

اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم غذایی با محدودیت کربوهیدرات بر ترکیب بدن و آمادگی هوازی در بزرگسالان با وزن طبیعی، دارای اضافه وزن و چاق: یک مرور نظام مند و فراتحلیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

خلاصه

مقدمه: شیوع چاقی و اضافه وزن در بزرگسالان روبه افزایش است که تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) و رژیم غذایی با محدودیت کربوهیدرات (CRD) ممکن است مداخله مؤثری برای بهبود ترکیب بدن و حداکثر اکسیژن مصرفی باشد. از این رو، هدف مطالعه حاضر بررسی اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم غذایی با محدودیت کربوهیدرات بر ترکیب بدن و آمادگی هوازی در بزرگسالان با وزن طبیعی، دارای اضافه وزن و چاق است.

روش کار: جستجوی جامع در پایگاه‌های اطلاعاتی پابمد، وب آو ساینس، جهاد دانشگاهی، مگیران و گوگل اسکولار برای مقالات منتشر شده تا ژانویه ۲۰۲۳ انجام شد. فراتحلیل برای بررسی اثر ترکیبی HIIT و CRD بر ترکیب بدن بزرگسالان انجام شد. تفاوت میانگین استاندارد شده (SMD) یا تفاوت میانگین وزنی (WMD) و فاصله اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از مدل اثر تصادفی محاسبه شد.

نتایج: نتایج ۱۳ مطالعه با ۱۷۳ آزمودنی نشان داد که HIIT و CRD سبب کاهش معنادار وزن بدن [BMI، $P=0/001$ ، $-1/14$]، درصد چربی بدن [$P=0/001$ ، $-3/18$]، توده چربی بدن [$P=0/001$ ، $-2/94$] در بزرگسالان با وزن طبیعی، دارای اضافه وزن و چاق می‌شود. اما این دو مداخله باعث تغییر توده عضلانی [$P=0/8$ ، $-0/1$] نمی‌شود.

نتیجه گیری: استفاده از رژیم غذایی کم کربوهیدرات به همراه تمرینات تناوبی با شدت بالا می‌تواند منجر به کاهش وزن و بهبود ترکیب بدن در بزرگسالان با وزن طبیعی، دارای اضافه وزن و چاق شود. همچنین این دو مداخله به صورت همزمان می‌تواند بر عملکرد هوازی اثرات بهینه‌ای داشته باشد.

کلمات کلیدی: تمرین تناوبی با شدت بالا، رژیم کم کربوهیدرات، ترکیب بدنی، آمادگی

هوازی

بی‌نوشته: این مطالعه فاقد تضاد منافع می‌باشد.

فاطمه کاظمی نسب^{۱*}

نسیم بهزادنژاد^۲

^۱ گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

^۲ گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

Email: soliman.ahmadi@sbmu.ac.ir

مقدمه

تغذیه نامناسب و سبک زندگی غیرفعال از علل افزایش چاقی در دهه‌های اخیر است که می‌تواند باعث بروز سایر اختلالات مانند هیپرگلیسمی، دیس لیپیدمی، کمبود انسولین، بیماری‌های قلبی عروقی، چربی خون و سرطان در بدن شود. از استراتژی‌های درمان چاقی می‌توان به مداخلات سبک زندگی، انجام تمرینات ورزشی و مدیریت رژیم غذایی اشاره کرد (۱، ۲).

استفاده از دستورالعمل‌های غذایی متعارف برای کاهش وزن (کم چرب، کم کربوهیدرات و کم کالری) به حداقل رسیده و طرفداران رژیم‌های کم کربوهیدرات (LCs)^۱ افزایش یافته است. علت محبوبیت این نوع رژیم‌ها این است که رژیم‌های LC می‌تواند باعث کاهش وزن بیشتری در افراد دارای اضافه وزن شود (۳). در رژیم‌های غذایی کم کربوهیدرات-پرچرب (LCHF)^۲، سوخت اصلی عضلات چربی است و در این شرایط سطوح کتون در گردش بدن در سطح بالایی قرار می‌گیرد. در مطالعات مختلف گزارش شده است که کاهش وزن و کاهش توده چربی (FM)^۳ بهتری با استفاده رژیم کم کربوهیدرات نسبت به رژیم‌های دیگر تجربه شده است. از مزایای دیگر رژیم LCHF افزایش ظرفیت هوازی است. زیرا استفاده از این نوع رژیم غذایی، مصرف گلیکوژن عضلانی را کاهش داده و ظرفیت اکسیداسیون چربی درون‌زا را افزایش می‌دهد. در نتیجه زمان رسیدن به خستگی افزایش و VO₂max بهبود می‌یابد. علاوه بر اثرات مفید این رژیم، معایب گوناگونی از جمله یبوست، بوی بددهان، گرفتگی عضلات، سردرد، اسهال، ضعف عضلانی گزارش شده است (۴). سان^۴ و همکاران در سال ۲۰۲۱ گزارش کردند که استفاده از این رژیم به دلیل کاهش دسترسی به گلوکز خون، ذخایر گلیکوژن و آنزیم‌های گلیکولیتیک عضلانی کاهش یافته و فعالیت گلوکونئوزنز کبدی افزایش می‌یابد. در این شرایط کاهش توده

عضلانی، آتروفی عضلانی و احتمالاً کاهش عملکرد قلبی تنفسی ایجاد می‌شود (۱).

یکی از روش‌های تمرینی موثر برای افزایش عملکرد قلبی تنفسی، متابولیسمی و عصبی عضلانی تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT)^۵ است. این روش تمرینی به گونه‌ای است که با مدت زمان کوتاهی نسبت به تمرینات تداومی با شدت متوسط (MICT)^۶ باعث صرفه جویی در وقت ورزشکار می‌شود. دوره‌های کوتاه مدت تمرینی با استراحت بین ست‌ها از ویژگی‌های این روش تمرینی محسوب می‌شود (۵). افزایش مصرف انرژی در نتیجه انقباضات عضلانی ناشی از تمرینات HIIT متابولیسم چربی در بافت عضلانی را افزایش می‌دهد و میزان بیان ژن عوامل مرتبط با رشد عضلانی را بالا می‌برد (۴). تحقیقات جدید نشان داده اند که تمرینات HIIT روشی ایمن و موثر است که منجر به افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی (VO₂max)^۷، افزایش آستانه لاکتات (LT)^۸ و بهبود سازگاری قلبی-عروقی ناشی از افزایش ظرفیت میتوکندری عضلانی می‌شود (۶).

از سویی دیگر، کاهش ظرفیت هوازی در افراد چاق و مبتلا به دیابت نوع دو مشاهده شده است که پایین بودن ظرفیت هوازی می‌تواند به ایجاد مقاومت به انسولین کمک کند. استفاده از یک رژیم کم کربوهیدرات، در دسترس بودن کربوهیدرات (اگزوزن) را کاهش می‌دهد. همچنین از طریق انجام تمرینات تناوبی با شدت بالا کربوهیدرات درون‌زا نیز کاهش می‌یابد که ترکیب این دو حالت و قرار گرفتن در شرایط کم کربوهیدرات ممکن است به سازگاری تمرینی مانند افزایش ظرفیت هوازی منجر شود. در واقع تمرین در حالت کمبود گلیکوژن عضلانی، جذب گلوکز را افزایش می‌دهد. همچنین انجام تمرینات HIIT با فعال کردن مسیر سیگنالینگ AMPK^۹ را فعال کرده و به طور مستقیم بر افزایش بیان GLUT4^{۱۰} و بیوژنز میتوکندری تاثیر می‌گذارد

6 Moderate Intensity Continuous Training

7 Maximal oxygen uptake

8 Lactate Threshold

9 AMP kinase

10 Glucose Transferase 4

1 Low Carbohydrates

2 Low Carbohydrates High Fat

3 Fat mass

4 Sun

5 High-intensity interval training

بدنی"، "درصد چربی بدن"، "توده چربی"، "توده بدون چربی"، "توده عضلانی"، "شاخص توده بدنی"، "رژیم کم کربوهیدرات"، "محدودیت کالری"، "رژیم کتوزیک" و "رژیم پرچرب" تا خرداد ۱۴۰۲ انجام شد. همچنین با استفاده از کلمات انگلیسی "High intensity interval training"، "high intensity interval exercise"، "high intensity intermittent training"، "Aerobic intensity intermittent exercise"، "Aerobic interval training"، "interval exercise"، "sprint interval exercise"، "sprint interval training"، "SIT، HIIT، "ketogenic"، "ketogenic diet"، "ketosis"، "ketone bodies"، "ketone bodies"، "high-fat diet"، "ketones"، "ketone bodies"، "low carbohydrate diet"، "very-low carbohydrate diet"، "carbohydrate-restricted، carbohydrate diet"، "adiposity"، "Body fat"، "weight loss"، "diet"، "anthropometric"، "body composition"، "fat"، "visceral fat"، "abdominal fat"، "indices"، "adipose"، "Maximal oxygen uptake"، "mass"، "aerobic"، "peak oxygen uptake"، "tissue"، "fitness"، "cardiorespiratory fitness" و "VO_{2max}" انجام شد. همچنین، جستجو به روش دستی در گوگل اسکولار^۹ انجام شد. جستجو پایگاه‌های اطلاعاتی توسط دو محقق به صورت مستقل انجام شد.

