

A Review of the Physiological Effects of Intense Interval Training; Adaptations Related to Some Health Factors in Military Personnel (Meta-Analysis Study)

Sajjad Mohammadyari^{1*}, Yousef Saberi²

¹ Department of Physical Education, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali University (AS), Tehran, Iran

² Department of Sports Physiology and Corrective Movements, Faculty of Sports Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

Introduction: Health at the community is the first priority in human society. All military personnel try to improve and maintain their health through different ways. Intense interval training induces physiological adaptations similar to traditional endurance training and it enhances performance during tasks that rely primarily on aerobic energy metabolism. Therefore, the current study has been performed to review the physiological effects of intense interval training and it were reviews the adjustments related to some health factors in military personnel.

Methods and Materials: The effect of HIIT on health factors in military personnel was searched until August 2022. The search was conducted in PubMed, Web of Science, Cochrane Central Register of Controlled Clinical Trials, Google Scholar, and Scopus databases. Hedges's g effect size (the ratio of the mean difference of two groups to the weighted standard deviation of the composite) was used for meta-analysis. Comprehensive Meta-Analysis version 2.0 software was used for data analysis.

Results: 6 studies were included in the meta-analysis among the studies included in the present research. Intense interval training has a significant effect with a 95% confidence interval (0.22-1.7) on increasing VO₂max (P=0.001) and intense interval training with a 95% confidence interval (0.05-1.58) has a significant effect on BMI (P=0.04) in military personnel.

Discussion and Conclusions: The results of the present meta-analysis show that HIIT improves health indicators (maximum oxygen consumption and body mass index) in military personnel.

Keywords: HIIT, health factors, cardio and respiratory fitness, military.

*(Corresponding Author) Sajjad Mohammadyari, Department of Physical Education, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali University (AS), Tehran, Iran. Email: mohammadyari.s@gmail.com

مروری بر اثرات فیزیولوژیکی تمرینات تناوبی شدید؛ سازگاری‌های مرتبط با برخی فاکتورهای سلامت در افراد نظامی (مطالعه فراتحلیل)

سجاد محمد یاری^{۱*}، یوسف صابری^۲

^۱ استادیار، گروه تربیت بدنی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران

^۲ دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

مقدمه: سلامتی در سطح جامعه به عنوان اولویت اول در جامعه بشری حاضر می‌باشد. تمامی افراد نظامی در پی بهبود و حفظ سلامتی خود از طریق راه‌های مختلف می‌باشند. تمرینات تناوبی شدید می‌تواند سازگاری‌های فیزیولوژیکی شبیه تمرینات استقامتی سنتی را تحریک کند و عملکردهایی را که به طور عمده متکی بر متابولیسم انرژی هوازی است، افزایش دهد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف مروری بر اثرات فیزیولوژیکی تمرینات اینتروال شدید؛ سازگاری‌های مرتبط با VO_{2max} و شاخص توده بدنی در افراد نظامی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: تاثیر تمرینات اینتروال شدید تا آگوست ۲۰۲۲ بر فاکتورهای سلامت در افراد نظامی جستجو شد. جستجو در پایگاه‌های PubMed, Web of Science, Cochrane Central Register of Controlled Clinical Trials, Google Scholar, and Scopus صورت گرفت. برای متاآنالیز از اندازه اثر Hedges's g (نسبت تفاضل میانگین دو گروه به انحراف معیار وزنی آمیخته) استفاده شد. و برای بررسی تحلیل داده از نرم افزار Comprehensive Meta-Analysis version ۲.۰ استفاده شد.

یافته‌ها: از بین مطالعات وارد شده به تحقیق حاضر ۶ مطالعه وارد متاآنالیز شدند. تمرینات تناوبی شدید اثر معنی‌داری با فاصله اطمینان ۹۵٪ (۰/۲۲-۱/۷) بر افزایش VO_{2max} ($P=0/001$) و تمرینات تناوبی شدید با فاصله اطمینان ۹۵٪ (۰/۰۵-۱/۵۸) اثر معناداری بر BMI ($P=0/04$) در افراد نظامی دارد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه فراتحلیل حاضر نشان می‌دهد که تمرینات تناوبی شدید باعث بهبود شاخص‌های سلامت (حد اکثر اکسیژن مصرفی و شاخص توده بدنی) در افراد نظامی می‌شود.

کلمات کلیدی: تمرینات تناوبی شدید، فاکتورهای سلامت، آمادگی قلبی و تنفسی، نظامی

مقدمه

ارگان‌های نظامی است که موفقیت یا شکست در مأموریت‌ها علاوه بر داشتن ادوات جنگی و تکنولوژی‌های پیشرفته، به عوامل سلامتی جسمانی نیز وابسته می‌باشد (۲). برای تحقق رسالت نیروهای مسلح وجود آمادگی‌های جسمانی مرتبط با سلامت متناسب ضروری و غیرقابل انکار است. سطوح متفاوتی از آمادگی جسمانی برای رده‌های گوناگون نظامی مورد نیاز است با این حال یک سطح عمومی

