

مقایسه پاسخ های فیزیولوژیک دانش آموزان پسر دارای وزن طبیعی و اضافه وزن به تمرینات ورزشی

مهدی میرزائی^۱

کارشناسی ارشد تربیت بدنی گرایش فیزیولوژی ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

چکیده

پدیده اضافه وزن و چاقی در میان جوامع امروزی به ویژه در قشر دانش آموزان و جوانان به یکی از مهم ترین چالش های سلامت عمومی تبدیل شده است و نیازمند بررسی های دقیق علمی برای درک بهتر مکانیسم های درگیر در آن است. هدف از انجام این مقاله مروری، بررسی و مقایسه جامع پاسخ های فیزیولوژیک، متابولیک، بیومکانیکی و روان شناختی دانش آموزان پسر دارای وزن طبیعی و اضافه وزن به انواع مختلف تمرینات ورزشی است. این پژوهش با بررسی منابع علمی معتبر و مقالات مرتبط، تلاش می کند تا تفاوت های بنیادین در واکنش سیستم های مختلف بدن این دو گروه را در مواجهه با استرس های ناشی از فعالیت های بدنی ارزیابی نماید. نتایج بررسی ها نشان می دهد که دانش آموزان دارای اضافه وزن در مقایسه با هم تایان دارای وزن طبیعی خود، با چالش های فیزیولوژیک متعددی از جمله افزایش ضربان قلب پایه، کاهش کارایی قلبی تنفسی، تغییرات نامطلوب در سطوح هورمون های متابولیک مانند لپتین و آدیپونکتین، و همچنین محدودیت های بیومکانیکی در الگوهای حرکتی مواجه هستند. علاوه بر این، نقش عوامل ژنتیکی و زمان بندی تمرینات نیز به عنوان متغیرهای تعیین کننده در میزان اثربخشی تمرینات ورزشی در این افراد مورد تاکید قرار گرفته است. برنامه های تمرینی ترکیبی شامل تمرینات هوازی و مقاومتی، در صورت تنظیم دقیق شدت و مدت زمان، می توانند بهبود قابل توجهی در شاخص های ترکیب بدنی و شایستگی های حرکتی ایجاد کنند. در نهایت، توجه به ابعاد روان شناختی و ایجاد انگیزه مستمر برای پایبندی به فعالیت های ورزشی، از ارکان اصلی موفقیت در مدیریت وزن و ارتقای سطح سلامت جسمانی در دانش آموزان دارای اضافه وزن به شمار می رود.

کلیدواژه ها: پاسخ فیزیولوژیک، دانش آموزان پسر، وزن طبیعی، اضافه وزن، تمرینات ورزشی.

مقدمه :

در دهه های اخیر، شیوع فزاینده اضافه وزن و چاقی در میان کودکان و نوجوانان به یک بحران جهانی سلامت تبدیل شده است که پیامدهای جبران ناپذیری بر ابعاد مختلف فیزیولوژیک و روان شناختی این قشر حساس به همراه دارد. افزایش بی سابقه نرخ چاقی در میان دانش آموزان، به ویژه پسران، نه تنها خطرات ابتلا به بیماری های متابولیک نظیر دیابت نوع دو و اختلالات قلبی و عروقی را در سنین پایین افزایش می دهد، بلکه بر کیفیت زندگی، توسعه مهارت های حرکتی و مشارکت فعال در برنامه های ورزشی نیز تاثیرات منفی و بازدارنده ای اعمال می کند. مطالعات متعددی نشان داده اند که پاسخ سیستم های حیاتی بدن به محرک های ورزشی در افراد دارای اضافه وزن، تفاوت های معناداری با افراد دارای وزن طبیعی دارد که این امر ضرورت طراحی برنامه های تمرینی اختصاصی و هدفمند را بیش از پیش نمایان می سازد. در این راستا، درک دقیق و موشکافانه از نحوه عملکرد دستگاه های قلبی عروقی، تنفسی، هورمونی و عضلانی این دو گروه در هنگام انجام فعالیت های ورزشی، می تواند به عنوان راهنمایی ارزشمند برای مربیان، متخصصان فیزیولوژی ورزشی و برنامه ریزان سلامت مدارس عمل نماید. مقایسه این پاسخ ها نیازمند یک رویکرد چندبعدی است که تمامی جنبه های مرتبط با فشارهای فیزیولوژیک ناشی از حمل توده بدنی اضافی را به دقت مورد ارزیابی قرار دهد (سان و همکاران، ۲۰۲۵).

سیستم قلبی و عروقی به عنوان یکی از مهم ترین ارکان درگیر در فعالیت های ورزشی، در دانش آموزان دارای اضافه وزن تحت فشارهای مضاعفی قرار دارد که ناشی از نیاز به پمپاژ خون بیشتر برای تامین اکسیژن و مواد مغذی بافت های چربی اضافی و عضلات در حال کار است. این فشار مضاعف غالباً به صورت افزایش ضربان قلب استراحت، کندی در بازگشت به حالت اولیه پس از تمرین، و کاهش حداکثر اکسیژن مصرفی نمود پیدا می کند. علاوه بر این، محدودیت های بیومکانیکی ناشی از توزیع نامناسب وزن، باعث تغییر در الگوهای حرکتی و افزایش فشار بر مفاصل تحمل کننده وزن می گردد که این خود می تواند عاملی محدودکننده در انجام مستمر فعالیت های هوازی باشد. از سوی دیگر، بافت چربی تنها یک انبار ذخیره انرژی نیست، بلکه به عنوان یک غده درون ریز فعال، با ترشح هورمون هایی نظیر لپتین و آدیپونکتین، نقش بسیار حیاتی در تنظیم متابولیسم پایه، اشتها و التهاب سیستمیک ایفا می کند. تغییر در پروفایل ترشحی این هورمون ها در حالت اضافه وزن، پاسخ های متابولیک بدن به تمرینات ورزشی را دستخوش دگرگونی های پیچیده ای می سازد که مقایسه آن با افراد دارای وزن طبیعی، نیازمند تحقیقات گسترده و بررسی های دقیق آزمایشگاهی است (ولا و همکاران، ۲۰۰۹).