معیارهای ورود و خروج از پژوهش

برای انجام پژوهش فراتحلیل، مقالات با مشخصات زیر وارد مطالعه شدند: ۱- مطالعات انجام شده بر روی بزرگسالان؛ ۲- مطالعات منتشر شده به زبان انگلیسی و فارسی؛ ۳- مطالعات بررسی کننده اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات؛ ۴- مطالعات اندازه‌گیری کننده

با توجه به مطالب ارائه شده، استفاده از رژیم LCHF و تمرینات ورزشی به طور همزمان می‌تواند اثرات بهتری را بر سلامتی فرد داشته باشد. از سویی دیگر هرچند نتایج هر یک از این مداخله‌ها به تنهایی باعث کاهش وزن و بهبود سلامت می‌شوند، اما تعداد نتایج مطالعات ترکیبی هر دو مداخله بر فاکتورهای سلامتی بدن محدود هستند (۲). همچنین تاثیر استفاده از LCHF بر عملکرد فیزیکی ورزشکاران هنوز مورد بحث است، زیرا برخی مطالعات کاهش یا بدون تغییر بودن VO_{2max} را پس از استفاده از این نوع رژیم غذایی گزارش کرده اند (۴). در مطالعه فراتحلیل اشتري و همکاران (۲۰۲۲) کاهش وزن چربی بدن و BMI به دنبال رژیم کتوزیک (KD)^۱ و تمرین مقاومتی گزارش شده است (۸). همچنین در مطالعه فراتحلیل پیشین تاثیر ترکیبی هر دو مداخله LCHF و HIIT باعث کاهش چربی بدن و بهبود ظرفیت هوازی شد (۴). با این حال در مطالعه فراتحلیل دیگر عدم تاثیر مثبت یا منفی رژیم کتوزیک بر عملکرد ورزشی افراد گزارش شده است (۹). بنابراین، هدف فراتحلیل حاضر تاثیر ترکیبی رژیم غذایی با محدودیت کربوهیدرات و تمرین تناوبی با شدت بالا بر ترکیب بدن و آمادگی هوازی در بزرگسالان دارای وزن طبیعی، اضافه وزن و چاق است.

روش کار

این پژوهش یک مطالعه مرور سیستماتیک-فراتحلیل است که بر اساس دستورالعمل کاکرین^۲ و PRISMA^۳ انجام شد. (۱۰، ۱۱).

روش جستجوی مقالات

جستجو برای مقالات انگلیسی در پایگاه‌های اطلاعاتی وب آو ساینس^۴، اسکوپوس^۵ و پایمد^۶ بدون محدود کردن سال انتشار تا ژانویه سال ۲۰۲۳ انجام شد. همچنین جستجو برای مقالات فارسی در پایگاه‌های داده مگیران^۷ و مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی^۸ با استفاده از کلمات کلیدی "تمرین تناوبی با شدت بالا"، "تمرین اینتروال"، "تمرین تناوبی سرعتی"، "ترکیب

⁵ Scopus

⁶ PubMed

⁷ Magiran

⁸ SID

⁹ Google scholar

¹ Ketogenic diet

² Cochrane

³ Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

⁴ Web of science

استاندارد شده (SMD) و با فاصله اطمینان ۹۵ درصد (CI) و با استفاده از مدل اثر تصادفی (Random) محاسبه شد. برای تعیین ناهمگونی (عدم تجانس) مطالعات، از آزمون I^2 استفاده شد که مقدار ناهمگونی طبق دستورالعمل کوکران براساس کمتر از ۲۵ درصد (ناهمگونی خفیف)، بیشتر از ۲۵ درصد (ناهمگونی کم)، بیشتر از ۵۰ درصد (ناهمگونی متوسط) و بیشتر از ۷۵ درصد (ناهمگونی بالا) تفسیر شد (۱۳). در صورت مشاهده ناهمگونی، با استفاده از تحلیل حساسیت^۴ از طریق روش خارج کردن یک به یک مطالعات^۵ با لحاظ کردن I^2 کمتر از ۵۰ به عنوان ملاک انجام شد (۱۴). با استفاده از تفسیر بصری فونل پلات، سوگیری انتشار بررسی شد که در صورت مشاهده سوگیری، تست Egger به عنوان یک تست تعیین کننده ثانویه استفاده شد که در آن $p=0/1$ به عنوان وجود سوگیری انتشار معنی دار در نظر گرفته شد (۱۵). آزمون‌های آماری با استفاده از نرم افزار CMA2 انجام شد.

بررسی کیفیت مقالات

ارزیابی کیفیت مطالعات با استفاده از چک لیست ۷ سوالی Pedro انجام شد (۱۶). معیارهای ارزیابی شامل موارد زیر بود:

- ۱- مشخص بودن ضوابط واجد شرایط بودن آزمودنی‌ها، ۲- اختصاص شرکت کنندگان به طور تصادفی به گروه‌های مختلف، ۳- وجود ارزیابی یکسو کور برای متغیر اصلی پژوهش (Blinding of all assessors)، ۴- خروج کمتر از ۱۵ درصد شرکت کنندگان از پژوهش، ۵- انجام تجزیه و تحلیل به صورت Intention to treat (ITT)، ۶- وجود گزارش تفاوت آماری بین پیش آزمون و پس آزمون برای متغیر اصلی پژوهش، ۷- وجود گزارش میانگین، انحراف معیار و میزان معناداری (P value). به تمام سؤالات چک لیست Pedro، با دو گزینه‌ی بله ✓ و یا خیر × پاسخ داده شد. امتیاز حداقل صفر و حداکثر ۷ بود که در آن ارزش عددی بالاتر، نمایانگر کیفیت بالاتر مطالعه بود (جدول ۲).

نتایج

فاکتورهای ترکیب بدن (وزن بدن، شاخص توده بدنی، درصد چربی بدن، توده چربی بدن (kg) و توده عضلانی (kg)) و حداکثر اکسیژن مصرفی بود. ۵- مطالعات کارآزمایی بالینی تصادفی سازی شده (RCT) و مطالعات غیرتصادفی شده (NRS) و مطالعات متقاطع (Crossover). معیارهای خروج شامل پایان نامه‌ها، مقالات در همایش‌ها و مطالعاتی که بر روی حیوانات انجام شده بود. همچنین مطالعاتی که اثر یک جلسه تمرین ورزشی حاد را سنجیده بودند، از مطالعه فراتحلیل حاضر خارج شدند. بررسی اولیه مقالات به صورت مستقل توسط دو پژوهشگر انجام شد.

استخراج داده‌ها

متن کامل تمام مقالات وارد شده بررسی شدند و نهایتاً داده‌های وزن بدن، شاخص توده بدنی، درصد چربی بدن، توده چربی بدن (kg)، توده عضلانی (kg) و حداکثر اکسیژن مصرفی توسط دو نویسنده به صورت مستقل استخراج شد. اطلاعات مربوط به نوع مطالعه و کشور، نویسنده اول، سال انتشار، تعداد نمونه در هر گروه، متغیرهای پژوهش، ویژگی‌های آزمودنی‌ها شامل: وضعیت سلامتی، سن، شاخص توده بدنی (BMI)، جنسیت، پروتکل تمرین ورزشی (نوع تمرین ورزشی، شدت و مدت هر جلسه تمرین، تعداد جلسات در هفته و مدت کل تمرین) و مداخله رژیم غذایی با محدودیت کربوهیدرات بررسی و استخراج شد. برای مطالعاتی که داده‌ها به صورت نمودار گزارش شده بود، استخراج داده‌ها با استفاده از GetData از نمودار مقالات صورت گرفت. همچنین با استفاده از خطای استاندارد میانگین (SEM)، انحراف استاندارد (SD) تخمین زده شد (۱۲).

