



Investigating the Effect of Eight Weeks of High-Intensity Functional Training on Interleukin-6, Interleukin-10, CRP, and Physical Fitness Factors of Students

Hamid Sadeghian¹ , Amir Hossein Hashemi²

¹ Assistant Professor, Department of Sports Sciences, Faculty of Literature and Humanities, University of Qom, Qom, Iran (**Corresponding author**). h.sadeghian@qom.ac.ir

² Master's student, Sports Physiology, Faculty of Literature and Human Sciences, Qom University, Qom, Iran. hamid-sadeghian@yahoo.com

Abstract

Purpose: The present study was conducted with the aim of investigating the effects of eight weeks of intense functional exercises on interleukin-6, interleukin-10, CRP, and physical fitness factors among students of Shahid Alavi Boarding School in Minab.

Method: In this semi-experimental research, a pre-test-post-test design with a control group was conducted among the students of Alavi Minab School aged between 14 to 18 years. Thirty students were purposefully selected and randomly divided into two groups. Intense and controlled functional exercises were administered. Measurements of height, weight, body composition, maximum oxygen consumption, and muscle strength were taken from the participants in the pre-test (24 hours before the intervention) and post-test (48 hours after the intervention), followed by a fasting blood draw after 12 hours. The intervention stage spanned eight weeks with three sessions held every week, during which the training group followed the functional program. Meanwhile, the control group continued with their daily activities. The collected data were analyzed using dependent t-tests and covariance.

Findings: The results showed that intense functional training reduced interleukin-6 ($P < 0.05$), CRP ($P < 0.05$), body fat percentage ($P < 0.05$), and increased aerobic capacity ($P < 0.05$), muscle strength ($P < 0.05$), and net body mass ($P < 0.05$) significantly.

Conclusion: Based on the results, intense functional training can be used to improve inflammatory and anti-inflammatory factors, as well as physical fitness factors, in male students.

Keywords: High-intensity functional training, Physical factors, Inflammatory factors, Anti-inflammatory agents, Male students.

Cite: Sadeghian, H. & Hashemi, A.H. (2024). Investigating the Effect of Eight Weeks of High-Intensity Functional Training on Interleukin-6, Interleukin-10, CRP, and Physical Fitness Factors of Students. *Applied Research in Sports Nutrition and Exercise Science*, 1(2), p. 55-72.

Received: 2024-04-04 ; Revised: 2024-05-11 ; Accepted: 2024-05-25 ; Published online: 2024-06-22

© The Author(s).

Article type: Research Article

Published by: University of Qom.





بررسی تاثیر هشت هفته تمرینات فانکشنال شدید بر فاکتورهای اینترلوکین-۶، اینترلوکین-۱۰، CRP و فاکتورهای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان

حمید صادقیان^۱، امیرحسین هاشمی^۲

^۱ استادیار، گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه قم، قم، ایران (نویسنده مسئول).
h.sadeghian@qom.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، فیزیولوژی ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه قم، قم، ایران.
hamid-sadeghian@yahoo.com

چکیده

هدف: مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر هشت هفته تمرینات فانکشنال شدید بر فاکتورهای اینترلوکین-۶، اینترلوکین-۱۰، CRP و فاکتورهای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان مدرسه شبانه‌روزی شهید علوی میناب انجام شد. روش: در این پژوهش نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون با گروه کنترل، از بین دانش‌آموزان مدرسه علوی میناب با دامنه سنی ۱۴ تا ۱۸ سال، ۳۰ دانش‌آموز به صورت هدفمند انتخاب شده و به صورت تصادفی در دو گروه تمرینات فانکشنال شدید و کنترل قرار گرفتند. از شرکت‌کنندگان در مراحل پیش‌آزمون (۲۴ ساعت قبل از مداخله) و پس‌آزمون (۴۸ ساعت پس از مداخله) اندازه‌گیری‌های قه، وزن، ترکیب بدن، اکسیژن مصرفی بیشینه و قدرت عضلانی و بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی خونگیری به عمل آمد. مرحله مداخله در هشت هفته و هر هفته ۳ جلسه انجام گرفت که گروه تمرینی به اجرای برنامه فانکشنال پرداختند. در این مدت گروه کنترل به اجرای فعالیت‌های روزمره خود می‌پرداختند. یافته‌ها: داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون تی وابسته و کوواریانس تحلیل شدند. نتایج نشان داد که تمرین فانکشنال شدید در کاهش اینترلوکین-۶ ($P < 0.05$)، CRP ($P < 0.05$)، درصد چربی بدن ($P < 0.05$)، و افزایش توان هوازی ($P < 0.05$)، قدرت عضلانی ($P < 0.05$) و توده خالص بدن ($P < 0.05$) تاثیر معنی‌داری دارد. نتیجه‌گیری: براساس نتایج می‌توان از تمرین فانکشنال شدید در بهبود فاکتورهای التهابی و ضد التهابی و همچنین بهبود فاکتورهای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: تمرین فانکشنال شدید، فاکتورهای جسمانی، عوامل التهابی، عوامل ضدالتهابی، دانش‌آموزان.

استاد به این مقاله: صادقیان، حمید؛ هاشمی، امیرحسین (۱۴۰۳). بررسی تاثیر هشت هفته تمرینات فانکشنال شدید بر فاکتورهای اینترلوکین-۶، اینترلوکین-۱۰، CRP و فاکتورهای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان. پژوهش‌های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین، ۱(۲)، ص ۵۵-۷۲.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶؛ تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

ناشر: دانشگاه قم

نوع مقاله: پژوهشی

© نویسندگان.