علاوه بر جنبه های فیزیولوژیک و متابولیک، ابعاد روان شناختی و میزان پایبندی به برنامه های ورزشی نیز در میان دانش آموزان پسر دارای وزن طبیعی و اضافه وزن تفاوت های بارزی را نشان می دهد. احساس خستگی زودهنگام، درک فشار بالاتر در شدت های مشابه تمرینی و تجربه های ناخوشایند ناشی از محدودیت های حرکتی، از جمله عواملی هستند که می توانند باعث کاهش انگیزه و مشارکت دانش آموزان چاق در زنگ های ورزش و فعالیت های فوق برنامه شوند. بنابراین، شناخت دقیق این موانع و تلاش برای تعدیل فشارهای تمرینی متناسب با توانمندی های فیزیولوژیک این افراد، گامی اساسی در جهت افزایش شایستگی حرکتی و بهبود مستمر وضعیت سلامت آنان محسوب می شود. در این میان، استفاده از رویکردهای تمرینی نوین اعم از تمرینات ترکیبی، مقاومتی، طناب زنی و تمرینات با وزن بدن، می تواند پاسخ های متفاوتی را در سیستم های مختلف بدن ایجاد نماید که نیازمند تجمیع و تحلیل اطلاعات پراکنده در یک چارچوب علمی منسجم است. این مقاله با هدف ایجاد یک دیدگاه جامع و کاربردی، به بررسی و مقایسه این پاسخ های فیزیولوژیک در دو گروه هدف می پردازد تا مسیر را برای تحقیقات آینده و مداخلات بالینی موثرتر هموار سازد (الکینگتون و همکاران، ۲۰۱۷).

اهداف پژوهش

- مقایسه پاسخ های قلبی و عروقی و تنفسی دانش آموزان پسر دارای وزن طبیعی و اضافه وزن در مواجهه با تمرینات ورزشی مختلف.
- بررسی تغییرات هورمونی و متابولیک به ویژه سطوح لپتین و آدیپونکتین در پاسخ به فعالیت های بدنی در دو گروه مورد مطالعه.
- ارزیابی تفاوت های بیومکانیکی و الگوهای شایستگی حرکتی میان دانش آموزان دارای اضافه وزن و وزن طبیعی.
- شناسایی تاثیر متغیرهای ژنتیکی بر میزان اثربخشی تمرینات ورزشی و تغییرات ترکیب بدنی در پسران چاق.

سوالات پژوهش

- تفاوت در دینامیک پاسخ های قلبی تنفسی میان دانش آموزان پسر دارای اضافه وزن و وزن طبیعی در حین و پس از تمرینات ورزشی چگونه است؟
- تمرینات ورزشی ترکیبی و هوازی چه تاثیری بر مقادیر آدیپوکین های پلازما در دانش آموزان پسر چاق در مقایسه با افراد دارای وزن طبیعی دارند؟
- میزان شایستگی حرکتی و الگوهای بیومکانیکی دوییدن در کودکان دارای اضافه وزن چه تفاوت های معناداری با کودکان وزن طبیعی دارد؟
- چگونه ژنوتیپ های مختلف می توانند بر پاسخ ترکیب بدنی کودکان چاق به تمرینات ورزشی تاثیرگذار باشند؟

تعاریف و مبانی نظری

فرایند پیچیده پاسخ های فیزیولوژیک به تمرینات ورزشی در بدن انسان، شامل مجموعه ای از واکنش های هماهنگ و درهم تنیده در سیستم های عصبی، قلبی و عروقی، تنفسی، غدد درون ریز و عضلانی است که به منظور حفظ هومئوستاز و تامین انرژی مورد نیاز سلول ها صورت می گیرد. در حالت طبیعی، هنگامی که فردی با وزن متناسب شروع به انجام فعالیت ورزشی می کند، برون ده قلبی از طریق افزایش همزمان ضربان قلب و حجم ضربه ای افزایش می یابد تا جریان خون غنی از اکسیژن را به عضلات اسکلتی فعال برساند. همزمان، سیستم تنفسی با افزایش نرخ و عمق تنفس، تبادلات گازی در آلوئول های ریوی را بهینه می سازد. این هماهنگی فیزیولوژیک در افراد دارای وزن طبیعی با بالاترین سطح کارایی انجام می پذیرد و منجر به بهره وری مطلوب در مصرف اکسیژن و دفع دی اکسید کربن می گردد. با این حال، در افراد دارای اضافه وزن و چاق، حضور توده چربی اضافی به عنوان یک بار مکانیکی و متابولیکی، این هماهنگی را دچار اختلال کرده و بدن را مجبور به صرف انرژی بسیار بیشتری برای انجام فعالیت های مشابه می نماید. این بار اضافی، نه تنها هزینه های متابولیک پایه را بالا می برد، بلکه موجب تغییرات ساختاری و عملکردی در عروق خونی و بافت میوکارد قلب می گردد که نمود آن در آزمون های ورزشی به وضوح قابل مشاهده است (گونز و همکاران، ۲۰۲۱).

از منظر بیومکانیکی، اضافه وزن به طور مستقیم بر الگوهای حرکتی پایه، از جمله راه رفتن و دوییدن، تاثیرات عمیقی می گذارد که این امر در کودکان و نوجوانان در حال رشد از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مرکز ثقل بدن در افراد چاق دچار جابجایی شده و این موضوع نیازمند فعال سازی گروه های عضلانی متفاوتی برای حفظ تعادل و پایداری در حین حرکت است. افزایش نیروهای واکنش زمین که در اثر برخورد توده بدنی سنگین تر با سطح زمین تولید می شود، فشارهای برشی و فشاری مضاعفی را بر مفاصل اندام تحتانی به ویژه زانو و مچ پا وارد می کند. این تغییرات مکانیکی غالباً منجر به اتخاذ الگوهای حرکتی جبرانی مانند کاهش طول گام، افزایش زمان تماس با زمین و تغییر در زوایای مفصلی می گردد که در نهایت به کاهش راندمان حرکتی و افزایش خطر آسیب دیدگی منتهی می شود. محدودیت در توسعه شایستگی های حرکتی

بنیادین در دوران کودکی، می تواند چرخه معیوبی از کاهش تمایل به فعالیت بدنی و متعاقبا افزایش بیشتر وزن را به دنبال داشته باشد. بنابراین، تحلیل مکانیک دویدن و راه رفتن در این افراد برای طراحی مداخلات اصلاحی بسیار ضروری است (پیری ابراهیم و جعفرنژادگرو، ۱۴۰۲). در سطح سلولی و مولکولی، بافت چربی در افراد دارای اضافه وزن دچار تغییرات پاتوفیزیولوژیک متعددی می شود که محیطی پیش التهابی را در سراسر بدن ایجاد می کند. هورمون های ترشح شده از آدیپوسیت ها، از جمله لپتین و آدیپونکتین، نقش های متضادی در تنظیم سوخت و ساز بدن ایفا می کنند. لپتین که معمولا در افراد چاق با پدیده مقاومت به لپتین همراه است، با وجود سطوح بالای خونی، قادر به اعمال اثرات سرکوب کننده اشتها و افزایش دهنده مصرف انرژی نیست. در مقابل، آدیپونکتین که خاصیت ضد التهابی و حساس کننده انسولین دارد، در حالت چاقی کاهش می یابد. تمرینات ورزشی منظم به عنوان یک محرک قوی، توانایی اصلاح این عدم تعادل هورمونی را دارا هستند و می توانند با بهبود حساسیت گیرنده ها، پاسخ های متابولیک را به حالت طبیعی نزدیک کنند. با این وجود، سرعت و میزان این پاسخ ها در نوجوانان پسر چاق نسبت به هم تایان طبیعی خود متفاوت بوده و به متغیرهای متعددی از جمله حجم، شدت، و نوع تمرین (هوای، مقاومتی یا ترکیبی) بستگی دارد. این تفاوت های هورمونی، نقش مهمی در نحوه اکسیداسیون چربی ها در طول فعالیت ورزشی و همچنین در دوره ریکاوری پس از آن ایفا می کنند (جهانپدیده و همکاران، ۱۴۰۰).