فرا تحلیل

فرا تحلیل حاضر برای بررسی اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر فاکتورهای ترکیب بدنی و آمادگی هوازی در بزرگسالان انجام شد. برای این منظور، برای اندازه اثر از تفاوت میانگین وزنی (WMD^۳)، تفاوت میانگین

^۴ Sensitivity analysis

^۵ Leave one-out method

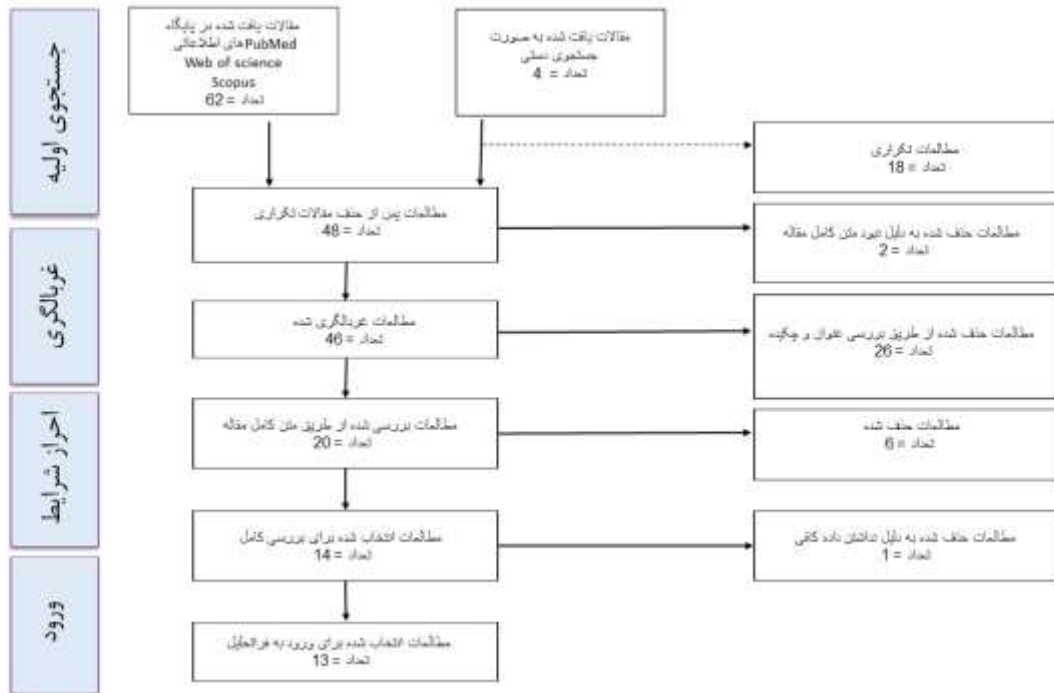
^۱ Randomized control trial

^۲ Non-randomized studies

^۳ Weighted mean differences

مطالعه وارد فراتحلیل حاضر شدند (شکل ۱). ۱۵ مداخله برای متغیر وزن بدن، ۱۵ مداخله برای متغیر BMI، ۵ مداخله برای درصد چربی بدن، ۵ مداخله برای توده عضلانی و ۹ مداخله برای حداکثر اکسیژن مصرفی وجود داشت.

بر اساس جستجو در پایگاه‌های اطلاعات علمی تا ماه می ۲۰۲۳، ۶۶ مقاله یافت شد. پس از حذف مقالات تکراری (۱۸ مقاله)، و پس از بررسی عناوین و چکیده مقالات، در نهایت ۴۶ مقاله برای ارزیابی متن کامل انتخاب شدند که پس از بررسی متن کامل مقالات، ۳۳ مقاله از مطالعه حاضر خارج شدند. در نهایت، ۱۳



شکل ۱- دیاگرام جستجو

یک مطالعه دارای آزمودنی دیابت نوع دو و سایر مطالعات شرکت کنندگان دارای اضافه وزن، چاق یا وزن طبیعی بودند.

ویژگی پروتکل‌های تمرین ورزشی و رژیم با محدودیت کربوهیدرات

۱۳ مطالعه وارد مطالعه فراتحلیل حاضر شدند. تعداد جلسات تمرین ۲-۵ جلسه در هفته و شدت این تمرینات بالا (۷۵-۹۰ درصد حداکثر ضربان قلب) بود. رژیم غذایی شامل رژیم با محدودیت کربوهیدرات بود که شامل رژیم کم کربوهیدرات (۱۰ درصد کیلوکالری از کربوهیدرات، ۲۰-۲۵ درصد کیلوکالری از پروتئین و ۶۵-۷۰ درصد کیلوکالری از چربی) و رژیم با کربوهیدرات متوسط (۲۰-۳۰ درصد کیلوکالری از کربوهیدرات، ۱۰-۳۵ درصد کیلوکالری از پروتئین و ۴۵-۶۰ درصد کیلوکالری از چربی) بود. حداقل مدت مداخله ۲ هفته (۷) و حداکثر ۲۴ هفته (۱۹) بود.

ویژگی آزمودنی‌ها

۱۷۳ آزمودنی وارد فراتحلیل حاضر شدند که همه آزمودنی‌ها، بزرگسالان سالم، دارای اضافه وزن، چاق، سندرم متابولیک و دیابت نوع دو بودند. آزمودنی‌ها با رده سنی ۱۸-۶۰ سال و BMI بین ۲۴/۸-۳۴/۹ کیلوگرم بر مترمربع بودند. تمام آزمودنی‌ها به صورت همزمان تحت تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بودند (جدول ۱). تعداد آزمودنی‌های هر مطالعه در محدوده ۵ (۱۷) و ۲۵ (۱۸) بودند. از بین ۱۳ مطالعه، ۹۴ آزمودنی زن، ۴۰ آزمودنی مرد بودند و در ۴ مطالعه ۲۷ آزمودنی مرد و زن گزارش شدند و یک مطالعه با ۱۲ آزمودنی، جنسیت آزمودنی را ارائه نکرده است. ۲ مطالعه دارای آزمودنی با وزن طبیعی، ۳ مطالعه آزمودنی دارای اضافه وزن و ۵ مطالعه آزمودنی چاق داشتند و ۳ مطالعه BMI گزارش نکردند. در بین تمام مطالعات، یک مطالعه دارای آزمودنی با سندرم متابولیک و

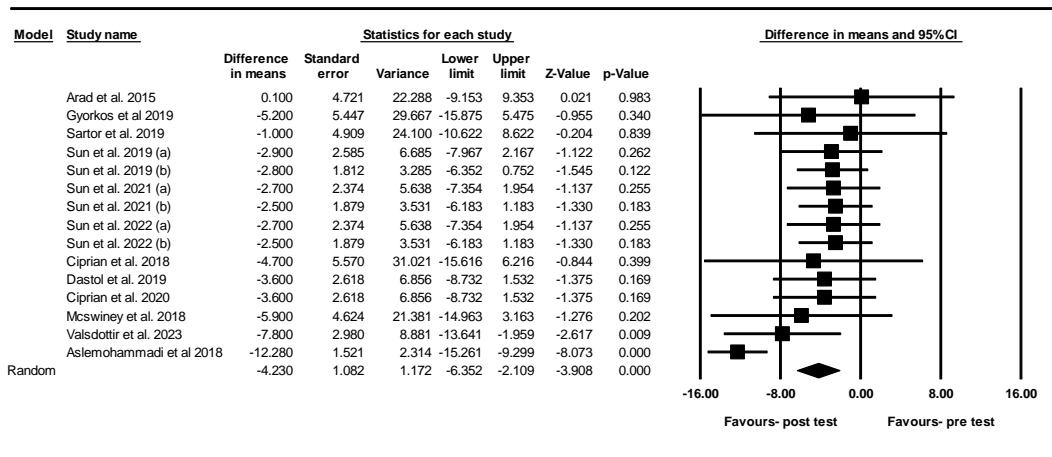
کیفیت مطالعات

نتایج بررسی کیفیت مقالات با استفاده از Pedro نشان داد که حداقل امتیاز کیفیت مقالات ۴ و حداکثر امتیاز ۶ بود (جدول ۲).