۱. مقدمه

سازگاری‌های ناشی از ورزش که منجر به رشد عضلات اسکلتی می‌شوند، در پس‌زمینه یک محیط فیزیولوژیکی سلولی و سیستماتیک پویا رخ می‌دهد. به عنوان مثال، سلول‌های عضلات اسکلتی می‌توانند با نیروی اعمال خود آسیب ببینند، که منجر به ترومای تحت بالینی حاد در بافت می‌شوند (۱). این تروما باعث ایجاد یک توالی مشخص از انحطاط و بازسازی سلول‌های عضلانی می‌شود، که ارتباط نزدیکی با شبکه‌های عروقی و سایر انواع سلول‌ها دارد (۲). به عنوان بخشی از این توالی، سلول‌های عضلانی و سلول‌های سیستم ایمنی، سیتوکین‌های پیش‌التهابی و ضدالتهابی مانند اینترلوکین‌ها را در گردش خون آزاد می‌کنند، تا سازگاری‌های فیزیولوژیکی مرتبط را از نظر مکانی و زمانی هماهنگ کنند (۳). متون علمی توجه ویژه‌ای بر مقاومت در برابر عفونت و نیز بخش‌های کلیدی ایمنی، مانند لوکوسیت‌ها (سلول‌های ایمنی)، مولکول‌های پیک محلول (مانند سایتوکاین‌ها)، عوامل محلول با عملکرد (مانند ایمونوگلوبولین‌ها) و عوامل دیگری نموده‌اند، که ممکن است عملکرد سلولی را تحت تأثیر قرار دهد (۱). اینترلوکین-۶ (IL-6) سایتوکاینی است که در هر دو نوع ایمنی ذاتی و اکتسابی فعالیت می‌کند. این سایتوکاین به وسیله فاگوسیت‌های تک‌هسته‌ای، سلول‌های آندوتلیال رگ‌ها، فیبروبلاست‌ها و سایر سلول‌ها از جمله سلول‌های عضلانی و چربی در پاسخ به محرک‌های مختلف از جمله فعالیت بدنی تولید می‌شود. IL-6 در ایمنی ذاتی باعث تحریک ساخته شدن پروتئین‌های فاز حاد به وسیله سلول‌های کبدی می‌شود و در ایمنی اکتسابی، رشد لنفوسیت‌های B را که به سلول‌های تولیدکننده آنتی بادی تمایز یافته‌اند، تحریک می‌کند (۴). پروتئین واکنشی فاز حاد^۲ (CRP) نیز یک شاخص حساس التهاب سیستمیک است و افزایش آن همواره با افزایش خطر بیماری‌های قلبی عروقی، عروق محیطی و انفارکتوس میوکارد^۳ مردان و زنان همراه است. از CRP به عنوان یک عامل خطرزای جدید آترواسکلروز نام برده می‌شود و با افزایش بی‌تحریکی، افزایش می‌یابد. CRP از کبد در شرایط التهابی، تروما و عفونت سریعاً ترشح شده و با برگشت عوامل کاهش می‌یابد (۵). علاوه بر فاکتورهای التهابی، فاکتورهای ضدالتهابی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرند (۶). یکی از فاکتورهای مهم اینترلوکین-۱۰ (IL-10) می‌باشد. اینترلوکین-۱۰ یا عامل مهار تولید سیتوکین انسان یکی از اینترلوکین‌های مهم بدن است که از گلبول‌های سفید ترشح می‌شود و در مهار پاسخ‌های التهابی و ایمنی نقش دارد. اینترلوکین-۱۰ از سلول‌های منوسیت و نیز از

1. Inter leukin-6
2. C-reactive protein
3. Myocardial infarction

لنفوسیت T کمک‌کننده، ماکروفاژ و لنفوسیت T تنظیم‌کننده و ماست سل ترشح می‌شود و بر سلول‌های لنفوسیت T کمک‌کننده، لنفوسیت‌های B، ماست سل و درشت‌خوار مؤثر است. اینترلوکین-۱۰ سایتوکاینی با چند عملکرد در تنظیم ایمنی و التهاب مؤثر است. اینترلوکین-۱۰ موجب کاهش بیان سیتوکین‌های لنفوسیت T کمک‌کننده (Th1) و پادتن‌های مجموعه سازگاری بافت اصلی می‌شود. اینترلوکین-۱۰ همچنین موجب افزایش تکثیر و بقای لنفوسیت‌های B و تولید آنتی بادی شده و می‌تواند فعالیت NF-kB را مسدود کند (۷). اگرچه فعالیت ورزشی باعث تغییرات زیادی در پارامترهای عملکرد ایمنی می‌شود، ولی ماهیت و مقدار چنین تغییراتی به عوامل متعددی از جمله پارامترهای ایمنی مورد مطالعه، نوع، شدت و مدت فعالیت ورزشی، میزان آمادگی جسمانی و پیشینه ورزشی آزمودنی‌ها، عوامل محیطی مانند دمای محیط و زمان نمونه‌گیری خون بستگی دارد. به طور کلی، میزان تغییر در هر پارامتر ایمنی تابعی از دوز یا میزان فشار فعالیت ورزشی (شدت و مدت) است (۶). تمرینات جدیدی که مورد محققان قرار گرفته است، تمرینات فانکشنال شدید می‌باشد. تمرینات فانکشنال شدید از انواع ماهیت‌های فعالیت ورزشی از قبیل فعالیت‌های هوازی تک‌ساختاری (مثل دویدن و قایقرانی)، حرکات تحمل وزن بدن (اسکات و شنا سوئدی) و اجزاء وزنه‌برداری (پرس سرشانه، لیفت مرده و...) بهره می‌برد (۸). برخلاف^۱ HIIT که به فعالیت‌های تکی مثل دویدن متکی است،^۲ HIFT بر حرکات عملکردی و چند مفصله تأکید دارد که می‌تواند برای هر سطح آمادگی تعدیل گردد، و فراخوانی عضلانی بزرگ‌تر همراه با تمرین‌های ورزشی هوازی و قدرتی-عضلانی را ایجاد کند (۹). به طور کلی، تمرین فانکشنال شدید^۳ یک مدل تمرینی نسبتاً نوین می‌باشد که اخیراً در رشته آمادگی جسمانی دیده می‌شود و می‌تواند تأثیرات مثبتی بر آمادگی جسمانی داشته باشد (۱۰-۱۳). همچنین کلیسزویک و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات حاد تمرینات HIFT بر بیومارکرهای التهاب در طول زمان در دو جلسه HIFT ۵ دقیقه‌ای و ۱۵ دقیقه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که نشانگرهای زیستی IL-6، IL-10 و TNF- α همگی بعد از هر دو نوع تمرین افزایش معناداری می‌یابند (۶). پوسناکیدیس و همکاران^۴ (۲۰۲۲) نیز در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر تمرینات عملکردی شدید بر بهبود آمادگی قلبی و عملکرد عصبی عضلانی بدون التهاب یا آسیب عضلانی پرداختند. نتایج نشان داد که پس از ۸ هفته تمرین HIFT، چربی بدن کاهش یافت،

1. High Intensity Intermittent Training
2. High Intensity Functional Training
3. HIFT
4. Posnakidis

حداکثر اکسیژن مصرفی بهبود یافت، و تعداد حرکات پرشی، پرس نیمکت، حداکثر تعداد تکرار پرس نیمکت و مقاومت عضله شکم بهبود یافت (۱۴). علاوه بر این، نتایج متناقضی هم در مورد اثرگذاری تمرینات HIFT بر ترکیب بدنی و عملکرد جسمانی وجود دارد.