سلامتی در سطح جامعه به عنوان اولویت اول قرار گرفته است که تمامی افراد در پی بهبود و حفظ سلامتی خود از طریق راه‌های مختلف می‌باشند. فاکتورهای مختلفی بر وضعیت سلامتی تاثیر گذار می‌باشد که شامل عوامل فردی و ساختاری می‌باشد (۱). از طرفی نیروی انسانی ارزشمند یکی از مهم‌ترین گنجینه‌های با ارزش

و پایه برای کلیه نیروهای مسلح باید وجود داشته باشد. هدف از بهبود و ارتقای میزان آمادگی جسمانی، انجام ایده آل وظایف و مأموریت‌ها در هنگام جنگ، مانور و تمرین می‌باشد (۳). در سال‌های گذشته رفتارهای فردی در بروز بیماری‌ها چندان تأثیر گذار نبود و اصلی‌ترین تأثیر مربوط به محیط بوده است (۴). ولی امروزه عوامل فردی یکی از مهم‌ترین نقش‌ها را در بروز عوامل بیماری‌زایی به خود اختصاص می‌دهد (۵). در عصر حاضر اهمیت ویژه به رفتارهای ارتقاءدهنده سلامت داده می‌شود (۵). این رفتارهای سلامت محور علاوه بر پیشرفت فاکتورهای سلامت به همان نسبت نیز می‌تواند، کاهش هزینه‌های درمان و مراقبت را در پی داشته باشد (۶). عوامل زیادی در بخش مربوط به سلامت موثر و دخیل هستند. از جمله آن‌ها می‌توان به آمادگی قلبی و تنفسی (حداکثر اکسیژن مصرفی)، ضربان قلب، ترکیب بدنی، فشار خون اشاره کرد (۷، ۸). حداکثر ظرفیت مصرف اکسیژن هنگام فعالیت ورزشی را حداکثر اکسیژن مصرفی می‌نامند. در واقع هر چه قدر بدن اکسیژن بیشتری مصرف نماید، به همان اندازه نیز دیرتر خسته می‌گردد. حداکثر اکسیژنی که توسط بدن مصرف می‌شود، بسیار حائز اهمیت بوده و طبق نظر متخصصان بهترین شاخص نشان دادن آمادگی قلبی و عروقی است (۸، ۹). از عوامل ترکیب بدنی، شاخص توده بدنی (BMI) یکی از عوامل مهم برای تناسب اندام و سلامتی می‌باشد (۷، ۸). در واقع BMI مقیاسی برای اندازه‌گیری میزان چربی بدن، تناسب اندام و سلامت می‌باشد. این شاخص از طریق حاصل تقسیم وزن بر قد فرد محاسبه می‌شود (۷، ۸).

و پایه برای کلیه نیروهای مسلح باید وجود داشته باشد. هدف از بهبود و ارتقای میزان آمادگی جسمانی، انجام ایده آل وظایف و مأموریت‌ها در هنگام جنگ، مانور و تمرین می‌باشد (۳). در سال‌های گذشته رفتارهای فردی در بروز بیماری‌ها چندان تأثیر گذار نبود و اصلی‌ترین تأثیر مربوط به محیط بوده است (۴). ولی امروزه عوامل فردی یکی از مهم‌ترین نقش‌ها را در بروز عوامل بیماری‌زایی به خود اختصاص می‌دهد (۵). در عصر حاضر اهمیت ویژه به رفتارهای ارتقاءدهنده سلامت داده می‌شود (۵). این رفتارهای سلامت محور علاوه بر پیشرفت فاکتورهای سلامت به همان نسبت نیز می‌تواند، کاهش هزینه‌های درمان و مراقبت را در پی داشته باشد (۶). عوامل زیادی در بخش مربوط به سلامت موثر و دخیل هستند. از جمله آن‌ها می‌توان به آمادگی قلبی و تنفسی (حداکثر اکسیژن مصرفی)، ضربان قلب، ترکیب بدنی، فشار خون اشاره کرد (۷، ۸). حداکثر ظرفیت مصرف اکسیژن هنگام فعالیت ورزشی را حداکثر اکسیژن مصرفی می‌نامند. در واقع هر چه قدر بدن اکسیژن بیشتری مصرف نماید، به همان اندازه نیز دیرتر خسته می‌گردد. حداکثر اکسیژنی که توسط بدن مصرف می‌شود، بسیار حائز اهمیت بوده و طبق نظر متخصصان بهترین شاخص نشان دادن آمادگی قلبی و عروقی است (۸، ۹). از عوامل ترکیب بدنی، شاخص توده بدنی (BMI) یکی از عوامل مهم برای تناسب اندام و سلامتی می‌باشد (۷، ۸). در واقع BMI مقیاسی برای اندازه‌گیری میزان چربی بدن، تناسب اندام و سلامت می‌باشد. این شاخص از طریق حاصل تقسیم وزن بر قد فرد محاسبه می‌شود (۷، ۸).