نتایج فراتحلیل

اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر وزن بدن

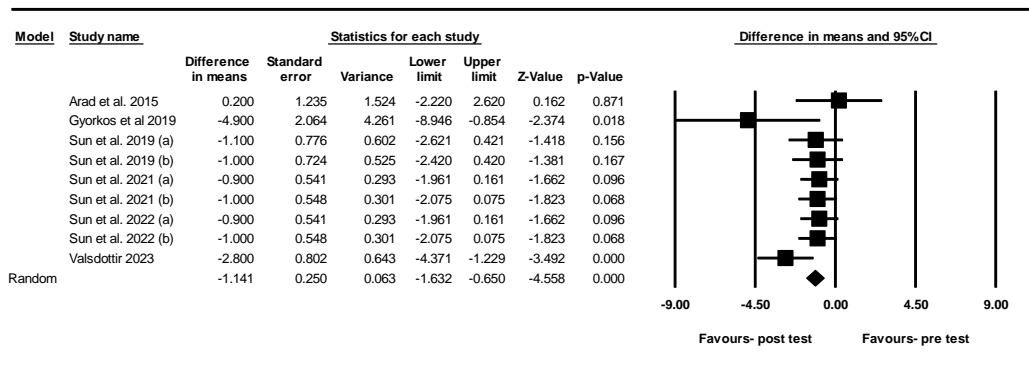
آنالیز داده‌های ۱۵ مداخله با استفاده از مدل اثر تصادفی نشان داد که تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات سبب کاهش معنادار وزن بدن [P=۰/۰۰۱، (۶/۳۵- الی ۲/۱-) = -۴/۲۳ WMD] در افراد بزرگسال می‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I² ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی بالایی وجود دارد (I²=۵۸/۴۲، P=۰/۰۰۲).



شکل ۲- نمودار انباشت (Forest plot). اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر وزن بدن در بزرگسالان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن و چاق

کاهش معنادار BMI [P=۰/۰۰۱، (۱/۶۳- الی ۰/۶۵-) = -۱/۱۴ WMD] در افراد بزرگسال می‌شود (شکل ۳). با استفاده از آزمون I² ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (I²=۱۴/۳۴، P=۰/۳).

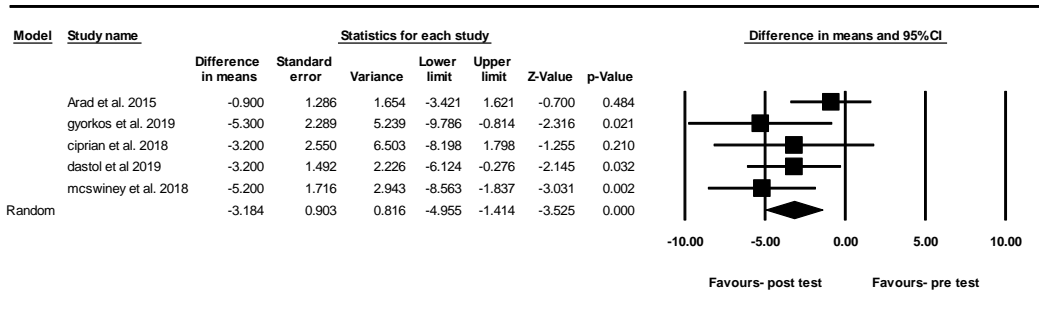
اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر شاخص توده بدنی
آنالیز داده‌های ۱۵ مداخله با استفاده از مدل اثر تصادفی نشان داد که تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات سبب



شکل ۳- نمودار انباشت (Forest plot). اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر BMI در بزرگسالان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن و چاق

کاهش معنادار درصد چربی بدن [$P=0/001$ ، $(-4/95)$ الی $(-1/41)$]
 در افراد بزرگسال می‌شود (شکل ۴). با استفاده از
 آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود
 ندارد ($P=0/2$ ، $I^2=25/13$).

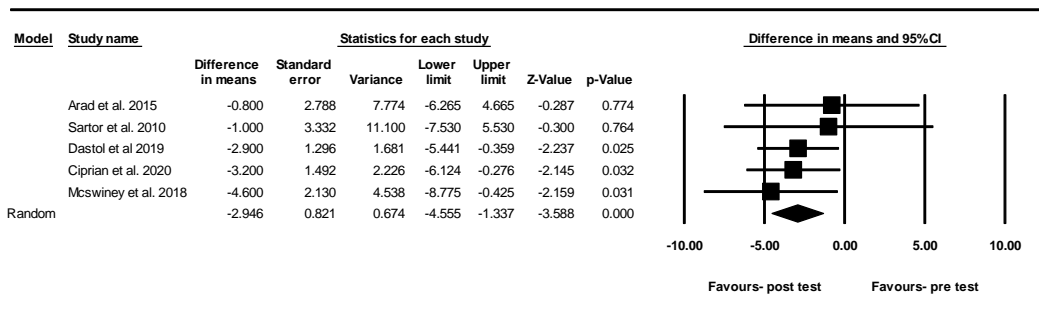
اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر درصد چربی بدن
 آنالیز داده‌های ۵ مداخله با استفاده از مدل اثر تصادفی نشان داد که
 تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات سبب



شکل ۴- نمودار انباشت (Forest plot). اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر درصد چربی بدن در بزرگسالان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن و چاق

کاهش معنادار درصد چربی بدن [$P=0/001$ ، $(-4/55)$ الی $(-1/33)$]
 در افراد بزرگسال می‌شود (شکل ۵). با استفاده از
 آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود
 ندارد ($P=0/8$ ، $I^2=00/00$).

اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر توده چربی بدن
 آنالیز داده‌های ۵ مداخله با استفاده از مدل اثر تصادفی نشان داد که
 تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات سبب



شکل ۵- نمودار انباشت (Forest plot). اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر توده چربی بدن در بزرگسالان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن و چاق

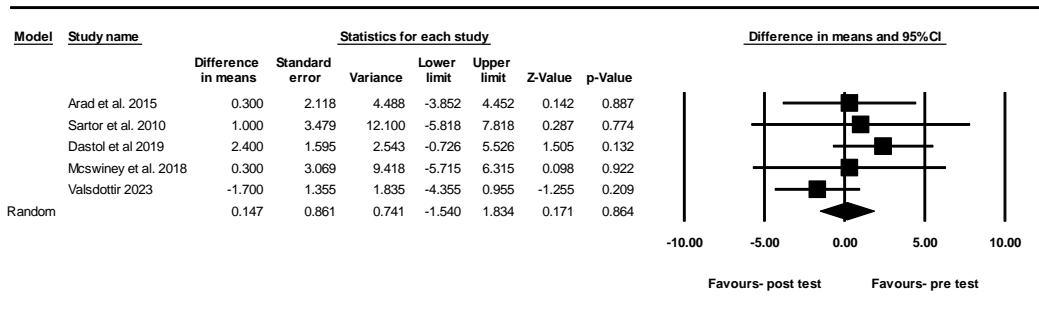
I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد
 ($P=0/4$ ، $I^2=00/00$).

اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر حداکثر اکسیژن مصرفی
 آنالیز داده‌های ۹ مداخله با استفاده از مدل اثر تصادفی نشان داد که
 تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات سبب

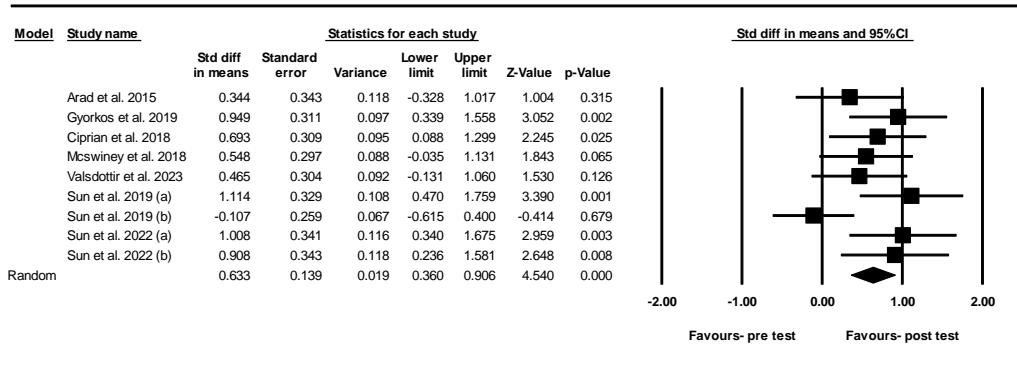
اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر توده عضلانی بدن
 آنالیز داده‌های ۵ مداخله با استفاده از مدل اثر تصادفی نشان داد که
 تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات سبب
 تغییر معنادار توده عضلانی بدن [$P=0/8$ ، $(-1/54)$ الی $(1/83)$]
 در افراد بزرگسال نمی‌شود (شکل ۵). با استفاده از آزمون

گیاهخواری بر وزن بدن، شاخص توده بدنی، درصد چربی بدن، توده چربی، توده عضلانی و حداکثر اکسیژن مصرفی، جهت اندازه اثر و P value تغییری نکرد.

افزایش معنادار حداکثر اکسیژن مصرفی [$P=0/001$ ، (۰/۳) الی (۰/۹)] در افراد بزرگسال می‌شود (شکل ۵). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد ($I^2=43/96$ ، $P=0/07$). همچنین نتایج تحلیل حساسیت نشان داد، با استفاده از حذف تک به تک مطالعات، میزان اندازه اثر ترکیبی تمرین هوازی و رژیم



شکل ۶- نمودار انباشت (Forest plot). اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر توده عضلانی بدن در بزرگسالان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن و چاق



شکل ۷- نمودار انباشت (Forest plot). اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم با محدودیت کربوهیدرات بر حداکثر اکسیژن مصرفی در بزرگسالان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن و چاق

توده چربی بدن ($P=0/5$) و توده عضلانی ($P=0/6$) وجود سوگیری معنادار برای حداکثر اکسیژن مصرفی ($P=0/01$) بود.

سوگیری انتشار نتیجه تست آزمون Egger نشان‌دهنده عدم سوگیری معنادار برای وزن بدن ($P=0/2$)، BMI ($P=0/2$)، درصد چربی بدن ($P=0/2$)،

جدول ۱- ویژگی آزمودنی‌ها و پروتکل تمرین ورزشی و رژیم غذایی

مطالعه - سال	ویژگی آزمودنی‌ها	نوع مطالعه - کشور	نمونه (جنسیت)	متغیره ۱	سن (سال)	شاخص توده بدنی (Kg/m ²)	مدت مداخ له (هفته)	پروتکل تمرین ورزشی	رژیم با محدودیت کربوهیدرات
آراد ^۱ ۲۰۱۵ (۶)	چاق	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-امریکا	۹ زن	وزن بدن BMI توده عضلانی چربی بدن درصد چربی بدن VO _{2max}	رژیم با کربوهیدرات متوسط+HIIT: ۲۰- ۴۰	رژیم با کربوهیدرات متوسط+HIIT: ۳۲/۵±۳/۶	۱۴	۴ ست ۳۰-۶۰ ثانیه دوچرخه سواری و با ۱۸۰-۲۱۰ ثانیه استراحت بین ست‌ها ۳ روز در هفته	رژیم با کربوهیدرات متوسط: کربوهیدرات: ۳۵٪ پروتئین: ۱۵٪ چربی: ۵۰٪
جیورکاز ^۲ ۲۰۱۹ (۱۷)	سندرم متابولیک -چاق	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-امریکا	۵ مرد و ۵ زن	وزن بدن BMI درصد چربی بدن VO _{2max}	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: : ۶۰-۱۸	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: : ۳۴/۹±۶/۳ T	۴	۱۰ تکرار ۶۰ ثانیه دوچرخه سواری و با ۶۰ ثانیه استراحت فعال ۳ روز در هفته	رژیم کم کربوهیدرات: کربوهیدرات: کمتر از ۵۰ گرم در روز پروتئین: ۸۷ گرم در روز چربی: ۱۱۸ گرم در روز
کانگ ^۳ ۲۰۲۰ (۲)	اضافه وزن	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-چین	۱۸ زن	وزن بدن BMI VO _{2max}	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: : ۲۰/۸±۲/۷	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: : ۲۵/۵±۳/۱	۴	۱۰ ست ۶ ثانیه ای دوچرخه سواری با ۹ ثانیه استراحت ۵ روز در هفته	رژیم کم کربوهیدرات: کربوهیدرات: ۱۰٪ پروتئین: ۲۰-۲۵٪ چربی: ۶۵-۷۰٪

¹ Arad² Gyorkos³ Kong

سارتور ^۱ ۲۰۱۰ (۷)	چاق	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-یونان	۱۰ مرد و زن	وزن بدن توده عضلانی ی (kg) درصد چربی بدن توده چربی بدن (kg) VO2max	رژیم با کربوهیدرات متوسط+HIIT: ۳۷±۱۰	رژیم با کربوهیدرات متوسط+HIIT: ۳۲±۴	۲	۱۰ ست با تکرار ۴ دقیقه با شدت ۹۰٪ Vo2max و با ۲-۳ دقیقه استراحت ۳ روز در هفته ۱۶۳ گرم در روز بروتئین: ۷۰/۹ گرم در روز چربی غیر اشباع: ۶۳/۸ گرم در روز چربی اشباع: ۳۳/۵ گرم در روز	رژیم کم کربوهیدرات متوسط: ۱۶۳ گرم در روز بروتئین: ۷۰/۹ گرم در روز چربی غیر اشباع: ۶۳/۸ گرم در روز چربی اشباع: ۳۳/۵ گرم در روز
سان ^۲ ۲۰۱۹ (۳)	اضافه وزن	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-چین	۱۵ زن	وزن BMI VO2max	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: ۲۰/۸ ± ۲/۷	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: ۲۵/۵ ± ۳/۱	۴	۱۰ ست ۶ ثانیه ای دوچرخه سواری و با ۹ ثانیه استراحت ۵ روز در هفته	رژیم کم کربوهیدرات: ۴۹ گرم در روز بروتئین: ۱۰۹ گرم در روز چربی: ۱۳۷ گرم در روز
سان ۲۰۲۱ (۱)	وزن طبیعی	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-چین	۱۳ زن	وزن BMI	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: ۲۱/۴ ± ۲/۹	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: ۲۴/۸ ± ۲/۰	۴	۱۰ تکرار ۶ ثانیه ای با شدت بالا دوچرخه سواری و با ۹ ثانیه استراحت غیرفعال ۵ روز در هفته	رژیم کم کربوهیدرات: کربوهیدرات: ۱۰٪ پروتئین: ۲۵٪ چربی: ۶۵٪
سان ۲۰۲۲ (۲۰)	وزن طبیعی	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-چین	۲۵ زن	وزن بدن BMI VO2max	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: (۱۳ نفر): ۲/۹ ± ۲۱/۴	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT: ۲۴/۸ ± ۲/۰	۴	۱۰ تکرار ۶ ثانیه ای و با ۹ ثانیه استراحت	رژیم کم کربوهیدرات: کربوهیدرات: ۱۰٪ پروتئین: ۲۵٪ چربی: ۶۵٪