پودیویژن و همکاران^۱ (۲۰۲۱)، در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر تمرینات عملکردی شدید بر فاکتورهای جسمانی و فیزیولوژیکی آتش‌نشانان دارای اضافه وزن و چاق پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر تمرینات عملکردی شدید، فشار خون دیاستولی استراحت و ضربان قلب در حال استراحت به طور قابل توجهی کاهش یافت. همچنین فاکتورهای چابکی، قدرت عضلانی و آمادگی جسمانی آتش‌نشانان نیز بهبود معنی داری یافت (۱۵). بنابراین، با توجه به تناقض موجود در مطالعات، مطالعه حاضر به بررسی تاثیر هشت هفته تمرینات فانکشنال شدید بر فاکتورهای اینترلوکین-۶، اینترلوکین-۱۰، CRP و فاکتورهای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان می‌پردازد و نتایج این مطالعه می‌تواند مورد استفاده مربیان و محققین علوم ورزشی قرار گیرد، تا بتوانند بهترین روش تمرینی را جهت سازگاری‌های فیزیولوژیکی و ایمنی افراد جوان کم‌تحرك کشف کنند.

۲. روش پژوهش

جامعه آماری این پژوهش دانش‌آموزان پسر تمرین نکرده با دامنه سنی ۱۴-۱۸ سال، مدرسه شبانه‌روزی شهید علوی میناب بودند. نمونه آماری تحقیق نیز براساس نرم‌افزار جی پاور (G* Power) نسخه ۳،۱،۹،۲ محاسبه شد. حداقل اندازه نمونه ۲۴ نفر (دوازده نفر در هر گروه) با احتساب آلفای ۵ درصد، بتای ۸۰ درصد و اندازه اثر ۰/۳۰ به دست آمد. در مطالعه حاضر جهت اکتفا به نمونه‌ها در مراحل مختلف تحقیق، تعداد ۱۵ نفر در هر گروه انتخاب شدند. لازم به ذکر است که سطح فعالیت بدنی شرکت‌کنندگان در مطالعه حاضر نیز با استفاده از نسخه کوتاه پرسش‌نامه بین‌المللی فعالیت بدنی^۲ (IPAQ) اندازه‌گیری گردید و شرکت‌کنندگانی برای مطالعه حاضر انتخاب شدند که سطح فعالیت بدنی آن‌ها کم بود. شرکت‌کنندگان در مطالعه حاضر به صورت هدفمند انتخاب و به صورت تصادفی در دو گروه تمرینات فانکشنال شدید و کنترل قرار گرفتند.

یک هفته قبل از شروع پروتکل‌های تمرینی، در یک جلسه توجیهی کلیه برنامه‌ها، مزایا و خطرات احتمالی، شیوه صحیح اجرای تمرینات فانکشنال شدید برای شرکت‌کنندگان توضیح داده شد و همچنین با توجه به مداخله تمرینی در این پژوهش و جلوگیری از اثرات تداخلی با داروها، از

1. Poudevigne

2. International Physical activity Questionnaire

آزمودنی‌ها درخواست شد که در طول دوره تمرینی از مصرف هر نوع دارو به خصوص داروهای کاهش‌دهنده فشارخون، اجتناب نمایند و در صورت مصرف، گزارش کنند. البته قابل ذکر است که در جریان اجرای پژوهش، کلیه آزمودنی‌ها تحت نظر پزشک متخصص کنترل شدند، تا از بروز هر نوع خطرات احتمالی جلوگیری شود. علاوه بر این، در این جلسه به آزمودنی‌ها اطمینان خاطر داده شد که اطلاعات شخصی آنها نزد پژوهشگران به صورت محرمانه حفظ شده و در نهایت به صورت کلی گزارش می‌شود و به آنان نیز این اختیار داده شد که در هر مرحله از تمرین بتوانند در صورت عدم تمایل به ادامه همکاری انصراف دهند. همچنین در پایان این جلسه به همه آزمودنی‌ها فرم رضایتنامه داده شد تا به صورت آگاهانه و داوطلبانه آمادگی خود را برای شرکت در پروتکل‌های تمرینی اعلام کنند. پس از آشنایی آزمودنی‌ها با مراحل اجرای کار، به صورت تصادفی به دو گروه (۱- تمرینات فانکشنال شدید؛ ۲- کنترل) تقسیم شدند.

در ابتدا در مرحله پیش‌آزمون، اندازه‌گیری‌های قد، وزن، درصد چربی بدن، اکسیژن مصرفی بیشینه، توان بی‌هوازی، قدرت عضلانی و استقامت عضلانی رأس ساعت ۸ تا ۱۰ صبح انجام گرفت. در روز بعد خونگیری رأس ساعت ۸ تا ۱۰ صبح و بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی انجام شد. به منظور ارزیابی متغیرهای بیوشیمیایی، نمونه‌های خونی آزمودنی‌ها در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون (پس از ۸ هفته تمرین) جمع‌آوری شد؛ به طوری که در مرحله پیش‌آزمون یعنی یک روز قبل از شروع برنامه تمرینی و پس از ۱۲ ساعت ناشتایی، نمونه خونی در فاصله زمانی ۸ الی ۱۰ صبح توسط تکنسین آزمایشگاهی و با رعایت نکات استریل از ورید بازویی دست راست آزمودنی‌ها در حالت نشسته، با حجم ۵ سیسی گرفته شد. همچنین در مرحله پس‌آزمون نیز جهت جلوگیری از تأثیر حاد تمرین بر متغیرهای مورد مطالعه پس از گذشت ۲۴ ساعت از آخرین جلسه تمرینی مانند مرحله پیش‌آزمون بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی در همان بازه زمانی ۸ الی ۱۰ صبح خونگیری انجام شد. سپس نمونه‌های خونی بلافاصله در یونولیت محتوی یخ خشک در دمای ۴ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و به آزمایشگاه تخصصی برای سنجش و آنالیز بیوشیمیایی انتقال داده شدند. جهت جداسازی سرم، سانتریفیوژ نمونه‌های خونی با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه صورت گرفت.