علاوه بر مکانیسم های بیوشیمیایی و مکانیکی، ویژگی های ژنتیکی و وراثت نیز از ارکان بنیادین در تعیین میزان پاسخگویی بدن به برنامه های ورزشی محسوب می شوند که در سال های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده اند. پلی مورفیسم های موجود در ژن های مرتبط با متابولیسم چربی و عملکرد هورمونی، مانند ژن ADIPOQ که مسئول کدگذاری پروتئین آدیپونکتین است، می توانند باعث ایجاد تنوع گسترده ای در نحوه کاهش وزن و تغییرات ترکیب بدنی در پاسخ به تمرینات ورزشی شوند. برخی از افراد با دارا بودن ژنوتیپ های خاص، ممکن است پاسخ های بسیار مطلوبی به دوره های کوتاه مدت تمرینات هوای نشان دهند، در حالی که برخی دیگر نیازمند برنامه های طولانی مدت تر و ترکیبی برای دستیابی به نتایج مشابه هستند. شناخت این تفاوت های فردی که ریشه در ساختار DNA دارند، به سمت توسعه رویکردهای پزشکی شخصی سازی شده در حوزه علوم ورزشی پیش می رود. درک این مفاهیم ژنتیکی در کنار فیزیولوژی کلاسیک، تصویر کامل تری از پیچیدگی های تعامل بین ورزش و چاقی در اختیار ما قرار می دهد و به تبیین چرایی تفاوت های مشاهده شده در بین دانش آموزان پسر کمک شایانی می کند (محمدی و همکاران، ۱۴۰۳).

جدول ۱. توصیف سازوکارهای نظری و متغیرهای فیزیولوژیک درگیر در پاسخ به تمرینات ورزشی

متغیر فیزیولوژیک / مفهومی	توضیحات و سازوکارهای نظری
پاسخ قلبی تنفسی	افزایش بار کاری قلب برای پمپاژ خون بیشتر؛ کاهش کارایی در مصرف اکسیژن ($\dot{V}O_{2max}$) در افراد دارای اضافه وزن به دلیل بافت غیرفعال متابولیکی.
دینامیک هورمونی	اختلال در ترشح آدیپوکین ها؛ مقاومت به لپتین و کاهش آدیپونکتین در حالت استراحت و تغییرات کندتر آن ها در پاسخ به ورزش حاد در افراد چاق.
مکانیک حرکتی	افزایش نیروهای واکنش زمین، جابجایی مرکز ثقل، تغییر زوایای مفصلی و کاهش شایستگی حرکتی که منجر به خستگی زودرس عضلانی می گردد.
پاسخ روان شناختی	درک بالاتر از میزان فشار و تلاش (RPE)، کاهش لذت از فعالیت بدنی و موانع ذهنی برای استمرار تمرینات منظم هوای یا ترکیبی.

تاثیر پلی مورفیسم های ژنی (مانند ۲۶۶۷۲۹۲S) بر سرعت و میزان تغییرات مثبت در ترکیب بدنی و حساسیت به هورمون های متابولیک.

سازگاری ژنتیکی

پیشینه پژوهش

مرور ادبیات پژوهشی در حوزه فیزیولوژی ورزش نشان می دهد که محققان از زوایای گوناگونی به بررسی تفاوت های پاسخ بدنی میان افراد با وزن طبیعی و افراد دارای اضافه وزن پرداخته اند. در یکی از مطالعات پیشگام در این زمینه، تفاوت های معناداری در میزان پایداری به برنامه های ورزشی و همچنین پاسخ های حاد قلبی به فعالیت های فیزیکی مشاهده شد. محققان دریافتند که افراد چاق به دلیل تحمل بار اضافی فیزیکی، ضربان قلب بالاتری را در مراحل اولیه تمرین تجربه می کنند و فرآیند بازگشت به حالت اولیه در آن ها با تاخیر بیشتری همراه است. این یافته ها تایید می کند که سیستم عصبی خودکار در افراد دارای اضافه وزن، در تنظیم تعادل سمپاتیک و پاراسمپاتیک پس از استرس ورزشی، دچار اختلالات نسبی است که نیازمند دوره های ریکاوری طولانی تری می باشد. همچنین مشخص شد که این افراد تمایل کمتری به ادامه برنامه های ورزشی با شدت بالا دارند که این خود ناشی از پاسخ های نامطلوب روان شناختی و درک بالای فشار در حین تمرین است (دیویس و همکاران، ۲۰۰۶).

در پژوهشی دیگر که بر روی بررسی حالت های مختلف تمرینی متمرکز بود، پاسخ های فیزیولوژیک افراد دارای اضافه وزن به روش های گوناگون تمرینات ورزشی مورد ارزیابی دقیق قرار گرفت. نتایج این بررسی ها حاکی از آن بود که اگرچه تمرینات هوازی مداوم منجر به بهبود شاخص های استقامتی می گردد، اما ترکیب آن با تمرینات مقاومتی می تواند مزایای مضاعفی در تغییر ترکیب بدنی و حفظ توده عضلانی بدون چربی به همراه داشته باشد. در واقع، پاسخ های فیزیولوژیک حاد به تمرینات مقاومتی در این افراد، شامل افزایش قابل توجه در سنتز پروتئین و بهبود حساسیت به انسولین بود که در ترکیب با اثرات چربی سوزی تمرینات هوازی، یک رویکرد جامع را برای مقابله با چاقی فراهم می سازد. این مطالعات به وضوح نشان دادند که تنوع در روش های تمرینی، کلید غلبه بر فلات های فیزیولوژیک در مسیر کاهش وزن است (کلارک، ۲۰۱۰).