از طرفی تمامی عوامل ذکر شده باعث شده است تا محققان با ترکیب مدل‌های مختلف تمرینی روش‌های جدیدی را طراحی کنند تا با کمترین زمان ممکن نیازهایی از قبیل بهبود سیستم قلب عروقی، اجرای هوازی و بی‌هوازی را مرتفع سازند و نیز افراد از فواید سلامتی برنامه‌های تمرین ورزشی بهره‌مند شوند. یک برنامه تمرینی مؤثر به ترکیبی از نوع، شدت، مدت و تعداد جلسات تمرین برای اعمال اضافه بار بر دستگاه‌های مختلف بدن و ایجاد سازگاری نیاز دارد (۹). از طرفی دستورالعمل‌های در حال حاضر سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۲۰ درباره فعالیت بدنی و رفتار بی‌حرکت (۱۰) انجام حداقل ۱۵۰ تا ۳۰۰ دقیقه فعالیت بدنی با شدت متوسط یا ۷۵ تا ۱۵۰ دقیقه فعالیت ورزشی هوازی با شدت شدید را در هفته توصیه می‌کند تا

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت فراتحلیل بر روی مقالات منتشر شده‌ای که به بررسی اثرات فیزیولوژیکی HIIT بر سازگاری‌های مرتبط با برخی فاکتورهای سلامت صورت گرفت. جستجو در پایگاه‌های PubMed، Web of Science، Cochrane Central Register of Controlled Clinical Trials، Google Scholar، and Scopus با کلیدواژه‌های "High intensity interval training"، "Sprint interval training"، "Interval Training"، "High intensity intermittent training"، "Health"، "VO₂max"، "Cardiac and respiratory fitness"، "body composition"، "BMI"، "body fat"، "Lipid profile"، "military Persons" or "Health and military persons". انجام شد. همچنین این کار در پایگاه‌های فارسی MAGIRAN، SID، MedLib، IranMedex، IRANDOC با کلمات کلیدی معادل کلمات

کلیدی لاتین که در بالا ذکر شد، انجام گرفت. دوره جستجو از آغاز تا آگوست ۲۰۲۲ صورت گرفت. علاوه بر این، جستجوی دستی و بررسی کامل منابع مقالات نیز انجام گردید. (جدول ۱) پس از گردآوری نتایج جستجو، ابتدا عنوان و سپس خلاصه مقالات مطالعه شد. چنانچه مقالات با معیار ورود و خروج همخوانی داشت؛ از نتایج آن در مطالعه مروری استفاده و در غیر این صورت کنار گذاشته می‌شد. بر اساس معیارها و اهداف تحقیق، ۷ مقاله، پس از مراحل ارزیابی انتخاب گردید. تمام مقالات به صورت متن کامل فراهم شد.

معیارهای ورود و خروج مطالعه: (۱) شدت‌های ۸۰ تا ۱۰۰ حداکثر ضربان قلب بیشینه با دوره‌های استراحت فعال و غیرفعال تمرینات اینتروال شدید، (۲) تحقیقاتی که روی افراد نظامی بودند، (۳) تحقیقاتی که بروی فاکتورهای مرتبط با سلامت (حداکثر اکسیژن مصرفی، شاخص توده بدنی و درصد چربی بدن) صورت گرفته بود، وارد مطالعه شدند و همچنین مطالعاتی که دارای ابهامات و اطلاعات ناکافی در این زمینه بود از مطالعه خارج شدند.

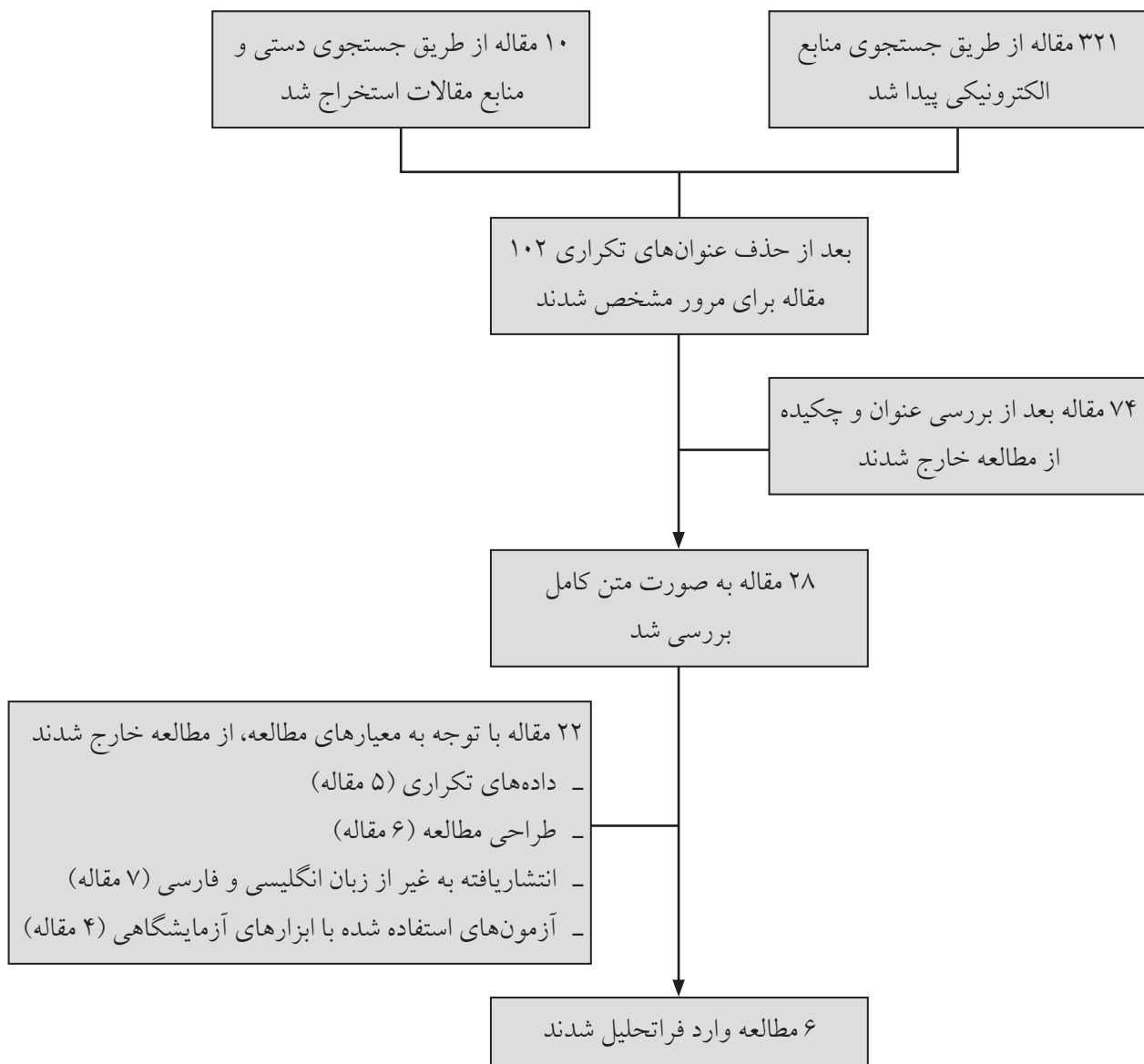
جدول ۱- مطالعات در مورد اثر گذاری تمرینات اینتروال شدید در افراد نظامی