پس از مرحله پیش‌آزمون مرحله تمرینی آغاز شد. مرحله تمرینی در هشت هفته و هر هفته سه جلسه انجام گرفت. در این مدت گروه کنترل به فعالیت‌های روزمره خود پرداختند؛ در حالی که گروه تمرینی به اجرای تمرینات مورد نظر پرداخت که به صورت ذیل بود:

۲-۱. پروتکل تمرین فانکشنال شدید

پروتکل تمرینی مطالعه حاضر برگرفته از تحقیق بانسازیک^۱ و همکاران (۲۰۱۹) بود که به صورت ذیل می باشد (۱۱):

جدول ۱- مشخصه های اجزاء تمرینات فانکشنال شدید (اقتباس از بانسازیک و همکاران، ۲۰۱۹)

متغیر	مشخصه
فعالیت های انجام شده	تمرینات مقاومتی یکپارچه، شامل تمرینات همزمان اندام فوقانی و تحتانی، حرکات چند صفحه ای، تمرینات ثبات مرکزی، هماهنگی حرکتی و تعادل
شدت	هفته ۱-۸؛ RPE ۶-۷ (۰-۱۰)
حجم/ دوره/ روش	طرح دایره ای با ۸ ایستگاه (تمرین)، ۴۰ ثانیه تمرین، ۲۰ ثانیه استراحت، ۳ تکرار، در مجموع ۲۵ دقیقه

جدول ۲- پروتکل تمرینات فانکشنال شدید (اقتباس از: بانسازیک و همکاران، ۲۰۱۹)

تمرین ها	هفته ها
ایستادن و نشستن با آرنج خم ^۲	۱ و ۵
شنا ^۳	
کرانچ با چرخش ^۴	
چرخش دمبل ^۵	
کشیدن به پایین با اسکات ^۶	
حرکت فیله کمر با وزنه روی سرشانه از پشت ^۷	
باز شدن لگن همراه با بالا بردن پا ^۸	
Airplane	
حرکت کول با سومو اسکات ^۹	۲ و ۶
فلای دمبل با کشیدن لگن به بالا ^{۱۰}	
چرخش تنه با باند الاستیک ^{۱۱}	

1. Banaszek
2. Sit-to-stand with elbow flexion
3. Push-ups
4. Crunches with rotation
5. Dumbbell swing
6. Front pulldown with squat
7. Good morning
8. Side-lying hip abduction
9. Upright row with sumo squat
10. Dumbbell fly with pelvic elevation
11. Elastic trunk rotation

تمرین‌ها	هفته‌ها
نشر نظامی با لانج از بغل ^۱	
پارویی به حالت شیب‌دار ^۲	
خم شدن زانو همراه با خم شدن آرنج ^۳	
خم شدن تنه به طرفین ^۴	
ایستادن روی یک پا با چشم بسته ^۵	
اسکات تراست ^۶	۳ و ۷
فلکشن لگن با آرنج خم ^۷	
کرانچ با توپ ^۸	
نشر جانب با لانج ^۹	
پارویی زیربغل ^{۱۰}	
ددلیفت با وزنه ^{۱۱}	
پرس نیمکت ^{۱۲}	
ایستادن روی یک پا با چشم بسته ^{۱۳}	۴ و ۸
پرس نیمکت ایستاده ^{۱۴}	
سومو اسکات ^{۱۵}	
پارویی زیربغل ^{۱۶}	
کرانچ ^{۱۷}	
Push forward	
اکستنشن لگن ^{۱۸}	

1. Front raise with side lunge
2. Suspended row
3. Knee flexion with elbow flexion
4. Trunk lateral flexion
5. Single leg balance with eyes closed
6. Squat thruster
7. Hip flexion with elbow flexion
8. Ball crunch
9. Side lateral raise with lunge
10. Horizontal row
11. Stiff leg deadlift
12. Bench press
13. Single leg balance with eyes closed
14. Standing bench press
15. Sumo squat
16. Horizontal row
17. Crunch
18. Hips extension

تمرین‌ها	هفته‌ها
آداکشن و آداکشن شانه ^۱	
چرخش تنه ^۲	

۲۴ ساعت بعد از اتمام مرحله تمرینی، در مرحله پس‌آزمون، اندازه‌گیری‌های قد، وزن، درصد چربی بدن، اکسیژن مصرفی بیشینه، توان بی‌هوازی، قدرت عضلانی و استقامت عضلانی رأس ساعت ۸ تا ۱۰ انجام گرفت. در روز بعد خونگیری رأس ساعت ۸ تا ۱۰ صبح و بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی انجام شد.

تحلیل آماری: به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی استفاده گردید. از آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده گردید. از آزمون لوین برای بررسی برابری واریانس متغیرهای مورد نظر استفاده شد. از آزمون شیب خط رگرسیون برای بررسی هم‌خطی بودن داده‌ها استفاده شد. در بخش آمار استنباطی، از آزمون تی وابسته، تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام گردید.

۳. نتایج

همانطور که در جدول (۳) آمده است، تفاوت معناداری بین گروه‌ها در متغیرهای سن ($P=0/36$)، قد ($P=0/45$) و وزن ($P=0/49$) وجود ندارد. بنابراین گروه‌بندی به صورت تصادفی صورت گرفته و گروه‌ها براساس این متغیرها همگن می‌باشند.

جدول ۳- میانگین و انحراف معیار مربوط به سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی آزمودنی‌ها

گروه	تعداد	سن (سال)	قد (سانتیمتر)	وزن (کیلوگرم)
تمرین	۱۰	$16/30 \pm 1/36$	$151/60 \pm 5/63$	$41/00 \pm 3/94$
کنترل	۱۰	$15/70 \pm 1/44$	$152/70 \pm 4/69$	$42/20 \pm 2/39$
تی مستقل	-	$(t=1/08, P=0/36)$	$(t=0/89, P=0/45)$	$(t=0/80, P=0/49)$

همانطور که در جدول (۴) آمده است، تمرینات فانکشنال شدید بر اینترلوکین-۶ دانش‌آموزان تاثیر معنی‌داری دارد ($P=0/009$). نتایج حاکی از آن بود که در اثر تمرینات فانکشنال شدید اینترلوکین-۶ دانش‌آموزان از پیش‌آزمون (۴/۲۶) تا پس‌آزمون (۲/۹۶) پیکوگرم بر میلی‌لیتر کاهش

1. Shoulder abduction/adduction

2. Trunk rotation

معنی داری یافته است. همچنین بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۱۶ در اینترلوکین-۶ تفاوت معناداری وجود دارد ($F=۳/۰۱$, $P=۰/۰۳۹$). گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین ۱/۷۶ میکوگرم بر میلی لیتر) در مقایسه با گروه کنترل، اینترلوکین-۶ پایین تری دارد ($P<۰/۰۵$).