با توسعه روش های نوین سنجش بیومکانیک و شایستگی های حرکتی، پژوهشگران ایرانی نیز مطالعات ارزشمندی را بر روی جمعیت دانش آموزان انجام داده اند. بررسی مقایسه ای شایستگی حرکتی کودکان دبستانی در شهر تهران، پرده از تفاوت های چشمگیر میان گروه های دارای وزن طبیعی، اضافه وزن و چاق برداشت. نتایج حاکی از ضعف مشهود کودکان چاق در اجرای مهارت های دستکاری، جابجایی و تعادلی بود که به صورت مستقیم با میزان توده چربی بدن آن ها ارتباط منفی داشت. این ضعف در شایستگی حرکتی، نه تنها به عنوان یک پیامد فیزیولوژیک از چاقی در نظر گرفته می شود، بلکه خود به عنوان عاملی بازدارنده، از مشارکت فعال این کودکان در بازی ها و تمرینات ورزشی مانع به عمل می آورد. این چرخه معیوب ضرورت توجه جدی به تمرینات اصلاحی و مهارت محور را در کنار تمرینات فیزیولوژیک نشان می دهد (سبزواری و همکاران، ۱۳۹۹).

همچنین در بررسی های تخصصی بر روی ابزارهای ورزشی در دسترس و ساده مانند طناب زنی، مشخص گردید که تمرینات متناوب با شدت متوسط می تواند تاثیرات بسیار شگرفی بر روی شاخص های آمادگی جسمانی نوجوانان پسر ایجاد کند. تمرینات طناب زنی به دلیل ماهیت پلايومتریک و درگیری همزمان سیستم های هوازی و بی هوازی، باعث تحریک مسیرهای متابولیکی متنوعی در بدن کودکان دارای اضافه وزن می شود. بررسی ها نشان داد که یک دوره هشت هفته ای از این تمرینات، بهبود قابل توجهی در استقامت قلبی عروقی، قدرت عضلات اندام تحتانی و کاهش درصد چربی بدن به همراه داشته است. این یافته ها ثابت می کنند که حتی ابزارهای ساده، در صورت کاربرد مستمر و با برنامه، می توانند پاسخ های فیزیولوژیک بسیار مثبتی را در مقابله با چاقی نوجوانان ایجاد نمایند (شیخ الاسلامی وطنی و جهانی، ۱۳۹۳).

جدول ۲. خلاصه پیشینه پژوهش های انجام شده پیرامون پاسخ های فیزیولوژیک و عملکردی به ورزش در گروه های وزنی مختلف

پژوهشگران (سال)	هدف اصلی مطالعه	جامعه آماری	یافته های کلیدی فیزیولوژیک / عملکردی
(دیویس و همکاران، ۲۰۰۶)	بررسی پایداری و پاسخ های اولیه به ورزش	بزرگسالان طبیعی و چاق	تاخیر در ریکاوری ضربان قلب و میزان پایداری کمتر در گروه اضافه وزن به دلیل درک فشار بالا.
(کلارک، ۲۰۱۰)	ارزیابی حالت های مختلف تمرینی	افراد دارای اضافه وزن	برتری تمرینات ترکیبی در حفظ توده عضلانی و بهبود حساسیت انسولینی نسبت به هوازی صرف.
(ویلیس و همکاران، ۲۰۱۲)	اثر تمرینات هوازی و مقاومتی بر توده چربی	بزرگسالان چاق	کاهش معنادار توده چربی در گروه تمرینات هوازی، در حالی که تمرینات مقاومتی بر حجم عضلانی موثر بود.
(سبزواری و همکاران، ۱۳۹۹)	مقایسه شایستگی حرکتی کودکان دبستانی	کودکان تهرانی	ضعف شدید مهارت های جایابی و تعادلی در کودکان چاق و لزوم مداخلات مهارت محور.
(جهاندیده و همکاران، ۱۴۰۰)	بررسی اثر تمرین ترکیبی بر لپتین و آدیپونکتین	پسران چاق	کاهش معنادار سطوح لپتین پلاسما و افزایش شاخص آدیپونکتین پس از ۸ هفته تمرین.

روش پژوهش

روش انجام این پژوهش بر مبنای مطالعات کتابخانه ای و به صورت یک مقاله مروری توصیفی-تحلیلی طراحی و اجرا شده است. در این راستا، با استفاده از کلیدواژه های تخصصی مرتبط با موضوع از جمله پاسخ های فیزیولوژیک، دانش آموزان پسر، اضافه وزن، شایستگی حرکتی و تمرینات ورزشی، جستجوی گسترده ای در پایگاه های اطلاعاتی معتبر داخلی و خارجی و با بررسی دقیق متون و مقالات علمی منتشر شده صورت پذیرفت. پس از جمع آوری منابع ارسالی و بررسی اعتبار علمی آن ها، داده های مرتبط با اهداف و سوالات پژوهش استخراج گردیده و با رویکردی انتقادی و مقایسه ای مورد تجزیه و تحلیل و دسته بندی موضوعی قرار گرفتند تا تصویری جامع از تفاوت های فیزیولوژیک میان دو گروه هدف ترسیم گردد.

یافته ها

بخش یافته های این مقاله مروری، با تکیه بر تحلیل عمیق و ترکیبی منابع علمی موجود، به تشریح و توصیف دقیق پاسخ های سیستم های مختلف بدن دانش آموزان پسر دارای وزن طبیعی و اضافه وزن به فعالیت های ورزشی می پردازد. این توصیفات به منظور ارائه پاسخی جامع به سوالات پژوهش، در قالب بخش های مجزا و با جزئیات کامل ارائه شده اند تا تمایزات بنیادین فیزیولوژیک و بیومکانیکی میان این دو گروه به روشنی نمایان گردد.

پاسخ های دینامیک قلبی و تنفسی به استرس ورزشی

دینامیک سیستم قلبی تنفسی در مواجهه با فشارهای ناشی از تمرینات ورزشی، یکی از شاخص ترین حوزه های تفاوت میان افراد با ترکیب بدنی متفاوت است. در دانش آموزان پسر دارای وزن طبیعی، شروع فعالیت ورزشی با افزایش خطی و متناسب ضربان قلب نسبت به شدت تمرین همراه است و سیستم قلبی عروقی با کارایی بالا، حجم ضربه ای را به حداکثر رسانده و اکسیژن رسانی به بافت ها را بهینه می کند. با این حال، در افراد چاق، نتایج آزمون های ورزشی قلبی تنفسی (CPET) نشان دهنده یک الگوی کاملاً متفاوت و چالش برانگیز است. این افراد به دلیل نیاز مبرم به پرفیوژن بافت های چربی گسترده و جابجایی توده بدنی سنگین تر، ضربان قلب پایه بسیار بالاتری دارند و در شدت های پایین تر تمرینی، به سرعت به حداکثر ضربان قلب مجاز خود نزدیک می شوند. این پدیده باعث می شود که ذخیره قلبی (تفاوت بین حداکثر ضربان قلب و ضربان قلب استراحت) در این افراد به شدت کاهش یافته و ظرفیت آن ها برای انجام تمرینات استقامتی طولانی مدت محدود گردد. علاوه بر این، سینتیک مصرف اکسیژن در نوجوانان چاق کندتر بوده و آن ها برای رسیدن به حالت پایدار متابولیک در حین تمرین نیازمند زمان بیشتری هستند (گونز و همکاران، ۲۰۲۱).