محقق	سال	نمونه و جامعه مورد مطالعه	مدت و شدت تمرینات تناوبی	پروتکل تمرینی	نتیجه
مختار قنبرزاده (۲۰)	(۱۳۹۵)	افراد نظامی	شش هفته (سه روز در هفته) ۹۰ درصد ضربان قلب هدف	۳ ست پروتکل رست (۶ و هله ۳۵ متر با ۱۰ ثانیه استراحت بین هر و هله) با ۴ دقیقه استراحت بین هر ست در هفته اول و تا هفته ششم یک ست اضافه شد	افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی، توان و چابکی کاهش شاخص توده بدنی
نیکولاس و همکاران (۲۱)	(۲۰۱۵)	افسران نظامی	چهار هفته با شدت کم و زیاد (سه جلسه در هفته)	۴-۷ ست تست بورپی (با شدت حداکثر به مدت ۳۰ ثانیه) بعد ۴ دقیقه استراحت فعال. تعداد ست ها از هفته اول با ست ۴ شروع و به طوری که در هفته چهارم به ۷ ست رسید.	تاثیر معناداری بر حداکثر اکسیژن مصرفی نداشت تاثیر معناداری بر شاخص توده بدنی نداشت
نیکرو و باران چشمه (۲۲)	(۱۳۹۲)	دانشجویان نظامی افسری	هشت هفته (پنج جلسه در هفته) ۸۰-۸۵ ضربان قلب ذخیره	دویدن با مسافت‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ متر با استراحت بین ست‌ها و دوره‌ها	افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی کاهش شاخص‌های ترکیب بدنی
دیکس و همکاران (۲۳)	(۲۰۲۰)	افسران نظامی	چهار هفته هفته (دو جلسه در هفته) با شدت بالا	تمرینات تناوبی شدید با و بدن حمل بار با شدت بالا (تمرینات وزن بدن)	افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی
شیروانی و همکاران (۲۴)	(۲۰۲۲)	کارکنان ارتش	دوازده هفته (دو تا سه جلسه در هفته - های آخر) شدت متوسط تا شدید	تمرینات بر روی دوچرخه ثابت با شدت متوسط تا شدت بالا تمرینات با شدت بالا با نسبت کار به استراحت ۴ به ۱ به طوری که فعالیت با شدت ۳/۷ تا ۳/۹ قلب وات بر یلوگرم از وزن بدن و استراحت فعال با ۱/۲ تا ۱/۴ وات بر کیلوگرم از وزن بدن بود. همچنین تمرینات با شدت متوسط با ۲ تا ۲/۴ وات بر کیلوگرم از وزن بدن	افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی بهبود شاخص‌های عملکردی قلب
نگاسا و همکاران (۲۵)	(۲۰۲۰)	سربازان نظامی	۶ ماه تمرینات تناوبی شدید	تمرینات به دوره‌های ۳۰ دقیقه‌ای، مراحل متناوب فعالیت دویدن و فازهای استراحت فعال (پیاده روی) به مدت ۵ دقیقه در هر فاصله، با شدت کم تا متوسط و با تکرار سه بار	افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی کاهش فشار خون سیستولی، دیاستولی، ضربان قلب