همچنین تمرینات فانکشنال شدید بر اینترلوکین-۱۰ دانش‌آموزان تاثیر معنی داری دارد ($P=۰/۰۱۳$). در اثر تمرینات فانکشنال شدید اینترلوکین-۱۰ دانش‌آموزان از پیش‌آزمون (۱/۷۶) تا پس‌آزمون (۲/۳۵) پیکوگرم بر میلی لیتر افزایش معنی داری یافته است. از سوی دیگر، بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۲۱ در اینترلوکین-۱۰ تفاوت معناداری وجود دارد ($F=۴/۸۵$, $P=۰/۰۰۱$). گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین ۰/۶۲ پیکوگرم بر میلی لیتر) در مقایسه با گروه کنترل، اینترلوکین-۱۰ بالاتری دارد ($P<۰/۰۵$).

همچنین تمرینات فانکشنال شدید بر CRP دانش‌آموزان تاثیر معنی داری دارد ($P=۰/۰۰۸$). همچنین، در اثر تمرینات فانکشنال شدید CRP دانش‌آموزان از پیش‌آزمون (۱/۷۷) تا پس‌آزمون (۱/۳۴) پیکوگرم بر میلی لیتر کاهش معنی داری یافته است. بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۱۹ در CRP تفاوت معناداری وجود دارد ($F=۳/۸۵$, $P=۰/۰۱۰$). گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین ۰/۴۶ پیکوگرم بر میلی لیتر) در مقایسه با گروه کنترل CRP پایین تری دارد ($P<۰/۰۵$).

تمرینات فانکشنال شدید بر قدرت اندام فوقانی دانش‌آموزان تاثیر معنی داری دارد ($P=۰/۰۰۱$). در اثر تمرینات فانکشنال شدید، قدرت اندام فوقانی دانش‌آموزان از پیش‌آزمون (۳۱/۳۳) تا پس‌آزمون (۳۹/۹۳) کیلوگرم افزایش معنی داری یافته است. بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۲۸ در قدرت اندام فوقانی تفاوت معناداری وجود دارد ($F=۷/۱۴$, $P=۰/۰۰۱$). گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین ۷/۰۲ کیلوگرم) در مقایسه با گروه کنترل قدرت اندام فوقانی بالاتری دارد ($P<۰/۰۵$).

تمرینات فانکشنال شدید بر قدرت اندام تحتانی دانش‌آموزان تاثیر معنی داری دارد ($P=۰/۰۰۱$). در اثر تمرینات فانکشنال شدید، قدرت اندام تحتانی دانش‌آموزان از پیش‌آزمون (۳۷/۰۰) تا پس‌آزمون (۴۳/۹۳) کیلوگرم افزایش معنی داری یافته است. بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۲۰، در قدرت اندام تحتانی تفاوت معناداری وجود دارد ($F=۶/۸۰$, $P=۰/۰۰۱$). گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین ۶/۷۲ کیلوگرم) در مقایسه با گروه کنترل، قدرت اندام تحتانی بالاتری دارد ($P<۰/۰۵$).

تمرینات فانکشنال شدید بر توان هوازی دانش‌آموزان مدرسه شبانه‌روزی شهید علوی میناب تاثیر معنی داری دارد ($P=۰/۰۰۱$). در اثر تمرینات فانکشنال شدید، توان هوازی دانش‌آموزان مدرسه شبانه‌روزی شهید علوی میناب از پیش‌آزمون (۳۱/۴۰) تا پس‌آزمون (۳۵/۰۰) میلی لیتر/کیلوگرم/

دقیقه افزایش معنی داری یافته است. بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۱۷، در توان هوازی تفاوت معناداری وجود دارد (P=۰/۰۱۵، F=۴/۱۴). گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین ۳/۰۰ میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه) در مقایسه با گروه کنترل، توان هوازی بالاتری دارد (P<۰/۰۰۵).

همچنین تمرینات فانکشنال شدید بر درصد چربی بدن دانش‌آموزان تاثیر معنی داری دارد (P=۰/۰۱۹). در اثر تمرینات فانکشنال شدید، درصد چربی بدن دانش‌آموزان از پیش‌آزمون (۱۷/۴۶) تا پس‌آزمون (۱۵/۱۳) درصد کاهش معنی داری یافته است. بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۱۹ در درصد چربی بدن تفاوت معناداری وجود دارد (P=۰/۰۱۰، F=۴/۸۹). گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین ۲/۷۰ درصد) در مقایسه با گروه کنترل درصد چربی بدن پایین‌تری دارد (P<۰/۰۰۵).

تمرینات فانکشنال شدید بر توده خالص بدن دانش‌آموزان تاثیر معنی داری دارد (P=۰/۰۰۱). در اثر تمرینات فانکشنال شدید، توده خالص بدن دانش‌آموزان از پیش‌آزمون (۳۱/۵۳) تا پس‌آزمون (۳۴/۳۳) کیلوگرم افزایش معنی داری یافته است. بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۲۰ در توده خالص بدن تفاوت معناداری وجود دارد (P=۰/۰۰۱، F=۶/۸۶). گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین ۲/۴۰ کیلوگرم) در مقایسه با گروه کنترل، توده خالص بدن بالاتری دارد (P<۰/۰۰۵).

جدول ۴- تغییرات بین گروهی و درون گروهی

متغیر	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	تفاوت‌های درون گروهی		تفاوت‌های بین گروهی (آزمون کوواریانس)	
				p	t	F	P
اینترلوکین ۶	تمرین	۴/۲۶ ± ۱/۱۲	۲/۹۶ ± ۱/۳۴	۰/۰۰۹	۴/۲۶	۳/۰۱	۰/۰۳۹*
	کنترل	۴/۵۳ ± ۱/۳۴	۴/۶۶ ± ۱/۱۹	۰/۷۶۱	۰/۱۳		
اینترلوکین ۱۰	تمرین	۱/۷۶ ± ۰/۳۷	۲/۳۵ ± ۰/۴۶	۰/۰۱۳	-۲/۷۹	۴/۸۵	۰/۰۰۱*
	کنترل	۱/۹۰ ± ۰/۳۴	۱/۷۳ ± ۰/۳۱	۰/۲۴۲	۱/۳۲		
CRP	تمرین	۱/۷۷ ± ۰/۲۰	۱/۳۴ ± ۰/۳۵	۰/۰۰۸	۲/۳۰	۳/۸۵	۰/۰۱۰*
	کنترل	۱/۶۸ ± ۰/۳۰	۱/۸۰ ± ۰/۲۹	۰/۴۳۰	۱/۳۲		
قدرت اندام فوقانی	تمرین	۳۱/۳۳ ± ۳/۳۷	۳۹/۹۳ ± ۲/۹۳	۰/۰۰۱	-۶/۸۶	۷/۱۴	۰/۰۰۱*
	کنترل	۳۱/۸۸ ± ۳/۵۱	۳۲/۹۱ ± ۳/۱۷	۰/۰۹۱	۱/۸۸		
قدرت اندام تحتانی	تمرین	۳۷/۰۰ ± ۴/۴۵	۴۳/۹۳ ± ۳/۸۹	۰/۰۰۱	-۶/۱۲	۶/۸۰	۰/۰۰۱*
	کنترل	۳۶/۹۳ ± ۵/۰۲	۳۷/۲۱ ± ۳/۶۵	۰/۶۵۱	۰/۷۶		
توان هوازی	تمرین	۳۱/۴۰ ± ۲/۵۲	۳۵/۰۰ ± ۲/۹۵	۰/۰۰۱	-۴/۹۴	۴/۱۴	۰/۰۱۵*
	کنترل	۳۱/۸۶ ± ۲/۷۷	۳۲/۰۰ ± ۲/۶۶	۰/۰۹۱	۱/۸۸		

