد را بر پاسخ‌های ایمنی معکوس کند. بنابراین، احتمالاً LC-HIIT انتخاب بهتری برای بهبود وضعیت التهابی و ایمنی نسبت به HC-HIIT باشد.

سپاسگزاری: این پژوهش بخشی از نتایج رساله دکتری در دانشگاه مازندران با کد اخلاق (IR.UMZ.REC.1401.011) می‌باشد که با همکاری مرکز سلامت و تندرستی این دانشگاه انجام شد. بدین وسیله نویسندگان از دانشگاه مازندران و تمامی داوطلبان برای مشارکت مشتاقانه آنها در این مطالعه تشکر می‌کنند. همچنین، هیچ کدام از نویسندگان این مطالعه تعارض منافع برای انتشار این مقاله ندارند.

References

- Shahbazian H. World diabetes day; 2013. *Journal of renal injury prevention* 2013;2(4):123.
- Demirtas L, Degirmenci H, Akbas EM, Ozcicek A, Timuroglu A, Gurel A, et al. Association of hematological indices with diabetes, impaired glucose regulation and microvascular complications of diabetes. *International journal of clinical and experimental medicine* 2015;8(7):11420.
- Sobczak AI, Stewart AJ. Coagulatory defects in type-1 and type-2 diabetes. *International journal of molecular sciences* 2019;20(24):6345.
- Irace C, Carallo C, Scavelli F, De Franceschi MS, Esposito T, Gnasso A. Blood viscosity in subjects with normoglycemia and prediabetes. *Diabetes care* 2014;37(2):488-92.
- El-Sayed MS, Ali N, Ali ZE-S. Haemorrhage in exercise and training. *Sports Medicine* 2005;35:649-70.
- Meigs JB, Muller DC, Nathan DM, Blake DR, Andres R. The natural history of progression from normal glucose tolerance to type 2 diabetes in the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Diabetes* 2003;52(6):1475-84.
- Tamariz LJ, Young JH, Pankow JS, Yeh H-C, Schmidt MI, Astor B, et al. Blood viscosity and hematocrit as risk factors for type 2 diabetes mellitus: the atherosclerosis risk in communities (ARIC) study. *American journal of epidemiology* 2008;168(10):1153-60.
- Simmons D. Increased red cell count in diabetes and pre-diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice* 2010;90(3):e50-e3.
- Ziaee A, Ghorbani A, Kalbasi S, Hejrati A, Moradi S. Association of hematological indices with prediabetes: A cross-sectional study. *Electronic physician* 2017;9(9):5206.
- Chin EC, Yu AP, Lai CW, Fong DY, Chan DK, Wong SH, et al. Low-frequency HIIT improves body composition and aerobic capacity in overweight men. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2020;52(1):56-66.
- Leggate M, Carter WG, Evans MJ, Vennard RA, Sribala-Sundaram S, Nimmo MA. Determination of inflammatory and prominent proteomic changes in plasma and adipose tissue after high-intensity intermittent training in overweight and obese males. *Journal of Applied Physiology* 2012;112(8):1353-60.
- Viana AA, Fernandes B, Alvarez C, Guimarães GV, Ciolac EG. Prescribing high-intensity interval exercise by RPE in individuals with type 2 diabetes: metabolic and hemodynamic responses. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 2019;44(4):348-56.
- Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Masse LC, Tilert T, McDowell M. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Medicine and science in sports and exercise* 2008;40(1):181.
- Hosseini M, Monazzami A. The Effects of Eight-Week High-Intensity Intermittent Training on Body Composition, Aerobic and Anaerobic Performance, Lipid Profile and Hematological Indices in Sedentary Healthy Overweight Adolescent: A Comparison of

است)، آزمودنی‌ها و یا سن آنها باشد. افزون‌بر این، گزارش شده که در افراد جوان غیرفعال پارامترهای هماتولوژیک پس از فعالیت ورزشی حاد افزایش می‌یابند اما پس از سه ساعت مقادیر آنها شروع به بازگشت به سطح استراحت کرد، طوری‌که شش ساعت پس از فعالیت به‌طور کامل به سطح استراحتی بازگشت.^{۱۰} اما در مطالعه حاضر، مقایسه تغییرات پارامترهای هماتولوژیک به پاسخ حاد پروتکل بروس پیش و پس از هشت هفته مداخله نشان داد که تنها WBCs در گروه‌های LC و LC+B بهبود یافت. در مقابل، برای سایر متغیرها تفاوت معناداری مشاهده نشد. این یافته احتمالاً عملکرد و پایداری پاسخ‌های ایمنی مناسب با تمرین LC را نشان دهد، همچنین سازوکار احتمالی این کاهش معنادار می‌تواند ناشی از تأثیرات هورمونی بر ترشح، حاشیه‌گزینی و مهاجرت متغیرهای WBC باشد.^{۱۷}