روش تحلیل مقالات

برای متاآنالیز از اندازه اثر Hedges's g (نسبت تفاضل میانگین دو گروه به انحراف معیار وزنی آمیخته) استفاده شد. Heterogeneity بین مطالعات با استفاده از شاخص I^2 مورد بررسی قرار گرفت. اگر heterogeneity بالای ۵۰ درصد باشد از روش random effects model استفاده می‌شود و اگر زیر ۵۰ درصد باشد از روش fixed-effects model استفاده می‌شود. اریب انتشار مطالعات با استفاده از Egger's test مورد ارزیابی قرار گرفت. از نرم افزار Comprehensive Meta-Analysis version ۲.۰ برای بررسی تحلیل داده استفاده شد. فرایند انتخاب مطالعات در فلوچارت نشان داده شده است. با

جستجو در منابع الکترونیکی تعداد ۳۲۱ عنوان به دست آمد. جستجوی دستی و بررسی منابع مقالات تعداد ۱۰ عنوان دیگر به دست آمد. بعد از حذف عنوان‌های تکراری تعداد ۱۰۲ چکیده برای مرور مشخص شدند. بعد از بررسی عنوان و چکیده مقالات تعداد ۷۴ مقاله حذف شدند و ۲۸ مقاله برای مطالعه کل متن انتخاب شدند. بعد از بررسی کل متن مقالات، ۶ مقاله که به بررسی اثرات فیزیولوژیکی تمرینات ایتروال شدید بر سازگاری‌های مرتبط با برخی فاکتورهای سلامت در افراد نظامی پرداخته بودند، انتخاب شدند و نتایج آن‌ها گزارش شد. (شکل ۱)



شکل ۱- فلوچارت برای غربالگری مقالات

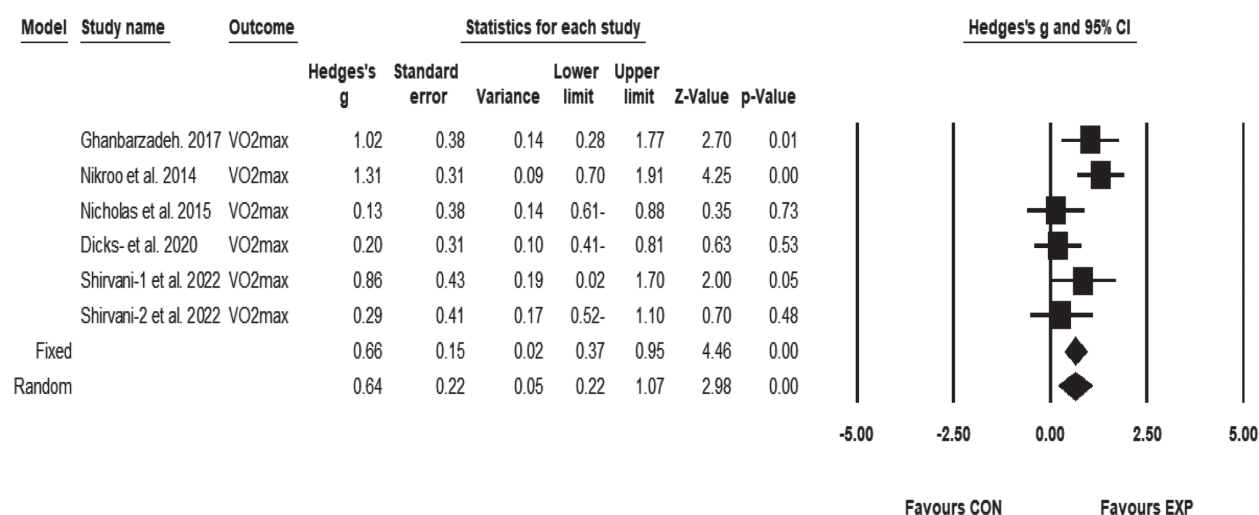
یافته‌ها

شدید بر شاخص توده بدن را نشان می‌دهد. شاخص ۱۲، ۸۴/۲۱ درصد ناهمگنی بین مطالعات را نشان می‌دهد، بنابراین از مدل Random effect meta analysis استفاده شد. اندازه اثر Hedges's g برنامه‌های تمرینی روی شاخص توده بدن، ۰/۸۱ با فاصله اطمینان ۰/۹۵٪ (۰/۵۸-۰/۰۵) است. نتایج فرا تحلیل نشان می‌دهد که تمرینات تناوبی شدید بر شاخص توده بدن تأثیر معنی‌داری دارد ($P=0/04$). همچنین Egger's test بین مطالعات ۰/۴۹ است که نشان می‌دهد اریبی انتشار بین مطالعات وجود ندارد.