متغیر	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	تفاوت‌های درون‌گروهی		تفاوت‌های بین‌گروهی (آزمون کوواریانس)	
				p	t	F	P
درصد چربی	تمرین	$17/46 \pm 1/84$	$15/13 \pm 2/34$	۳/۱۸	۰/۰۱۹	۴/۸۹	۰/۰۱۰*
	کنترل	$17/80 \pm 1/82$	$17/83 \pm 1/80$	۰/۳۲	۰/۸۳۱		
توده خالص بدن	تمرین	$31/53 \pm 3/50$	$34/33 \pm 1/87$	-۴/۸۸	۰/۰۰۱	۶/۸۶	۰/۰۰۱*
	کنترل	$31/60 \pm 2/89$	$31/93 \pm 3/07$	-۰/۱۴	۰/۸۹۱		

۱: تفاوت‌های معنادار از پیش‌آزمون به پس‌آزمون، *: تفاوت معنادار بین دو گروه (گروه تمرین فانکشنال شدید و گروه کنترل)

۴. نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی هشت هفته تمرینات فانکشنال شدید بر فاکتورهای اینترلوکین-۶، اینترلوکین-۱۰، CRP و فاکتورهای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان انجام گرفت. در مورد فاکتورهای التهابی و ضدالتهابی، نتایج نشان داد که تمرینات فانکشنال شدید بر اینترلوکین-۶ دانش‌آموزان تاثیر معنی‌داری دارد. گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین $1/76$ پیکوگرم بر میلی‌لیتر) در مقایسه با گروه کنترل، اینترلوکین-۶ پایین‌تری دارد. همچنین، تمرینات فانکشنال شدید بر اینترلوکین-۱۰ دانش‌آموزان تاثیر معنی‌داری دارد. گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین $0/62$ پیکوگرم بر میلی‌لیتر) در مقایسه با گروه کنترل، اینترلوکین-۱۰ بالاتری دارد. علاوه بر این، تمرینات فانکشنال شدید بر CRP دانش‌آموزان تاثیر معنی‌داری نشان داد. گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف میانگین $0/46$ پیکوگرم بر میلی‌لیتر) در مقایسه با گروه کنترل، CRP پایین‌تری دارد. بر مبنای بررسی‌های انجام شده، مطالعه‌ای که به تاثیر مزمن تمرینات فانکشنال شدید بر فاکتورهای التهابی و ضدالتهابی پرداخته باشد، یافت نشد. در بررسی اثر حاد، کلیسیزویک و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات حاد تمرینات HIFT بر بیومارکرهاي التهاب در طول زمان در دو جلسه HIFT ۵ دقیقه‌ای و ۱۵ دقیقه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که نشانگرهای زیستی IL-6، IL-10 و TNF- α همگی بعد از هر دو نوع تمرین، افزایش معناداری می‌یابند و از الگوی مشابهی پیروی می‌کنند که در هر دو کارآزمایی به اوج خود می‌رسد و ظرف ۶ ساعت به حالت اولیه بازمی‌گردد (۶). اما بین دو نوع تمرین تفاوت معناداری مشاهده نشد. همچنین، پوسناکیدیس و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی این موضوع پرداختند که تمرینات عملکردی شدید باعث بهبود آمادگی قلبی و عملکرد عصبی عضلانی بدون التهاب یا آسیب عضلانی می‌شود (۱۴). نتایج نشان داد که پس از ۸ هفته تمرین HIFT، چربی بدن کاهش یافت، حداکثر اکسیژن مصرفی بهبود یافت، و

تعداد حرکات پرشی، پرس نیمکت، حداکثر تعداد تکرار پرس نیمکت و مقاومت عضله شکم بهبود یافت. در هر دو هفته اول و هشتم تمرینی، کراتین کیناز (CK) در صبح پس از اولین جلسه هفته اول و هشتم به میزان ملایم افزایش یافت، در حالی که هیچ تغییر قابل توجهی در CRP مشاهده نشد. در طول هفته هشتم، CK در تمام روزها در مقایسه با هفته اول حدود ۳۲ درصد کمتر بود، در حالی که CRP بدون تغییر باقی ماند. این تمرین HIFT بدون ایجاد التهاب قابل توجه یا آسیب عضلانی در افراد فعال بدنی در بهبود آمادگی جسمی قلبی تنفسی و عصبی عضلانی مشرثر بود. با توجه به نقش مهم فعالیت بدنی بر فاکتورهای التهابی و ضد التهابی و نیز تاثیر آن بر زندگی افراد، امروزه استفاده از تمرینات فانکشنال شدید به دلیل نقش مهمی که در فراخوانی عضلات بزرگتر دارد، مورد تاکید است. با توجه به اینکه از عوامل اثر تمرین بر فاکتورهای ضد التهابی، فاکتورهای رشدی هستند، می توان بیان کرد که افزایش اینترلوکین-۱۰ در اثر تمرینات عملکردی شدید، به دلیل افزایش این فاکتورها می باشد؛ همچنان که کلیسیزویک و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که سطح متوسط هورمون رشد در دوره کوتاه تمرینات HIFT از ۶۸/۴ به ۱۰۶/۵ پیکوگرم بر میلی لیتر افزایش یافته و در دوره طولانی تمرینات HIFT، میانگین سطح GH از ۳۸/۵ به ۲۸۶/۴ پیکوگرم بر میلی لیتر افزایش یافته است (۶). همچنین، اینترلوکین-۱۰ در اثر تمرینات عملکردی شدید در اثر تحمیل فشار متابولیکی قابل توجه به آزمودنی ها می باشد. تمرینات با استفاده از الگوهای حرکتی انفجاری و بارهای بالاتر برای قسمت پایین تنه و بارهای متوسط برای قسمت بالاتنه (همانند تمرینات عملکردی شدید) مفیدتر هستند؛ زیرا هدف این است که حداکثر فشار را در حین تمرینات داشته باشیم (۱۶).