در دوره بازگشت به حالت اولیه یا ریکاوری پس از اتمام ورزش نیز تفاوت های بارزی مشاهده می شود. دانش آموزان با وزن طبیعی به دلیل عملکرد مطلوب سیستم عصبی پاراسمپاتیک، در دقایق اولیه پس از تمرین شاهد افت سریع و چشمگیر ضربان قلب خود هستند که نشان دهنده سلامت قلبی عروقی آن هاست. اما در پسران دارای اضافه وزن، کندی در کاهش ضربان قلب ریکاوری یکی از نشانه های شایع اختلال در تعادل اتونومیک قلب محسوب می شود. این تاخیر در بازگشت به حالت پایه، ریسک آریتمی های قلبی را در شدت های بالای تمرین افزایش می دهد و نشان می دهد که برنامه ریزی شدت تمرینات برای این گروه باید با ملاحظات بسیار سخت گیرانه تری همراه باشد. همچنین پاسخ های فشار خون سیستولیک در این افراد معمولاً با نوسانات شدیدتری همراه است که ناشی از افزایش مقاومت عروق محیطی است. بنابراین ارزیابی دقیق این دینامیک قلبی برای پیشگیری از حوادث ناگوار ورزشی در مدارس امری غیر قابل انکار است (ولا و همکاران، ۲۰۰۹).

تحولات هورمونی و آدیپوکین ها در اثر مداخلات ورزشی

بافت چربی دیگر به عنوان یک بافت خنثی در نظر گرفته نمی شود، بلکه منبع اصلی تولید طیف وسیعی از پروتئین های فعال زیستی به نام آدیپوکین ها است که به طور مستقیم بر پاسخ های فیزیولوژیک ورزش تاثیر می گذارند. در نوجوانان پسر چاق، سطح پایه لپتین خون به دلیل افزایش حجم بافت چربی به شدت بالاست که این وضعیت با ایجاد مقاومت به لپتین، سیگنال های سیری در هیپوتالاموس را مختل می کند. انجام هشت هفته تمرینات ورزشی ترکیبی (هوازی-مقاومتی) توانسته است تغییرات بسیار معناداری در این پروفایل هورمونی ایجاد نماید. فعالیت های منظم بدنی با کاهش حجم سلول های چربی، منجر به افت چشمگیر مقادیر لپتین پلاسمای خون در این پسران می گردد که این کاهش، ارتباط مستقیمی با بهبود ترکیب بدنی و کاهش توده چربی کل بدن دارد. از سوی دیگر، آدیپونکتین که در حالت چاقی سرکوب می شود، با انجام مستمر این تمرینات ترکیبی روند افزایشی به خود می گیرد. افزایش آدیپونکتین به نوبه خود باعث تسهیل اکسیداسیون اسیدهای چرب در عضلات اسکلتی و بهبود چشمگیر حساسیت به انسولین می شود که پاسخی حیاتی برای پیشگیری از دیابت نوع دو در این سنین است (جهانپنده و همکاران، ۱۴۰۰).

مقایسه این پاسخ های هورمونی در دو گروه نشان می دهد که در دانش آموزان دارای وزن طبیعی، نوسانات این هورمون ها در پاسخ به یک جلسه ورزش حاد بسیار اندک است، زیرا سیستم متابولیک آن ها در حالت تعادل قرار دارد. اما در گروه دارای اضافه وزن، هر مداخله ورزشی منظم به عنوان یک تنظیم کننده قدرتمند عمل کرده و تلاش می کند تا هموستاز هورمونی را مجدداً برقرار سازد. جالب توجه است که اثربخشی تمرینات هوازی و مقاومتی بر این تغییرات هورمونی متفاوت است؛ در حالی که تمرینات هوازی بیشتر بر کاهش سطح لپتین موثر هستند، تمرینات مقاومتی از طریق مکانیسم های مرتبط با هایپرتروفی عضلانی و تغییر مسیرهای پیام رسان درون سلولی، نقش پررنگ تری در افزایش ترشح

آدیپونکتین ایفا می کنند. ترکیب این دو شیوه تمرینی، یک هم افزایی بی نظیر فیزیولوژیک ایجاد می کند که بازدهی مداخلات درمانی را برای کاهش عوارض چاقی در جوانان به حداکثر ممکن می رساند (ویلپس و همکاران، ۲۰۱۲).

تفاوت های بیومکانیکی و چالش های شایستگی حرکتی

جنبه های بیومکانیکی حرکت، یکی دیگر از محورهای اصلی مقایسه بین دو گروه وزن طبیعی و اضافه وزن است. بررسی های آزمایشگاهی بر روی مکانیک دویدن نشان داده است که افراد چاق به منظور جبران عدم تعادل ناشی از جرم اضافی، تغییرات سینماتیکی و سینتیکی گسترده ای را در الگوی راه رفتن و دویدن خود اعمال می کنند. این دانش آموزان معمولاً با زاویه بازتر مفاصل لگن و زانو در فاز اتکای دویدن مواجه هستند تا بتوانند نیروهای وارده به مفاصل را بهتر توزیع کنند. با این حال، این الگوهای جبرانی منجر به افزایش زمان فاز استقرار پا بر روی زمین و کاهش فرکانس گام برداری می شود. نتیجه این تغییرات بیومکانیکی، کاهش راندمان مکانیکی و افزایش هزینه انرژی اکسیژنی برای طی کردن یک مسافت مشخص است. به عبارت دیگر، یک دانش آموز چاق برای دویدن در سرعت برابر با همتای وزن طبیعی خود، باید انرژی متابولیک بسیار بیشتری صرف کند که این خود یکی از دلایل اصلی خستگی زودرس در این گروه محسوب می شود (پیری ابراهیم و جعفرنژادگرو، ۱۴۰۲).