از محدودیت‌های مطالعه حاضر کنترل اجرای برنامه‌های تمرینی به‌صورت آنلاین بود. هرچند، با توجه به نتایج ضد و نقض پروتکل‌های HIIT و همچنین عدم مطالعات ورزشی در ترکیب با مکمل برترین بر پارامترهای هماتولوژیک، به‌ویژه در جمعیت دیابتی یا پیش-دیابتی، این متغیرها باید در مطالعات آتی مورد بررسی بیشتر قرار گیرند. با این حال، این اولین مطالعه‌ای است که اثرات HC-HIIT

- Volume. *Annals of Military and Health Sciences Research* 2021;19(1).
15. Ahmadi A, Abdiyan RD. Compare the effects of two high intense interval training (HIIT) protocol on some hem rheological markers in young overweight and obese women. *Alborz University Medical Journal* 2017;6(3):211-8.
 16. Işık B, Küçüktürk S, Yüksel MF, Boyalı E, Karaselek MA, Erdağı K. The effects of acute high intensity interval training on hematological parameters and neutrophils to lymphocytes ratio in elite taekwondo athletes according to gender 2022. *European Journal of Clinical and Experimental Medicine* 2022 20(3), 306-315.
 17. Malekyan Fini E, Motefakker M, Ahmadizad S, Salimian M, Mokhtari Andani F. Responses of hemodynamic and hematological changes to resistance exercise with and without blood flow restriction in patients with type 2 diabetic. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences* 2023;30(2):284-300.
 18. Ai X, Yu P, Peng L, Luo L, Liu J, Li S, et al. Berberine: a review of its pharmacokinetics properties and therapeutic potentials in diverse vascular diseases. *Frontiers in pharmacology* 2021;12:762654.
 19. Paul M, Hemshekhar M, Kemparaju K, Girish KS. Berberine mitigates high glucose-potentiated platelet aggregation and apoptosis by modulating aldose reductase and NADPH oxidase activity. *Free Radical Biology and Medicine* 2019;130:196-205.
 20. Kim K-H, Jeon KN, Kang MG, Ahn JH, Koh J-S, Park Y, et al. Prognostic value of computed tomographic coronary angiography and exercise electrocardiography for cardiovascular events. *The Korean journal of internal medicine* 2016;31(5):880.
 21. Clayton BC, Tinius RA, Winchester LJ, Menke BR, Reece MC, Maples JM. Physiological and perceptual responses to high-intensity circuit training using body weight as resistance: are there sex-specific differences? *International Journal of Exercise Science* 2019;12(4):245.
 22. Heyward VH. Advanced fitness assessment and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1992;24(2):278.
 23. Xu X, Yi H, Wu J, Kuang T, Zhang J, Li Q, et al. Therapeutic effect of berberine on metabolic diseases: Both pharmacological data and clinical evidence. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 2021;133:110984.
 24. Xiong P, Niu L, Talaei S, Kord-Varkaneh H, Clark CC, Găman M-A, et al. The effect of berberine supplementation on obesity indices: A dose-response meta-analysis and systematic review of randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Clinical Practice* 2020;39:101113.
 25. Borrega-Mouquinho Y, Sánchez-Gómez J, Fuentes-García JP, Collado-Mateo D, Villafaina S. Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity training on stress, depression, anxiety, and resilience in healthy adults during coronavirus disease 2019 confinement: a randomized controlled trial. *Frontiers in Psychology* 2021;12:643069.
 26. Tabata I. Tabata training: one of the most energetically effective high-intensity intermittent training methods. *The Journal of Physiological Sciences* 2019;69(4):559-72.
 27. Olana C, Seifu D, Menon M, Natesan G. Abnormal hematological indices and anthropometric parameters associated with type 2 Diabetes. *Int J Biomed Adv Res* 2019;10(11):1-8.
 28. Essawi K, Dobie G, Shaabi MF, Hakami W, Saboor M, Madkhali AM, et al. Comparative Analysis of Red Blood Cells, White Blood Cells, Platelet Count, and Indices in Type 2 Diabetes Mellitus Patients and Normal Controls: Association and Clinical Implications. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity* 2023;3123-32.
 29. Uko E, Erhabor O, Isaac I, Abdulrahman Y, Adias T, Sani Y, et al. Some haematological parameters in patients with type-1 diabetes in Sokoto, North Western Nigeria. *Journal of Blood and Lymph* 2013;3(110):2165-7831.
 30. Odegaard AO, Jacobs DR, Sanchez OA, Goff DC, Reiner AP, Gross MD. Oxidative stress, inflammation, endothelial dysfunction and incidence of type 2 diabetes. *Cardiovascular diabetology* 2016;15(1):1-12.
 31. Agrawal NK, Kant S. Targeting inflammation in diabetes: Newer therapeutic options. *World journal of diabetes* 2014;5(5):697.
 32. Iqbal M, Rabani I, Malik S, Saeed A, Akhtar M, Ehsan S, et al. A hematobiochemical evaluation to compare the effects of high intensity interval training and aerobic exercise to control diabetes mellitus and its complications. *International Journal of Physiotherapy* 2016:320-5.
 33. Hovanloo F, Arefirad T, Ahmadizad S. Effects of sprint interval and continuous endurance training on serum levels of inflammatory biomarkers. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders* 2013;12:1-5.
 34. Kim JH, Bae HY, Kim SY. Response: clinical marker of platelet hyperactivity in diabetes mellitus (diabetes metab j 2013; 37: 423-8). *Diabetes & metabolism journal* 2014;38(2):160-1.
 35. Suslova TE, Sitozhevskii AV, Ogurkova ON, Kravchenko ES, Kologrivova IV, Anfinogenova Y, et al. Platelet hemostasis in patients with metabolic syndrome and type 2 diabetes mellitus: cGMP-and NO-dependent mechanisms in the insulin-mediated platelet aggregation. *Frontiers in Physiology* 2015;5:501.
 36. Sandor B, Nagy A, Toth A, Rabai M, Mezey B, Csatho A, et al. Effects of moderate aerobic exercise training on hemorheological and laboratory parameters in ischemic heart disease patients. *PloS one* 2014;9(10):e110751.
 37. Mohammadi S, Monazzami A, Alavimilani S. Effects of eight-week high-intensity interval training on some metabolic, hormonal and cardiovascular indices in women with PCOS: a randomized controlled trail. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* 2023;15(1):47.
 38. Bezci S. The analyze of hematological parameters of elite women taekwondoers before and after training. *Pamukkale Journal of Sport Sciences* 2010;1(2):1-16.
 39. Ghanbari-Niaki A, Tayebi SM. Effects of a low intensity circuit resistance exercise session on some hematological parameters of male collage students. *Annals of Applied Sport Science* 2013;1(1):6-11.
 40. Belviranlı M, Okudan N, Kabak B. The effects of acute high-intensity interval training on hematological parameters in sedentary subjects. *Medical Sciences* 2017;5(3):15.