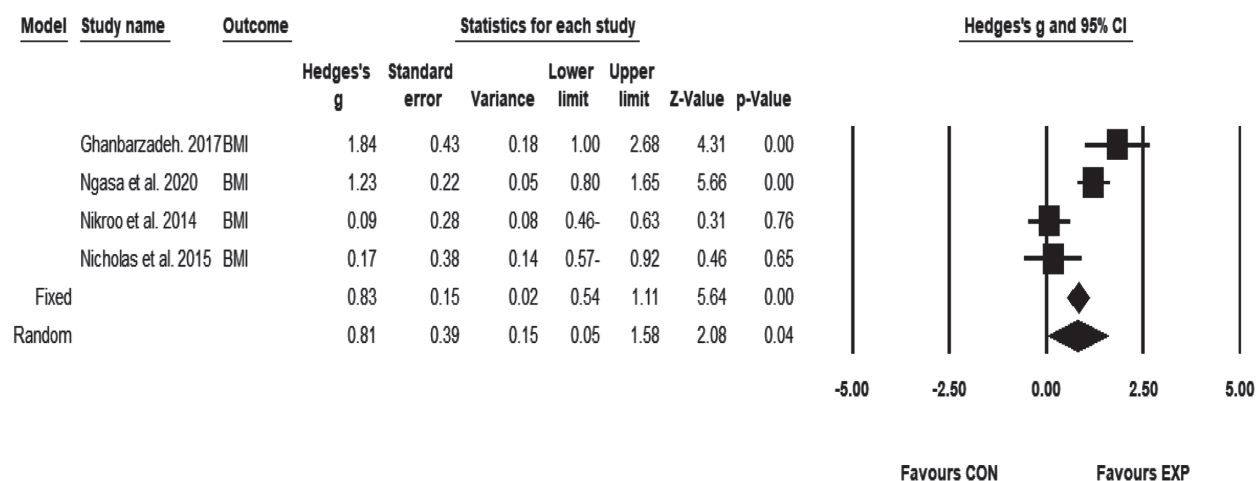
بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه متاآنالیز حاضر، اثر تمرینات تناوبی شدید بر افراد

شکل (۲) نتایج فرا تحلیل اثرات فیزیولوژیکی تمرینات تناوبی شدید بر حداکثر اکسیژن مصرفی را نشان می‌دهد. شاخص ۱۲، ۶۹/۷۳ درصد ناهمگنی بین مطالعات را نشان می‌دهد، بنابراین از مدل Random effect meta analysis استفاده شد. اندازه اثر Hedges's g برنامه‌های تمرینی روی حداکثر اکسیژن مصرفی، ۰/۶۴ با فاصله اطمینان ۰/۹۵٪ (۰/۲۲-۱/۷) است. نتایج فرا تحلیل نشان می‌دهد که تمرینات تناوبی شدید بر حداکثر اکسیژن مصرفی تأثیر معنی‌داری دارد ($P=0/001$). همچنین Egger's test بین مطالعات ۰/۷۳ است که نشان می‌دهد اریبی انتشار بین مطالعات وجود ندارد. شکل (۳) نتایج فرا تحلیل اثرات فیزیولوژیکی تمرینات تناوبی



شکل ۲- نتایج فرا تحلیل اثر تمرینات تناوبی شدید بر حداکثر اکسیژن مصرفی در افراد نظامی



شکل ۳- نتایج فرا تحلیل اثر تمرینات تناوبی شدید بر شاخص توده بدن در افراد نظامی

HIIT رخ می‌دهد که عاملی برای افزایش vo_{2max} است (۳۳، ۳۴). به طور کلی سازگاری و بهبود vo_{2max} بعد از مداخلات ورزشی به عوامل قلبی (افزایش حجم پایان دیاستولی، کسر تخلیه قلبی، کاهش مقاومت عروقی محیط، برون ده قلبی، افزایش حجم خون) افزایش ظرفیت هوازی عضلات اسکلتی از طریق افزایش جریان خون محیطی، دستگاه انرژی هوازی عضله و سازگاری عملکردی و ساختاری و افزایش توان اکسایشی عضلات اسکلتی ارتباط دارد (۲۰). مرور اثرگذاری HIIT در مطالعه حاضر نشان داد که تمرینات تناوبی شدید باعث کاهش معنادار درصد چربی بدن و شاخص توده بدنی در افراد نظامی می‌شود. در پی تمرینات تناوبی شدید اپی نفرین و نور اپی نفرین افزایش می‌یابد که به عنوان کاتالیزر باعث از دست دادن چربی می‌شوند (۳۵). تمرینات تناوبی شدید با فعال کردن گیرنده‌های بتا آدرنرژیک باعث لیپولیز در قسمت‌های مختلف از جمله چربی‌های زیر جلدی و عضلانی را موجب می‌شود (۳۶). از مسیرهای دیگر کاهش درصد چربی بدن و شاخص توده بدنی ناشی از تمرینات تناوبی شدید، مسیر تحریک $PGC-1\alpha$ عضلانی است که باعث افزایش ظرفیت اکسیداسیون چربی می‌شود (۲۸). همچنین زمان استراحت بین وهله‌های تمرینات تناوبی شدید اگر رفته رفته بین ست‌ها کمتر گردد، می‌تواند یکی از علل برای اکسیداسیون چربی‌ها باشد به طوری که سهم گلیکولیز برای تامین ATP کاهش یافته و در نتیجه اکسیداسیون هوازی افزایش می‌یابد (۲۰). مطالعه لینوسیر و همکاران در ارتباط با این موضوع نشان داد که سوخت و ساز هوازی در طی دوره‌های ریکاوری HIIT می‌تواند برای بازسازی کراتین فسفات و اکسیداسیون اسید لاکتیک نقش مهمی داشته باشد (۲۷، ۳۶). تمامی موارد اشاره شده نشان‌دهنده تمایل HIIT برای سوخت و ساز هوازی است (۲۰). بنابراین مطالب ذکر شده به عنوان عوامل مهم تاثیر گذار HIIT در کاهش درصد چربی بدن و شاخص توده بدنی می‌باشد. در کل برای شناسایی سازگاری‌های فیزیولوژیکی مرتبط با تمرینات تناوبی شدید نیازمند تحقیقات بیشتر می‌باشد.