¹ Sartor² Sun

اصل محمدی ^۱ (۱۹) ۲۰۱۸	دیابت نوع دو- چاق شده-ایران	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-ایران	۲۲ مرد	وزن بدن BMI	رژیم با کربوهیدرات متوسط+۱:HIIT ۴۷/۰۸ ± ۷/۰۴ گروه رژیم با کربوهیدرات متوسط +۲:HIIT ۴۴/۶۶ ± ۷/۵۸	رژیم با کربوهیدرات متوسط+۱:HIIT ۳۲/۹۹ ± ۱/۵۷ گروه رژیم با کربوهیدرات متوسط +۲:HIIT ۳۳/۴۰ ± ۲/۴۲	۲۴	۱۰ ست ۱ دقیقه ای (۱۵ ثانیه، ۷۵٪ HRmax ثانیه، ۸۵٪HRmax ۰ ثانیه، ۹۰٪HRmax) در هفته اول و ۱- ۵٪ اضافه بار در هفته های بعد. استراحت فعال ۶۰-۹۰ ثانیه، ۴ هفته اول ۳۰٪ HRmax، ۴ هفته دوم ۳۵٪HRmax ۴ هفته سوم ۴۰٪ HRmax ۳ روز در هفته	رژیم با کربوهیدرات متوسط:۱ کربوهیدرات:۲۰ ٪ پروتئین:۳۵٪ چربی:۴۵٪ رژیم با کربوهیدرات متوسط:۲ کربوهیدرات:۳۰ ٪ پروتئین:۱۰٪ چربی:۶۰٪
سپیریان ^۲ (۲۱) ۲۰۱۸	تمرین کرده	غیرتصادفی -جمهوری چک	۹ مرد	وزن بدن درصد چربی بدن VO2max x	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT : ۲۳/۸ ± ۲/۱	گزارش نشده	۴	۵ تکرار ۳ دقیقه ای و با استراحت غیرفعال به مدت ۱/۵ دقیقه ۳-۵ روز در هفته	رژیم کم کربوهیدرات: کربوهیدرات:۸ گرم در روز پروتئین: ۲۹ گرم در روز چربی: ۶۳ گرم در روز
دوستال ^۳ (۵) ۲۰۱۹	سالم	غیرتصادفی -جمهوری چک	۱۲ مرد و زن	وزن بدن توده عضلان ی (kg) درصد چربی بدن توده چربی (kg) VO2max x	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT : ۲۵/۳ ± ۲/۰	گزارش نشده	۱۲	۵ ست ۶ دقیقه ای و با ۲ دقیقه استراحت ۳-۵ روز در هفته	رژیم کم کربوهیدرات: کربوهیدرات:۴۰ گرم در روز پروتئین: ۱۱۳ گرم در روز چربی: ۱۴۹ گرم در روز

¹ Aslemohammadzadeh² Cipryan³ Dostal

سپیریان ۲۰۲۰ (۲۲)	سالم	غیر تصادفی - جمهوری چک	۱۲ (جنسیت گزارش نشده)	وزن بدن توده چربی بدن	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT : ۲۵/۳ ± ۲/۰	گزارش نشده	۱۲	۵ ست ۶ دقیقه ای و با نسبت کار ۴۰-۵۰ ثانیه به استراحت ۱۰-۲۰ ثانیه، ۱ جلسه HIIT، ۱ جلسه تمرین فیتنس، ۱-۳ جلسه تمرین استقامتی در منزل ۳-۵ جلسه در هفته	رژیم کم کربوهیدرات: کربوهیدرات: کمتر از ۵۰ گرم در روز پروتئین ۱۵-۲۰٪
ام سی وینی ^۱ ۲۰۱۸ (۲۳)	اضافه وزن	غیر تصادفی - ایرلند	۹ مرد	وزن بدن BMI توده عضلان ی (kg) درصد چربی بدن توده چربی بدن (kg) VO2max	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT : ۳۳/۸ ± ۶/۹	رژیم کم کربوهیدرات+HIIT : ۲۵/۶ ± ۳/۰	۱۲	تمرین استقامتی با شدت ۶۸-۵۶٪ VO ₂ MAX، ۶ ست ۸- ۱۰ تکرار پرس پا، ۲ جلسه ۱۰ ست ۱ دقیقه ای در ٪۷۰ اوج توان و با ۱ دقیقه استراحت ۲ روز در هفته	رژیم کم کربوهیدرات: کربوهیدرات: ۴۰ گرم در روز پروتئین: ۱۳۰ گرم در روز چربی: ۲۶۰ گرم در روز
والسدوتیر ^۲ ۲۰۲۳ (۲۴)	چاق	کارآزمایی بالینی تصادفی شده-نروژ	۱۴ زن	وزن بدن BMI توده عضلان ی (kg) VO2max	رژیم با کربوهیدرات متوسط+HIIT: ۴۰/۸ ± ۳/۳	رژیم با کربوهیدرات متوسط+HIIT: ۳۱/۶ ± ۳/۰	۱۰	۷ ست ۴ دقیقه ای با شدت ۸۲-۹۰٪ HRmax و با ۳ دقیقه استراحت فعال با شدت ۶۰٪ HRpeak ۳ روز در هفته	رژیم با کربوهیدرات متوسط: هفته اول ۲۰ گرم کربوهیدرات در روز، هفته‌های بعد تا ۱۰۰ گرم در روز چربی در هفته اول تا ۷۰٪ انرژی و در ادامه کاهش پروتئین: ۲۵٪ انرژی در طول مداخله

¹ Mcswiney

² Valsdottir

جدول ۲- بررسی کیفیت مطالعات

امتیاز کل	۷ (وجود گزارش میانگین، انحراف معیار و میزان معناداری P) (value))	۶ (وجود گزارش تفاوت آماری بین گروهی برای متغیر اصلی پژوهش)	۵ (انجام تجزیه و تحلیل به صورت Intention to treat ((ITT))	۴ (خروج کمتر از ۱۵ درصد شرکت کنندگان از پژوهش)	۳ (وجود ارزیابی یکسو کور برای متغیر اصلی پژوهش)	۲ (اختصاص شرکت کنندگان به طور تصادفی به گروه‌های مختلف)	۱ (مشخص بودن ضوابط واجد شرایط بودن آزمودنی-ها)	مطالعه - سال
۵	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	آراد ^۱ ۲۰۱۵ (۶)
۵	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	جیورکاز ^۲ ۲۰۱۹ (۱۷)
۴	✓	✓	×	×	×	✓	✓	کانگ ^۳ ۲۰۲۰ (۲)
۵	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	سارتور ^۴ ۲۰۱۰ (۷)
۵	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	سان ^۵ ۲۰۱۹ (۳)
۵	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	سان ۲۰۲۱ (۱)
۵	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	سان ۲۰۲۲ (۲۰)
۶	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	اصل محمدی ^۶ ۲۰۱۸ (۱۹)

¹ Arad² Gyorkos³ Kong⁴ Sartor⁵ Sun⁶ Aslemohammadizadeh

۴	✓	✓	×	✓	×	×	✓	سپریان ^۱ ۲۰۱۸ (۲۱)
۴	✓	✓	×	✓	×	×	✓	دوستال ^۲ ۲۰۱۹ (۵)
۴	✓	✓	×	✓	×	×	✓	سپریان ۲۰۲۰ (۲۲)
۴	✓	✓	×	✓	×	×	✓	ام سی وینی ^۳ ۲۰۱۸ (۲۳)
۶	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	والسدوتیر ^۴ ۲۰۲۳ (۲۴)

بحث

کبدی و توانایی بیشتر در استفاده از چربی‌ها در متابولیسم باشد (۱۷).

از طرف دیگر، تعدادی از آدیوکلین‌ها نیز مسئول تنظیم اشتها و سیری هستند که در صورت نادرست عمل کردن این آدیوکلین‌ها التهاب خفیف سیستمی ایجاد شده و در نهایت موجب چاقی سندرم متابولیک و مشکلات دیگر می‌شود (۲۲). در مطالعه هو و همکاران (۲۰۲۱) نیز کاهش معنی داری در اشتها در طول رژیم کتوژنیک^۵ کم کربوهیدرات گزارش شده است (۴). علاوه بر اثرات مثبت بر کاهش وزن، این رژیم به تنهایی ممکن است موجب اثرات منفی بر توده عضلانی شود (۴). در مطالعه دیگر گزارش شد که تمرینات همزمان^۶ به همراه LCHF بر روی توده بدون چربی، درصد چربی بدن، توده بدن، هیچ اثر قابل توجهی ندارد (۲۶). همچنین در مطالعه لی و همکاران (۲۰۲۱) با رعایت رژیم KD در ورزشکاران کاهش قابل توجهی در درصد چربی بدن مشاهده شد ولی این رژیم تأثیری بر شاخص توده بدن نداشت (۲۷)، که با نتایج فراتحلیل این مطالعه در تضاد است. نتایج فراتحلیل هو و همکاران (۲۰۲۱) کاهش قابل توجهی در وزن بدن، BMI، درصد چربی بدن و افزایش قابل توجهی در

مطالعه فراتحلیل حاضر به بررسی اثر ترکیبی تمرین تناوبی با شدت بالا و رژیم غذایی با محدودیت کربوهیدرات بر ترکیب بدن در بزرگسالان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن و چاق پرداخته است. بررسی نتایج ۱۳ مطالعه نشان داد که انجام تمرینات تناوبی با شدت بالا همراه با محدودیت کربوهیدرات باعث کاهش معنادار وزن بدن، BMI، درصد چربی بدن و توده چربی و افزایش معنادار VO₂max می‌شود ولی سبب تغییر معنادار در توده عضلانی نمی‌شود.