این محدودیت های مکانیکی به طور مستقیم بر توسعه مهارت ها و شایستگی های حرکتی کودکان دبستانی نیز اثرگذار است. فقدان توانمندی لازم برای کنترل و جابجایی توده بدنی در فضا، باعث افت شدید در نمرات آزمون های مهارت های بنیادی مانند دویدن، پریدن، و حفظ تعادل پویا می گردد. در مقابل، کودکان با وزن طبیعی با برخورداری از نسبت مطلوب قدرت به وزن، به راحتی قادر به اجرای مهارت های پیچیده حرکتی هستند که این امر موجب افزایش اعتماد به نفس و تمایل بیشتر آن ها به مشارکت در بازی های گروهی می شود. این چرخه محدودیت حرکتی در دانش آموزان دارای اضافه وزن، ضرورت ادغام تمرینات هماهنگی عصبی عضلانی و اصلاح الگوهای گام برداری را در برنامه های ورزشی مدارس برجسته می سازد. استفاده از تمریناتی نظیر طناب زنی که نیازمند هماهنگی بالا و کنترل مرکز ثقل است، می تواند به عنوان راهکاری موثر برای بهبود این شایستگی های حرکتی و همزمان ارتقای سطح آمادگی قلبی عروقی مورد استفاده قرار گیرد (سبزواری و همکاران، ۱۳۹۹).

تاثیر زمان بندی و نوع تمرینات بر سازگاری های فیزیولوژیک

علاوه بر ماهیت ساختاری بدن، عوامل محیطی و برنامه ریزی تمرینی نظیر زمان انجام ورزش نیز پاسخ های فیزیولوژیک متفاوتی را در افراد چاق رقم می زند. پژوهش های اخیر نشان داده اند که ریتم های سیرکادین (شبانه روزی) تاثیر قابل توجهی بر میزان چربی سوزی و اثربخشی تمرینات هوازی دارند. انجام فعالیت های ورزشی هوازی در نوبت صبح نسبت به نوبت عصر، می تواند در دانش آموزان دارای اضافه وزن به دلیل پایین بودن سطح گلیکوژن کبد پس از یک شبانه روز ناشتایی، منجر به اتکای بیشتر بدن به متابولیسم چربی ها برای تامین انرژی گردد. این استراتژی فیزیولوژیک نه تنها موجب تسریع در روند کاهش وزن می گردد، بلکه بهبود قابل توجهی در شاخص های مرتبط با آمادگی جسمانی استقامتی ایجاد می کند که اجرای آن در ساعات اولیه مدارس می تواند توجیه علمی قدرتمندی داشته باشد (سان و همکاران، ۲۰۲۵).

در بررسی مقایسه ای انواع متدهای تمرینی، استفاده از ابزارهای نوین مانند کتل بل در مقایسه با تمرینات سنتی با وزن بدن، پاسخ های انطباقی متفاوتی را در نوجوانان دارای اضافه وزن به همراه داشته است. تمرینات کتل بل به دلیل درگیری زنجیره خلفی بدن و ماهیت بالستیک حرکات، موجب افزایش سریع تر ضریب قلب و رسیدن به آستانه بی هوازی در زمان کوتاه تری می شود که این امر محرک بسیار قدرتمندی برای تشریح هورمون رشد و بهبود قدرت عضلانی است. در مقابل، تمرینات مقاومتی با استفاده از وزن خود فرد، به دلیل چالش های بیومکانیکی حمل وزن اضافی، ممکن است در ابتدا با دشواری ها و خطرات آسیب دیدگی مفصلی همراه باشد. با این وجود، شواهد نشان می دهند که اگر این تمرینات با

رویکردی ترکیبی همراه با برنامه های هوازی منظم ساختاریافته اعمال شوند، بهترین نتایج را در بهبود شاخص های ذهنی و عینی مرتبط با تغییرات ترکیب بدنی در دانش آموزان چاق به ارمغان می آورند (گوینداسامی و همکاران، ۲۰۲۴).

نقش متغیرهای ژنتیکی در پاسخ های متابولیک

یکی از پیشرفته ترین مباحث در تحلیل تفاوت های فیزیولوژیک، بررسی ردپای ژنتیک در نحوه پاسخ دهی به استرس های ورزشی است. همه دانش آموزان دارای اضافه وزن به یک میزان نسبت به یک برنامه ورزشی مشابه واکنش نشان نمی دهند و این تفاوت تا حد زیادی ریشه در پلی مورفیسیم های ژنی دارد. به عنوان مثال، ژنوتیپ های مختلف ژن ADIPOQ که مستقیماً با ساختار و عملکرد هورمون آدیپونکتین در ارتباط است، نقش تعیین کننده ای در میزان تغییرات ترکیب بدنی پس از دوره های تمرینی ایفا می کنند. دانش آموزانی که دارای واریانت های ژنتیکی مطلوب در این جایگاه هستند، پس از مداخلات ورزشی، با سرعت و شدت بیشتری چربی های احشایی را از دست داده و شاهد بهبود نمایه های التهابی خون خود خواهند بود. این در حالی است که حاملان ژنوتیپ های دیگر ممکن است برای دستیابی به تغییرات مشابه، نیازمند افزایش حجم یا شدت تمرینات باشند. این یافته های مولکولی ثابت می کنند که رویکرد "یک نسخه برای همه" در تجویز ورزش برای دانش آموزان پسر چاق کارایی نداشته و حرکت به سمت تجویز های مبتنی بر ویژگی های فردی و ژنتیکی، آینده علم تمرین در حوزه مدیریت وزن را رقم خواهد زد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۳).

جدول ۳. مقایسه جامع پاسخ های سیستم های مختلف فیزیولوژیک در دانش آموزان دارای وزن طبیعی و اضافه وزن

حوزه های فیزیولوژیک ارزیابی شده	پاسخ در گروه دارای وزن طبیعی	پاسخ در گروه دارای اضافه وزن و چاق	نوع تمرین و مداخله گر
سینتیک ضربان قلب	افزایش متناسب و ریکاوری سریع پاراسمپاتیک	رسیدن سریع به حداکثر و تاخیر در ریکاوری	تمرینات مداوم هوازی و تست های CPET
تغییرات آدیپونکتین و لپتین	نوسانات محدود و حفظ هموستاز متابولیک	کاهش لپتین و افزایش آدیپونکتین پس از دوره	هشت هفته تمرینات ترکیبی هوازی و مقاومتی
بیومکانیک و مهارت حرکتی	الگوی گام برداری کارآمد با شایستگی بالا	افزایش زمان تماس با زمین، زاویه باز مفاصل	دویدن، طناب زنی و تست های مهارت پایه
تاثیر زمان تمرین بر چربی سوزی	تفاوت های جزئی بین تمرین صبح و عصر	افزایش معنادار چربی سوزی در تمرینات صبحگاهی	تمرینات منظم هوازی در ساعات مختلف روز
پاسخ های مرتبط با ساختار ژنتیکی	پاسخ های یکنواخت به برنامه های همگانی	تفاوت شدید در کاهش وزن بر اساس ژن ADIPOQ	پلی مورفیسیم های فردی در پروتکل های ترکیبی