تمرینات تناوبی شدید یکی از عوامل بهبوددهنده فاکتورهای سلامت حداکثر اکسیژن مصرفی و شاخص توده بدنی در افراد نظامی می‌باشد. پیشنهاد می‌شود از تمرینات تناوبی شدید در مراکز نظامی برای افزایش سلامتی و آمادگی مورد استفاده قرار گیرد.

نظامی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج متآنالیز می‌توان گفت که تمرینات با شدت بالا روش بهتری برای بهبود آمادگی قلبی تنفسی در افراد نظامی می‌باشد. نگاسا و همکاران (۲۰۲۰) اثر تمرینات تناوبی شدید به مدت شش ماه بر روی سربازان نظامی مورد بررسی قرار دادند که نتایج آن‌ها بهبود آمادگی قلبی و تنفسی را نشان داد (۲۵). از مکانیسم‌های سلولی تاثیر گذار تمرینات تناوبی شدید می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسایشی اشاره کرد که مطالعات لارسن و همکاران (۲۶) و گیبالا و همکاران (۲۷) تایید کننده این مکانیسم‌ها می‌باشد. لارسن و همکاران افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی را بعد از ۴ هفته تمرینات تناوبی شدید نشان دادند (۲۶، ۲۸). گیبالا و همکاران افزایش بافرینگ عضلات اسکلتی را بعد از تمرینات تناوبی شدید مشاهده کردند (۲۷) از طرفی افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی در مطالعه گیبالا و همکاران می‌تواند به عنوان افزایش‌دهنده بافرینگ عضلات اسکلتی مورد توجه قرار گیرد. از طرفی مکانیسم تاثیر گذار دیگر است. به دلیل شرایط هایپوکسی (کمبود اکسیژن) که در تمرینات تناوبی شدید ایجاد می‌شود، موجب افزایش سطح میوگلوبین شده و خود عاملی برای افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی می‌باشد (۲۸). همچنین تغییرات عوامل قلبی و عروقی (ضربان قلب، حجم ضربه‌ای، برون ده قلب) یکی از مهم‌ترین عوامل اثر گذار بر افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی بعد از تمرینات تناوبی شدید می‌باشد (۲۹). افزایش نقل و انتقال اکسیژن به عضلات اسکلتی ناشی از بهبود عواملی از جمله حجم ضربه‌ای، بهبود دانسیته مویرگی و میتوکندریایی است (۲۰).

همچنین مطالعات نشان داده است تمرینات تناوبی شدید به دلیل استرس فیزیولوژیکی بالا، الگوی بالای به کارگیری تارهای عضلانی نوع I و II و انقباض شدید عضلانی در طول تمرینات می‌شود که رابطه ATP/ADP را نامتعادل می‌کند و فعال‌سازی $PGC-1\alpha$ (فاکتوری برای افزایش بیوژنز میتوکندریایی) را افزایش می‌دهد (۳۰، ۳۱). افزایش $mRNA\ PGC-1\alpha$ بعد از یک جلسه تمرین شدید دوچرخه سواران تایید کننده این موضوع می‌باشد. که افزایش $PGC-1\alpha$ همراه با افزایش vo_{2max} مرتبط بوده است (۳۲).

از منظر متابولیسمی افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی در تمرینات تناوبی شدید، به افزایش تولید ATP می‌توان اشاره کرد (۳۳، ۳۴). افزایش تولید ATP توسط تجزیه فسفوکراتین و گلیکوزنولیز عضلانی در طی