بنابراین، این احتمال وجود دارد که برنامه های تمرینی که از تمرینات مرکب در دامنه ای از شدت و با مدت زمان متفاوت (HIFT) استفاده می کنند و از اعمال انفجاری استفاده می نمایند، می توانند از نظر توسعه فشار متابولیکی و افزایش فاکتورهای رشدی برای بهبود میزان اینترلوکین-۱۰ موثر باشند. سازوکارهای مختلفی می تواند در اثر تمرینات عملکردی بر فاکتورهای التهابی نقش داشته باشد. یکی از مسیرها را می توان به افزایش هورمون رشد شبه انسولین ناشی از تمرین نسبت داد، افزایش میزان هورمون رشد شبه انسولینی-۱ (IGF-1) در عضله اسکلتی موجب کاهش میزان فعالیت مسیر Fox1 مهم در تجزیه و آپوپتوز- و در نتیجه کاهش تعداد و حساسیت گیرنده های سرین- تروئونی اکتیوینی نوع II (Act R-AII یا Act-IIB) می گردد که با کاهش تولید و ترشح فاکتورهای التهابی همانند اینترلوکین-۶ همراه است.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تمرینات فانکشنال شدید بر توان هواری دانش آموزان مدرسه شبانه روزی شهید علوی میناب تاثیر معنی داری دارد. گروه تمرین فانکشنال شدید (با اختلاف

میانگین $3/00$ میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه) در مقایسه با گروه کنترل، توان هوازی بالاتری دارد. در تحقیقات مربوط به بهبود توان هوازی در اثر تمرینات فانکشنال شدید، پوسناکیدیس و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی این موضوع پرداختند که تمرینات عملکردی شدید باعث بهبود آمادگی قلبی و عملکرد عصبی عضلانی بدون التهاب یا آسیب عضلانی می‌شود (۱۷). نتایج نشان داد که پس از ۸ هفته تمرین HIIT، حداکثر اکسیژن مصرفی بهبود یافت، و تعداد حرکات پرشی، پرس نیمکت، حداکثر تعداد تکرار پرس نیمکت و مقاومت عضله شکم بهبود یافت. کلیسزویک و همکاران (۲۰۱۹) نیز سازگاری فیزیولوژیکی به دنبال چهار هفته تمرین عملکردی شدید را در ۱۰ مرد و ۱۰ زن فعال بررسی نمودند (۶). نتایج نشان داد که بهبود قابل توجهی در مردان و زنان به ترتیب در حداکثر اکسیژن مصرفی مشاهده شد. کاسگرو و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی این موضوع پرداختند که چندین بهبود آمادگی جسمانی بعد از ۶ ماه تمرین عملکردی شدید رخ می‌دهد (۱۸). نتایج نشان داد که برای زنان، تأثیرات قابل توجهی برای استقامت قلبی عروقی مشاهده شد. بریس بویس و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به سازگاری‌های فیزیولوژیکی و آمادگی جسمانی پس از هشت هفته تمرین عملکردی شدید در بزرگسالان غیرفعال پرداختند (۱۹). نتایج نشان داد که در اثر تمرینات عملکردی شدید، اکسیژن مصرفی بیشینه به طور نسبی بهبود یافت. اما در تحقیقی ناهمخوان، سوبررو و همکاران (۲۰۱۷) به مقایسه تمرینات عملکردی شدید و تمرینات دایره‌ای در متغیرهای عملکردی و بهداشتی سلامتی در زنان پرداختند (۲۰). نتایج نشان داد که هیچ تغییری در ظرفیت هوازی دو گروه تمرینی مشاهده نشد. یکی از دلایل می‌تواند مربوط به سطح آمادگی و جنسیت شرکت‌کنندگان باشد. در تحقیق حاضر دانش‌آموزان با سطح کم انتخاب شدند؛ در حالی که در تحقیق سوبررو و همکاران (۲۰۱۷) شرکت‌کنندگان، زنان سالم فعال در ورزش‌های تفریحی بودند. گزارش‌های مربوط به استفاده از تمرینات دایره‌ای در پیشینه‌ها معمول است (۲۲، ۲۱)، و مریان اغلب آن را به عنوان یک استراتژی کارآمد برای تحمیل فشار متابولیکی قابل توجه به ورزشکاران تجویز می‌کنند، در حالی که استقامت و قدرت عضلانی نیز به چالش کشیده می‌شود (۲۲). اخیراً، هرماسی و همکاران (۲۰۱۷) با نشان دادن پیشرفت‌های قابل توجه در قدرت عضلانی، توان و سرعت پرتاب در گروهی از بازیکنان هندبال در طول ۱۰ هفته از فصل رقابت، از اثربخشی برنامه‌های تمرینی دایره‌ای در ورزشکاران سطح بالا پشتیبانی بیشتری کردند (۲۳). با این حال، نتایج برخی از مطالعات تمرینات دایره‌ای حاکی از آن است که تمرینات دایره‌ای که با شدت و سرعت حرکت تجویز می‌شود، برای ایجاد توان و قدرت عضلانی و در نتیجه، عملکرد ورزشی مطلوب هستند (۲۴، ۲۵). تمرینات با استفاده از الگوهای حرکتی انفجاری و بارهای بالاتر برای قسمت

پایین تنه و بارهای متوسط برای قسمت بالاتنه (همانند تمرینات عملکردی شدید) مفیدتر هستند؛ زیرا هدف این است که حداکثر توان را در حین تمرینات دایره‌ای داشته باشیم (۲۷، ۲۶، ۱۶). بنابراین، این احتمال وجود دارد که برنامه‌های تمرینی دایره‌ای که از تمرینات مرکب در دامنه‌ای از شدت و با مدت زمان متفاوت استفاده کرده و از اعمال انفجاری استفاده می‌کنند، می‌توانند از نظر توسعه آمادگی جسمانی و توان هوازی حتی نتایج بهتری داشته باشند. براساس نتایج فوق می‌توان از تمرین فانکشنال شدید در بهبود فاکتورهای التهابی و ضد التهابی و همچنین بهبود فاکتورهای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان استفاده کرد.