اخیرا تعدادی از محققان به بررسی اثر رژیم کم کربوهیدرات بر وزن بدن و چربی بدن پرداخته اند و گزارش کردند که وزن بدن و درصد چربی بدن در افرادی که رژیم کم کربوهیدرات دریافت کردند، در مقایسه با افرادی که رژیم استاندارد مصرف کرده اند، کاهش یافته است (۱، ۲، ۵، ۱۷، ۲۵). احتمالا علت کاهش وزن و توده چربی بدن در رژیم کم کربوهیدرات، عواملی مانند کاهش اشتها، کاهش لیپوژنز، افزایش لیپولیز، افزایش میزان گلوکونوژنز

¹ Cipryan

² Dastol

³ Mcswiney

⁴ Valsdottir

⁵ Ketogenic diet

⁶ Concurrent training

VO₂max نشان داد، در حالی که توده چربی و توده عضلانی بدون تغییر باقی ماندند (۲۳). همچنین، نتایج مطالعه فراتحلیل پیشین نشان داد که KD به طور قابل توجهی وزن بدن، توده چربی، توده عضلانی، BMI و درصد چربی بدن را در مقایسه با رژیم عادی کاهش می دهد. با این حال، استفاده از KD ممکن است تأثیر منفی بر توده عضلانی داشته باشد، که حتی با افزودن تمرینات مقاومتی بهبود نمی یابد (۸). در مطالعه حاضر استفاده از رژیم LCD به همراه HIIT باعث کاهش پارامترهای ترکیب بدن شد ولی تغییری در توده عضلانی مشاهده نشد که با نتایج مرورسیستماتیک- فراتحلیل هو و همکاران همسو است (۴). در رژیم کتوژنیک به دلیل مصرف بیشتر چربی ها به عنوان سوخت عضله و کاهش ذخایر گلیکوژن و فعالیت آنزیم های گلیکولیتیک، تخریب در توده عضلانی مشاهده می شود. البته ممکن است انجام تمرینات ورزشی به همراه رژیم این تأثیرات را معکوس کند (۱). این روند تحت تأثیر تغییر در مکانیزم هایی مانند توانایی عضله در انتقال، ذخیره و تجزیه اسیدهای چرب و یا کاهش فعالیت پرووات دهیدروژناز و همچنین گلیکوژنولیز عضلانی باشد. هنگامی که اکسیداسیون اسیدهای چرب در اثر مصرف بیشتر چربی ها افزایش می یابد ذخایر سوبسترا کربوهیدراتی کاهش می یابد، همچنین اقتصاد حرکتی در هنگام تمرین ورزشی در هنگام رژیم کتوژنیک کم می شود. البته گزارشات مربوط به اختلال در عملکرد ورزشی با وجود رژیم های کم کربوهیدرات مربوط به دوره سازگاری با رژیم غذایی است. به عبارتی این اثرات منفی در عملکرد ورزشی، پس از سازگاری با رژیم غذایی حذف می شوند (۵). با این حال در یک مطالعه ذخایر گلیکوژن عضلانی ورزشکارانی که رژیم کتوژنیک داشتند با ورزشکارانی که رژیم پرکربوهیدرات داشتند، پس از تمرین ۱۸۰ دقیقه ای تفاوتی نداشت (۲۸). این تفاوت در نتایج می تواند مربوط به وضعیت آمادگی جسمانی در آزمودنی ها باشد. در مطالعه حاضر نیز تغییر معنی داری در توده بدون چربی مشاهده نشد که می تواند نشان دهنده این موضوع باشد که احتمالاً ترکیب تمرین ورزشی با رژیم کم کربوهیدرات اثرات منفی رژیم بر کاهش توده عضلانی را کاهش دهد.

از دیگر تأثیرات رژیم کم کربوهیدرات می توان به تأثیر بر عملکرد ورزشی اشاره کرد. همانطور که ذکر شد سازگاری با رژیم کتوژنیک منجر به کاهش اکسیداسیون کربوهیدرات و افزایش اکسیداسیون چربی می شود که می تواند به دلیل بالا بودن میزان سوبسترای چربی ها عملکرد ورزشی بخصوص تمرینات هوازی را بهبود بخشد. تمرینات تناوبی با شدت بالا به تنهایی می تواند موجب افزایش ظرفیت هوازی حتی پس از دو هفته تمرین ورزشی شود (۲۸). این امکان وجود دارد که علت افزایش توانایی بدن در استفاده بیشتر از اکسیژن مربوط به افزایش میتوکندری در عضلات بوده که در نهایت منجر به افزایش VO₂max می شود (۷). همچنین سازگاری طولانی مدت با رژیم کتوژنیک موجب افزایش رونویسی و ترجمه ژن های درگیر در متابولیسم چربی می شود و در نتیجه آن لیپولیز افزایش یافته و موجب تولید انرژی از چربی ها و بهبود در عملکرد ورزشی شود (۷). در پژوهشی بهبود در VO₂max در افراد با وضعیت آمادگی جسمانی متوسط به دنبال یک رژیم کتوژنیک به مدت ۴ هفته مشاهده شد (۵). هرچند بعضی از مطالعات نتایج متضادی را گزارش کرده اند. در مطالعه فراتحلیل ونگ و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تمرینات همزمان به همراه رژیم کم کربوهیدرات تأثیری بر VO₂max ندارد (۲۶). در مطالعه دیگر نیز تأثیر قابل توجهی از مداخلات رژیم کم کربوهیدرات بر VO₂max و زمان رسیدن به خستگی مشاهده نشد (۲۸). با این حال هو و همکاران (۲۰۲۱) افزایش VO₂max را به دنبال رژیم کم کربوهیدرات و HIIT گزارش کردند (۲۳) که با نتایج مطالعه حاضر همسو است. قابل ذکر است که تعداد مطالعات در مطالعه هو و همکاران ۱۰ مطالعه ولی نتایج فراتحلیل حاضر دارای ۱۳ مطالعه است (۴).

علی رغم یافته های بالینی مهم فراتحلیل حاضر، محدودیت های نیز وجود داشت که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. تعداد کم مطالعات با حجم نمونه کم ممکن است نتایج فراتحلیل حاضر را تحت تأثیر قرار داده باشد. همچنین، تعداد محدود مطالعات اجازه انجام تحلیل زیرگروهی بر اساس مولفه های پروتکل تمرین (مدت هر جلسه تمرین، شدت تمرین، مدت کل مداخله تمرین) و مولفه های رژیم غذایی با محدودیت کربوهیدرات (رژیم با کربوهیدرات بسیار پایین "کمتر از ۱۰ درصد انرژی از

اثرات بهینه‌ای را اعمال کند. با این حال تاثیر ترکیب رژیم کم کربوهیدرات و تمرینات تناوبی با شدت بالا بر توده عضلانی هنوز نامشخص است و نیاز به مطالعات بیشتری برای جمع‌بندی این موضوع است.

تشکر و قدردانی

از محققانی که داده‌های مطالعات خود را در اختیار ما قرار دادند، تشکر می‌نمائیم.