The impact of high-intensity interval training (HIIT) combined with berberine supplementation on hematological parameters in middle-aged men with pre-diabetes: a randomized controlled trial

Mehdi Nikseresht Ph.D.

Student¹

Valiollah Dabidi Roshan

Ph.D.^{1,2*}

Khadijeh Nasiri Ph.D.¹

1- Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

2- Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Athletic Performance and Health Research Centre, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

* Corresponding author: Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Tel: +98-11-35302201

E-mail: v.dabidi@umz.ac.ir

Abstract

Received: 27 Sep. 2023 Revised: 03 Oct. 2023 Accepted: 14 Dec. 2023 Available online: 22 Dec. 2023

Background: Exercise programs can lead to different physiological adaptations, but the effects of low-volume, low-frequency HIIT protocols with varying interval structures have not been thoroughly investigated. This study aimed to explore the impact of HIIT with high compression (HC) and low compression (LC), with or without berberine (BBR) supplementation, on hematological parameters in pre-diabetic men.

Methods: This semi-experimental study was conducted between October and December 2021 at Mazandaran University. Fifty-four overweight/obese men with a mean age of 48.6 ± 6.6 years, a body mass index of 30.7 ± 7.3 kg/m², and a body fat percentage of $34.4 \pm 4.3\%$ were randomly and equally divided into one of six groups: HC, LC, HC+BBR, LC+BBR, BBR, and control. The HC group (2:1 work-to-rest ratio) and LC group (1:1 work-to-rest ratio) underwent training programs comprising 2-4 sets of 8 exercises at an intensity of 80-95% of their maximum heart rate twice a week for 8 weeks. Hematological responses to Bruce's incremental exercise test were measured before and after the intervention. Data were analyzed using a two-way ANOVA with Bonferroni's post hoc test, with a significance level set at $P < 0.05$.

Results: Baseline hematological indices showed no significant differences between pre-diabetic and non-diabetic groups (all, $P > 0.05$). Following the 8-week intervention, there were significant decreases in white blood cells (WBCs) in the LC and LC+BBR groups, and in lymphocytes across all intervention groups except BBR (all, $P < 0.05$). Additionally, hemoglobin and hematocrit levels showed significant reductions in the HC and HC+BBR groups (both, $P < 0.05$). However, in response to Bruce's incremental exercise test, a significant decrease in WBCs was observed in the LC and LC+BBR groups, with reductions of 18% and 25%, respectively (both, $P < 0.05$).

Conclusion: The LC protocol, even without berberine supplementation, seems to provide better immunological benefits and result in less hemolysis compared to the HC protocol, as evidenced by reductions in white blood cell counts.

Keywords: blood, high-intensity interval training, obesity, pre-diabetic.