References

- 1- Abdullah A, Liew S, Salim HS, Ng C, Chinna K. Health literacy research in Malaysia: A scoping review. *Sains Malaysiana*. 2020;49(5):1021-36.
- 2- Kang JJ, Yang W, Dermody G, Ghasemian M, Adibi S, Haskell-Dowland P. No soldiers left behind: an IoT-based low-power military mobile health system design. *IEEE access*. 2020;8:201498-515.
- 3- Richardson NM, Lamson AL, Smith M, Eagan SM, Zvonkovic AM, Jensen J. Defining moral injury among military populations: A systematic review. *Journal of Traumatic Stress*. 2020;33(4):575-86.
- 4- Zheng D, Liwinski T, Elinav E. Interaction between microbiota and immunity in health and disease. *Cell research*. 2020;30(6):492-506.
- 5- Netea MG, Domínguez-Andrés J, Barreiro LB, Chavakis T, Divangahi M, Fuchs E, et al. Defining trained immunity and its role in health and disease. *Nature Reviews Immunology*. 2020;20(6):375-88.
- 6- Saltiel AR. Insulin signaling in health and disease. *The Journal of clinical investigation*. 2021;131(1).
- 7- Webster DE, Tummalacherla M, Higgins M, Wing D, Ashley E, Kelly VE, et al. Smartphone-Based VO₂max Measurement With Heart Snapshot in Clinical and Real-world Settings With a Diverse Population: Validation Study. *JMIR mHealth and uHealth*. 2021;9(6):e26006.
- 8- Janssen JA, Varewijck AJ, Brugts MP. The insulin-like growth factor-I receptor stimulating activity (IRSA) in health and disease. *Growth Hormone & IGF Research*. 2019;48:16-28.
- 9- Franchi MV, Longo S, Mallinson J, Quinlan JI, Taylor T, Greenhaff PL, et al. Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2018;28(3):846-53.
- 10- Ahmed S, Uddin R, Ziviani J, Khan A. Global prevalence of physical activity, sedentary behaviour, and sleep of immigrant children: a systematic review. *Journal of Racial and Ethnic Health Disparities*. 2021;8(6):1364-76.
- 11- Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British journal of sports medicine*. 2020;54(24):1451-62.
- 12- Cassidy S, Thoma C, Houghton D, Trenell MI. High-intensity interval training: a review of its impact on glucose control and cardiometabolic health. *Diabetologia*. 2017;60(1):7-23.
- 13- Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports medicine*. 2013;43(5):313-38.
- 14- Bishop DJ, Botella J, Genders AJ, Lee MJ, Saner NJ, Kuang J, et al. High-intensity exercise and mitochondrial biogenesis: current controversies and future research directions. *Physiology*. 2019;34(1):56-70.
- 15- MacInnis MJ, Gibala MJ. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of physiology*. 2017;595(9):2915-30.
- 16- Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology*. 2012;590(5):1077-84.
- 17- Tornero-Aguilera JF, Pelarigo JG, Clemente-Suárez VJ. Psychophysiological intervention to improve preparedness in military special operations forces. *Aerospace medicine and human performance*. 2019;90(11):953-8.
- 18- Roy M, Williams SM, Brown RC, Meredith-Jones KA, Osborne H, Jospe M, et al. HIIT in the real world: outcomes from a 12-month intervention in overweight adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(9):1818-26.
- 19- Daussin FN, Zoll J, Dufour SP, Ponsot E, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, et al. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2008;295(1):R264-R72.
- 20- Ghanbarzadeh M. The effect of an intensity interval training (Hit) on the fitness and body composition of the military personnel. *Journal Mil Med*. 2017;18(4):367-74.
- 21- Gist NH, Freese EC, Ryan TE, Cureton KJ. Effects of low-volume, high-intensity whole-body calisthenics on army ROTC cadets. *Military medicine*. 2015;180(5):492-8.
- 22- Nikroo H, Barancheshme MA. The comparison of effects of aerobic interval and continuous training program on maximal oxygen consumption, body mass index, and body fat percentage in officer students. *Journal Mil Med*. 2014;15(4):245-51.
- 23- Dicks ND, Mahoney SJ, Kramer M, Lyman KJ, Christensen BK, Pettitt RW, et al. Increased velocity at VO₂max and load carriage performance in army ROTC cadets: Prescription using the critical velocity concept. *Ergonomics*. 2021;64(6):733-43.
- 24- Shirvani H, Farahani MM, Ahmadzadeh M, Dinca AR. Comparison of Three-Month HIIT and CMT Effects on Left Ventricle Echocardiography Observations in Male Employees. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(16):4795.
- 25- Ngasa K, KUSUAYÍ G, Gustave M, Claude N, Celestin M, Monique N, et al. Effects of interval training on the morpho-physiological parameters of hypertensive soldiers. *Turkish Journal of Kinesiology*. 2021;7(1):17-21.
- 26- Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Medicine and science in sports and*

- exercise. 2002;34(11):1801-7.
- 27- Gibala MJ, Little JP, Van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of physiology*. 2006;575(3):901-11.
- 28- Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports medicine*. 2002;32(1):53-73.
- 29- FALLAHI A, Gaeini A, Kordi MR, Nejatian M. The comparison effects of selected aerobic continues and interval exercise program on functional capacity of post coronary artery bypass graft surgery patients. 2011.
- 30- Tjønnå AE, Lee SJ, Rognmo Ø, Stølen TO, Bye A, Haram PM, Loennechen JP, Al-Share QY, Skogvoll E, Slørdahl SA, Kemi OJ. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation*. 2008;118(4):346-54.
- 31- Niklas P, Li W, Jens W, Michail T, Kent S. Mitochondrial gene expression in elite cyclists: effects of high-intensity interval exercise. *European journal of applied physiology*. 2010;110(3):597-606.
- 32- Sun S, Zhang H, Kong Z, Shi Q, Tong TK, Nie J. Twelve weeks of low volume sprint interval training improves cardio-metabolic health outcomes in overweight females. *Journal of sports sciences*. 2019;37(11):1257-64.
- 33- Boutcher SH. High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of obesity*. 2011;2011.
- 34- Trump ME, Heigenhauser G, Putman C, Spriet LL. Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling. *Journal of Applied Physiology*. 1996;80(5):1574-80.
- 35- Maillard F. Influence des modalités d'exercices sur le microbiote intestinal et la masse grasse abdominale: interrelation intestin/tissu adipeux sur des modèles de pathologies inflammatoires: Université Clermont Auvergne; 2018.
- 36- Rodrigues A, Prímola-Gomes T, Peluzio M, Hermsdorff H, Natali A. Aerobic exercise and lipolysis: A review of the β -adrenergic signaling pathways in adipose tissue. *Science & Sports*. 2021;36(1):16-26.