ابعاد روان شناختی و درک شناختی از تمرین در دانش آموزان چاق نیز به طور غیرمستقیم بر پاسخ های فیزیولوژیک آن ها اثر می گذارد. مطالعات تجربی نشان داده اند که وقتی افراد دارای وزن طبیعی با اضافه کردن وزنه های خارجی به بدن خود تلاش می کنند تا شرایط فیزیولوژیک افراد چاق را شبیه سازی کنند، پاسخ های عاطفی و احساس خستگی آن ها به شدت افزایش می یابد. این شبیه سازی های تجربی به وضوح نشان می دهند که بار اضافی فیزیکی، نه تنها قلب و عضلات را خسته می کند، بلکه بار شناختی عظیمی را بر سیستم عصبی مرکزی تحمیل کرده و انگیزه درونی

برای ادامه فعالیت را کاهش می دهد. بنابراین، درک این شرایط روان تنی توسط مربیان و اتخاذ استراتژی های حمایتی برای ارتقای تاب آوری روانی دانش آموزان چاق، پیش شرط اساسی برای موفقیت در اجرای هرگونه برنامه تمرینی فیزیولوژیک محسوب می گردد (روگسگر، ۲۰۲۵). بررسی جامع این مستندات به صراحت بیان می کند که تجویز برنامه های تمرینی برای دانش آموزان دارای اضافه وزن نباید صرفا کپی برداری از برنامه های معمول ورزشی باشد. ادغام هوشمندانه تمرینات هوازی برای ارتقای ظرفیت قلبی تنفسی با تمرینات مقاومتی متناسب برای تقویت ساختار عضلانی و اسکلتی، در کنار توجه به محدودیت های بیومکانیکی و ویژگی های ژنتیکی، یک ضرورت انکارناپذیر است. شواهد متقن نشان می دهند که اگرچه مسیر انطباق فیزیولوژیک در دانش آموزان چاق دشوارتر و پیچیده تر است، اما پلاستیسیته فوق العاده سیستم های متابولیک بدن در سنین رشد این نوید را می دهد که با مداخلات هدفمند و علمی، دستیابی به سلامت پایدار و بازگشت به مسیر طبیعی رشد جسمانی کاملا امکان پذیر خواهد بود (لی و هو، ۲۰۲۵).

استفاده از تمریناتی با ماهیت تناوبی و ابزارهایی که فشار بر مفاصل را کاهش می دهند، می تواند تا حد زیادی چالش های بیومکانیکی را دور زده و محرک فیزیولوژیک لازم برای چربی سوزی را فراهم آورد. به عنوان مثال، تمرینات داخل آب یا دوچرخه سواری برای دانش آموزانی که از درد مفاصل زانو در حین دویدن رنج می برند، جایگزین های بسیار مناسبی هستند که همان پاسخ های قلبی و عروقی مطلوب را بدون تحمیل نیروهای مخرب واکنش زمین ایجاد می کنند. از سوی دیگر، تمرینات طناب زنی با وجود ماهیت پرشی، به دلیل کوتاه بودن زمان تماس با زمین و توزیع نیرو در کل اندام تحتانی، توانسته اند پاسخ های بی نظیری در ارتقای توان بی هوازی نوجوانان چاق ثبت کنند (شیخ الاسلامی وطنی و جهانی، ۱۳۹۳).

در نهایت، موفقیت در مدیریت پاسخ های فیزیولوژیک، نیازمند پایش مداوم و استفاده از بازخوردهای فیزیولوژیک در طول دوره تمرین است. این پایش ها می تواند شامل اندازه گیری های ساده مانند ضربان قلب ریکآوری و شاخص توده بدنی تا ارزیابی های پیچیده تر مانند پروفایل هورمونی خون باشد. آنچه مسلم است، شناخت دقیق این تمایزات عملکردی بین پسران دانش آموز با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن، پنجره ای جدید به سوی طراحی مداخلات ورزشی دقیق تر، ایمن تر و اثربخش تر می گشاید که هدف غایی آن، ارتقای سطح سلامت عمومی و پیشگیری از بیماری های مزمن در نسل های آینده است (الکینگتون و همکاران، ۲۰۱۷).

بحث و نتیجه گیری

بررسی و تحلیل جامع پاسخ های فیزیولوژیک دانش آموزان پسر دارای وزن طبیعی و اضافه وزن به تمرینات ورزشی، تصویری بسیار روشن از پیچیدگی های عملکردی بدن انسان در مواجهه با چالش های فیزیکی و متابولیکی ناشی از چاقی ارائه می دهد. نتایج این پژوهش مروری به وضوح نشان داد که توده چربی مازاد در بدن تنها یک بار مکانیکی ساده نیست، بلکه به عنوان یک سیستم فعال اندوکرین، تمامی ارکان پاسخ دهی فیزیولوژیک بدن به استرس ورزشی را تحت الشعاع قرار می دهد. از منظر سیستم قلبی و عروقی، دانش آموزان دارای اضافه وزن با چالش های بزرگی نظیر کاهش دامنه ضربان قلب ذخیره، کندی در سرعت ریکآوری و افزایش غیرطبیعی فشار خون در حین فعالیت های ورزشی مواجه هستند. این عوامل باعث می شوند تا ظرفیت کار استقامتی در این گروه به شدت کاهش یافته و احساس خستگی زود هنگام، مانع از مشارکت مستمر آن ها در زنگ های ورزش مدارس گردد. در مقابل، دانش آموزان با وزن طبیعی به دلیل برخورداری از هماهنگی عصبی عضلانی مطلوب و کارایی بالای سیستم پاراسمپاتیک، با بهره وری بسیار بالاتری تمرینات مشابه را پشت سر می گذارند.

از زاویه متابولیک و هورمونی، یافته ها بر نقش محوری آدیپو کین ها نظیر لپتین و آدیپونکتین در فرآیند سازگاری با ورزش تاکید دارند. وجود مقاومت به لپتین و کاهش سطح پایه آدیپونکتین در دانش آموزان چاق، یک محیط پیش التهابی را در بدن ایجاد می کند که روند چربی سوزی و

اکسیداسیون سوبستراها را در حین فعالیت ورزشی با کندی مواجه می سازد. با این وجود، یکی از امیدوارکننده ترین نتایج این بررسی ها، قابلیت بالای انعطاف پذیری متابولیک در این سنین است؛ به طوری که اجرای مستمر و برنامه ریزی شده تمرینات ترکیبی، شامل فازهای هوازی و مقاومتی، توانایی شگرفی در معکوس کردن این روند مخرب هورمونی دارد. تنظیم مجدد ترشحات غدد درون ریز از طریق ورزش، حساسیت به انسولین را ارتقا داده و بستر لازم برای تغییرات مثبت در ترکیب بدنی را فراهم می آورد.