کربوهیدرات"، رژیم با کربوهیدرات متوسط "۱۰-۲۵ درصد انرژی از کربوهیدرات" (۲۹)) را فراهم نکرد و لازم است در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه گیری

استفاده از رژیم غذایی کم کربوهیدرات به همراه تمرینات تناوبی با شدت بالا می‌تواند منجر به کاهش وزن و بهبود ترکیب بدن در بزرگسالان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن و چاق شود. همچنین این دو مداخله به صورت همزمان می‌تواند بر عملکرد هوازی

References

۱. Sun S, Kong Z, Shi Q, Zhang H, Lei O-K, Nie J, editors. Carbohydrate restriction with or without exercise training improves blood pressure and insulin sensitivity in overweight women. *Healthcare*; 2021: MDPI.
۲. Kong Z, Hu M, Liu Y, Shi Q, Zou L, Sun S, et al. Affective and Enjoyment Responses to Short-Term High-Intensity Interval Training with Low-Carbohydrate Diet in Overweight Young Women. *Nutrients*. 2020;12.(۲)
۳. Sun S, Kong Z, Shi Q, Hu M, Zhang H, Zhang D, et al. Non-energy-restricted low-carbohydrate diet combined with exercise intervention improved cardiometabolic health in overweight Chinese females. *Nutrients*. 2019;11(12):3051.
۴. Hu J, Wang Z, Lei B, Li J, Wang R. Effects of a low-carbohydrate high-fat diet combined with high-intensity interval training on body composition and maximal oxygen uptake: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(20):10740.
۵. Dostal T, Plews DJ, Hofmann P, Laursen PB, Cipryan L. Effects of a ۱۲ Week Very-Low Carbohydrate High-Fat Diet on Maximal Aerobic Capacity, High-Intensity Intermittent Exercise, and Cardiac Autonomic Regulation: Non-randomized Parallel-Group Study. *Frontiers in Physiology*. 2019;10.
۶. Arad AD, DiMenna FJ, Thomas N, Tamis-Holland J, Weil R, Geliebter A, et al. High-intensity interval training without weight loss improves exercise but not basal or insulin-induced metabolism in overweight/obese African American women. *Journal of Applied Physiology*. 2015;119(4):352-62.
۷. Sartor F, de Morree HM, Matschke V, Marcora SM, Milousis A, Thom JM, et al. High-intensity exercise and carbohydrate-reduced energy-restricted diet in obese individuals. *European journal of applied physiology*. 2010;110:893-903.
۸. Ashtary-Larky D, Bagheri R, Asbaghi O, Tinsley GM, Kooti W, Abbasnezhad A, et al. Effects of resistance training combined with a ketogenic diet on body composition: a systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022;62(21):5717-32.
۹. Murphy NE, Carrigan CT, Margolis LM. High-fat ketogenic diets and physical performance: a systematic review. *Advances in Nutrition*. 2021;12(1):223-33.
۱۰. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic reviews*. 2015;4(1):1-9.
۱۱. Tarsilla M. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. *Journal of Multidisciplinary Evaluation*. 2010;6(14):142-8.
۱۲. Wan X, Wang W, Liu J, Tong T. Estimating the sample mean and standard deviation from the sample size, median, range and/or interquartile range. *BMC medical research methodology*. 2014;14:1-13.
۱۳. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *Bmj*. 2003;327(7414):557-60.
۱۴. Copas J, Shi JQ. Meta-analysis, funnel plots and sensitivity analysis. *Biostatistics*. 2000;1(3):247-62.

۱۵. Egger M, Smith GD, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *Bmj*. 1997;315(7109):629-34.
۱۶. De Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2009;55(2):129-33.
۱۷. Gyorkos A, Baker MH, Miutz LN, Lown DA, Jones MA, Houghton-Rahrig LD. Carbohydrate-restricted Diet and High-intensity Interval Training Exercise Improve Cardio-metabolic and Inflammatory Profiles in Metabolic Syndrome: A Randomized Crossover Trial. *Cureus*. 2019;11.(۹)
۱۸. Sun S, Lei OK, Nie J, Shi Q, Xu Y, Kong Z. Effects of Low-Carbohydrate Diet and Exercise Training on Gut Microbiota. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9.
۱۹. Asle Mohammadi Zadeh M, Kargarfard M, Marandi SM, Habibi A. Diets along with interval training regimes improves inflammatory & anti-inflammatory condition in obesity with type 2 diabetes subjects. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*. 2018;17(2):253-67.
۲۰. Sun S, Lei OK, Nie J, Shi Q, Xu Y, Kong Z. Effects of low-carbohydrate diet and exercise training on gut microbiota. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:884550.
۲۱. Cipryan L, Plews DJ, Ferretti A, Maffetone PB, Laursen PB. Effects of a 4-Week Very Low-Carbohydrate Diet on High-Intensity Interval Training Responses. *J Sports Sci Med*. 2018;17(2):259-68.
۲۲. Cipryan L, Dostal T, Plews DJ, Hofmann P, Laursen PB. Adiponectin/leptin ratio increases after a 12-week very low-carbohydrate, high-fat diet, and exercise training in healthy individuals: A non-randomized, parallel design study. *Nutrition Research*. 2021;87:22-30.
۲۳. McSwiney FT, Wardrop B, Hyde PN, Lafountain RA, Volek JS, Doyle L. Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. *Metabolism*. 2018;81:25-34.
۲۴. Valsdottir TD, Ovrebo B, Kornfeldt TM, Litleskare S, Johansen EI, Henriksen C, et al. Effect of aerobic exercise and low-carbohydrate high-fat diet on glucose tolerance and android/gynoid fat in overweight/obese women: A randomized controlled trial. *Frontiers in Physiology*. 2023;14.
۲۵. Sun S, Kong Z, Shi Q, Hu M, Zhang H, Zhang D, et al. Non-Energy-Restricted Low-Carbohydrate Diet Combined with Exercise Intervention Improved Cardiometabolic Health in Overweight Chinese Females. *Nutrients*. 2019;11.(۱۲)
۲۶. Wang Y, Zhou K, Wang V, Bao D, Zhou J. The effects of concurrent training combined with low-carbohydrate high-fat ketogenic diet on body composition and aerobic performance: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(18):1.۱۵۴۲
۲۷. Lee HS, Lee J. Influences of ketogenic diet on body fat percentage, respiratory exchange rate, and total cholesterol in athletes: A systematic review and meta-analysis. *International journal of environmental research and public health*. 2021;18(6.۲۹۱۲):
۲۸. Cao J, Lei S, Wang X, Cheng S. The effect of a ketogenic low-carbohydrate, high-fat diet on aerobic capacity and exercise performance in endurance athletes: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2021;13(8):2896.
۲۹. Oh R, Gilani B, Uppaluri KR. Low carbohydrate diet. 2019.

Review article

Combined effect of carbohydrate-restricted diet and high-intensity interval training on body composition in normal weight, overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis

Received: 17/04/2023 - Accepted: 15/06/2024

Fatemeh Kazeminasab 1*
Nasim Behzadnejad 2

1 Department of Physical
Education and Sport Sciences,
Faculty of Humanities, University
of Kashan, Kashan, Iran

2 Department of Exercise
Physiology, Faculty of Physical
Education and Sport Sciences,
University of Isfahan, Isfahan, Iran

Email:
soliman.ahmadi@sbmu.ac.ir

Abstract

Introduction: The prevalence of obesity and overweight in adults is increasing, so high-intensity interval training (HIIT) and carbohydrate-restricted diet (CRD) may be an effective intervention to improve body composition and maximal oxygen consumption. Therefore, the aim of this study is to investigate the combined effect of high-intensity interval training and carbohydrate-restricted diet on body composition and aerobic fitness in normal weight, overweight, and obese adults.

Method: A comprehensive search was conducted in the information databases of PubMed, Web of Science, SID, Magiran, and Google Scholar for articles published up to January 2023. A meta-analysis was conducted to investigate the combined effect of HIIT and CRD on body composition in adults. Standardized mean difference (SMD) or weighted mean difference (WMD) and 95% confidence interval were calculated using random effect model.

Results: The results of 13 studies with 173 subjects showed that HIIT and low-carbohydrate diet caused a significant decrease in body weight [-4.23, P=0.001], BMI [-1.14, P=0.001], body fat percentage [-3.18, P=0.001], fat mass [-2.94, P=0.001] becomes obese in normal weight, overweight, and obese adults. But these two interventions do not change the muscle mass [-0.1, P=0.8].

Conclusion: Using a low-carbohydrate diet along with HIIT can lead to weight loss and body composition improvement in normal weight, overweight and obese adults. Also, these two interventions simultaneously can exert optimal effects on aerobic performance.

Key words: high intensity interval training, low carbohydrate diet, body composition, aerobic fitness

Acknowledgement: There is no conflict of interest