References

1. Kliszczewicz B, Buresh R, Bechke E & Williamson C. Metabolic biomarkers following a short and long bout of high-intensity functional training in recreationally trained men. *J. Hum. Sport Exerc.* 2017; 12: 710–718.
2. Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, Queen RM, Pryor JL & Casa DJ. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. *J Strength Cond Res.* 2017; 31(10): 2920-2937.
3. 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. *J Appl Physiol.* 2012; 112(8): 1353-1360.
4. Crescioli C. Vitamin D merging into immune system-skeletal muscle network: effects on human health. *Applied Sciences.* 2020; 10(16): 5592.
5. Osimo EF, Baxter LJ, Lewis G, Jones PB & Khandaker GM. Prevalence of low-grade inflammation in depression: a systematic review and meta-analysis of CRP levels. *Psychological medicine.* 2019; 49(12): 1958-1970.
6. Kliszczewicz B, Markert CD, Bechke E, Williamson C, Clemons KN, Snarr RL & McKenzie MJ. Acute inflammatory responses to high-intensity functional training programming: An observational study. *Journal of Human Sport and Exercise.* 2019; 14(4): 906-917
7. Gerosa-Neto J, Monteiro PA, Inoue DS, Antunes BM, Batatinha H, Dorneles GP, Peres A, Rosa-Neto JC & Lira FS. High-and moderate-intensity training modify LPS-induced ex-vivo interleukin-10 production in obese men in response to an acute exercise bout. *Cytokine.* 2020; 136: 155249.
8. Feito Y, Heinrich KM, Butcher SJ & Poston WSC. High-intensity functional training (HIFT): Definition and research implications for improved fitness. *Sports.* 2018; 6(3): 76.
9. Heinrich KM, Becker C, Carlisle T, Gilmore K, Hauser J, Frye J & Harms CA. High-intensity functional training improves functional movement and body composition among cancer survivors: a pilot study. *European journal of cancer care.* 2015; 24(6): 812-7.
10. Claudino JG, Gabbett TJ, Bourgeois F, Souza HS, Miranda RC & et al. CrossFit Overview: Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.-Open.* 2018; 4(11).
11. Banaszek A, Townsend JR, Bender D, Vantrease WC, Marshall AC & Johnson KD. The effects of whey vs. pea protein on physical adaptations following 8-weeks of high-intensity functional training (HIFT): A pilot study. *Sports.* 2019; 7(1): 12.
12. Brisebois MF, Rigby BR & Nichols DL. Physiological and fitness adaptations after eight weeks of high-intensity functional training in physically inactive adults. *Sports.* 2018; 6(4): 146.
13. Andersen LL, Tufekovic G, Zebis MK, Cramer RM, Verlaan G, Kjær M & et al. The effect of resistance training combined with timed ingestion of protein on muscle fiber size and muscle strength. *Metabolism.* 2005; 54(2): 151-156.
14. Posnakidis G, Aphas G, Giannaki CD, Mougios V, Aristotelous P, Samoutis G & Bogdanis GC. High-intensity functional training improves cardiorespiratory fitness and neuromuscular performance without inflammation or muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning*

- Research*. 2022; 36(3): 615-623.
15. Poudevigne M, Day C, Campbell E, Mills D, Porter R, Zornosa X & Andre T. Fit for Fire: A 10-Week Low-Cost HIIFT Experiential Learning Initiative between Underrepresented Kinesiology Undergraduates and Hypertensive Deconditioned Firefighters Improves Their Health and Fitness. *Education Sciences*. 2021; 11(1): 33. <https://doi.org/10.3390/educsci11010033>
 16. Roberson KB, Chowdhari SS, White MJ & Signorile JF. Loads and Movement Speeds Dictate Differences in Power Output During Circuit Training. *J. Strength Cond. Res*. 2017; 31: 2765–2776.
 17. Posnakidis G, Aphamis G, Giannaki CD, Mougios V, Aristotelous P, Samoutis G & Bogdanis GC. High-Intensity Functional Training Improves Cardiorespiratory Fitness and Neuromuscular Performance Without Inflammation or Muscle Damage. *Journal of strength and conditioning research*. 2020; 36(3): 615-623.
 18. Cosgrove SJ, Crawford DA & Heinrich KM. Multiple fitness improvements found after 6-months of high intensity functional training. *Sports*. 2019; 7(9): 203.
 19. Brisebois MF, Rigby BR & Nichols DL. Physiological and fitness adaptations after eight weeks of high-intensity functional training in physically inactive adults. *Sports*. 2018; 6(4): 146.
 20. Sobrero G, Arnett S, Schafer M, Stone W, Tolbert TA, Salyer-Funk A, Crandall J, Farley LB, Brown J, Lyons S & Esslinger T. A comparison of high intensity functional training and circuit training on health and performance variables in women: a pilot study. *Women in sport and physical activity journal*. 2017; 25(1): 1-0.
 21. Baudry S & Roux P. Specific circuit training in young judokas: Effects of rest duration. *Res. Q. Exerc. Sport*. 2009; 80: 146–152.
 22. Crowley E, Harrison AJ & Lyons M. Dry-Land Resistance Training Practices of Elite Swimming Strength and Conditioning Coaches. *J. Strength Cond. Res*. 2018; 32: 2592–2600.
 23. Hermassi S, Wolny R, Schwesig R, Shephard RJ & Chelly MS. Effects of in-season circuit training on physical abilities in male handball players. *J. Strength Cond. Res*. 2017; 33(4): 944-957.
 24. Kostikiadis IN, Methenitis S, Tsoukos A, Veligeas P, Terzis G & Bogdanis GC. The Effect of Short-Term Sport-Specific Strength and Conditioning Training on Physical Fitness of Well-Trained Mixed Martial Arts Athletes. *J. Sports Sci. Med*. 2018; 17: 348-358.
 25. Munoz-Martinez FA, Rubio-Arias JA, Ramos-Campo DJ & Alcaraz PE. Effectiveness of Resistance Circuit-Based Training for Maximum Oxygen Uptake and Upper-Body One-Repetition Maximum Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 2017; 47: 2553-2568.
 26. Heinrich KM, Crawford DA, Johns BR, Frye J & Gilmore KE. Affective responses during high-intensity functional training compared to high-intensity interval training and moderate continuous training. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*. 2020; 9(1): 115.
 27. Gomes JH, Mendes RR, Franca CS, Da Silva-Grigoletto ME, Pereira da Silva DR, Antonioli AR, de Oliveira e Silva AM & Quintans-Júnior LJ. Acute leucocyte, muscle damage, and stress marker responses to high-intensity functional training. *PloS one*. 2020; 15(12): e0243276.