همچنین تحلیل های بیومکانیکی روشن ساخت که الگوهای حرکتی دانش آموزان دارای اضافه وزن برای جبران بی ثباتی فیزیکی دچار تغییرات جبرانی ناکارآمدی می شود که نه تنها راندمان مصرف انرژی را کاهش می دهد، بلکه ریسک آسیب دیدگی مفاصل تحمل کننده وزن را به شدت بالا می برد. ضعف در شایستگی های حرکتی بنیادی، مستقیماً از همین محدودیت های بیومکانیکی نشأت می گیرد و نشان می دهد که برنامه های ورزشی مدارس برای این گروه هدف، باید تمرکز ویژه ای بر تمرینات اصلاحی، تعادلی و مهارت محور داشته باشند. در نهایت، توجه به زمان بندی اجرای تمرینات و در نظر گرفتن پلی مورفیسم های ژنتیکی که پاسخ های انفرادی به مداخلات ورزشی را تعیین می کنند، رویکردهای نوینی هستند که می توانند بازدهی برنامه های کاهش وزن را به حداکثر برسانند. در مجموع، موفقیت در بهبود وضعیت سلامت فیزیولوژیک و روان شناختی دانش آموزان پسر دارای اضافه وزن، در گرو اتخاذ یک رویکرد جامع، مستمر، علمی و کاملاً شخصی سازی شده است که محدودیت ها و پتانسیل های منحصر به فرد بیولوژیکی آن ها را به رسمیت بشناسد و با حمایت های روانی مناسب همراه باشد.

منابع

۱. پیری ابراهیم، ج.، و جعفر نژادگرو، ا. (۱۴۰۲). مروری بر مکانیک دویدن در افراد چاق یا دارای اضافه وزن. مجله بیومکانیک ورزشی، ۱۶(۱)، ۳۱-۱۶.
۲. جهاننیده، ع. ا.، روحانی، ه.، رجبی، ح.، و شریعت زاده جنیدی، م. (۱۴۰۰). تأثیر هشت هفته تمرین ورزشی ترکیبی بر مقادیر لپتین و آدیپونکتین پلاسماي پسران چاق. مطالعات کاربردی تندرستی در فیزیولوژی ورزش، ۸(۲)، ۳۳-۲۵.
۳. سبزواری، ح.، شهرزاد، ن.، و بهرام، ع. (۱۳۹۹). مقایسه شایستگی حرکتی کودکان دبستانی چاق، دارای اضافه وزن و طبیعی شهر تهران. دوماهنامه علمی - پژوهشی طب توانبخشی، ۱۹(۱)، ۱۱۴-۱۲۲.
۴. شیخ الاسلامی وطنی، د.، و جهانی، ن. (۱۳۹۳). تأثیر تمرینات طناب زنی بر شاخص های آمادگی جسمانی پسران ۹-۱۲ ساله دارای اضافه وزن و چاق. مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش، ۲(۳)، ۶۰-۷۱.
۵. محمدی، ز.، فتاح ستوده نژاد، -، نعمت الهی، -، و زارع کاریزی، ش. (۱۴۰۳). مقایسه پاسخ ترکیب بدن کودکان چاق به تمرینات ورزشی بر اساس ژنوتیپ پلی مورفیسم ADIPOQ ژن ۲۶۶۷۲۹۱S. فیزیولوژی ورزشی، ۱۷(۶۴)، ۱۷-۳۴.

۱. Clark, J. E. (۲۰۱۰). Examining matched acute physiological responses to various modes of exercise in individuals who are overweight. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(۸), ۲۲۳۹-۲۲۴۸.

۲. Vella, C. A., Zubia, R. Y., Burns, S. F., & Ontiveros, D. (۲۰۰۹). Cardiac response to exercise in young, normal weight and overweight men and women. *European journal of applied physiology*, 105(۳), ۴۱۱-۴۱۹.
۳. Gonze, B. D. B., Ostolin, T. L. V. D. P., Barbosa, A. C. B., Matheus, A. C., Sperandio, E. F., Gagliardi, A. R. D. T., ... & Dourado, V. Z. (۲۰۲۱). Dynamic physiological responses in obese and non-obese adults submitted to cardiopulmonary exercise test. *PLoS One*, 16(۸), e۰۲۵۵۷۲۴.
۴. Davis, J. N., Hodges, V. A., & Gillham, M. B. (۲۰۰۶). Physical activity compliance: differences between overweight/obese and normal-weight adults. *Obesity*, 14(۱۲), ۲۲۵۹-۲۲۶۵.
۵. Sun, J., Jia, N., Xu, Y., Guo, D., Lu, T., Chen, J., ... & Chen, T. (۲۰۲۵). Comparative effectiveness of morning and evening aerobic exercise on weight loss and physical fitness in Chinese college students with overweight and obesity. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17(۱), ۱۰۱.
۶. Elkington, T. J., Cassar, S., Nelson, A. R., & Levinger, I. (۲۰۱۷). Psychological responses to acute aerobic, resistance, or combined exercise in healthy and overweight individuals: a systematic review. *Clinical Medicine Insights: Cardiology*, 11, ۱۱۷۹۵۴۶۸۱۷۷۰۱۷۲۵.
۷. Willis, L. H., Slentz, C. A., Bateman, L. A., Shields, A. T., Piner, L. W., Bales, C. W., ... & Kraus, W. E. (۲۰۱۲). Effects of aerobic and/or resistance training on body mass and fat mass in overweight or obese adults. *Journal of applied physiology*, 113(۱۲), ۱۸۳۱-۱۸۳۷.
۸. Li, Y., & Hu, Y. (۲۰۲۵). Is aerobic combined with resistance training a more suitable exercise program for obese college students? Evidence-based on subjective reports and objective measurements. *Frontiers in Physiology*, 16, ۱۶۷۵۲۰۵.
۹. Ruegsegger, G. N. (۲۰۲۵). Exploring physiological and emotional responses to exercise with additional body mass: an experiential learning activity. *Advances in Physiology Education*, 49(۲), ۴۷۱-۴۸۱.
۱۰. Govindasamy, K., Gogoi, H., Jebabli, N., Bediri, S. M., Aljahni, M., Parpa, K., ... & Zouhal, H. (۲۰۲۴). The effects of kettlebell training versus resistance training using the own body mass on physical fitness and physiological adaptations in obese adults: a randomized controlled trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(۱), ۱۰۶.