

**BORYCKA, Aleksandra, JĘDRZEJEWSKA, Barbara, KOTULSKA, Maria, LASKUS, Paulina, LICHMAN, Martyna, LUBCZYŃSKA, Zuzanna, POTOCKA, Zofia, PRZERADZKI, Jakub, RZAŁ, Katarzyna & SZYCA, Magda. A Systematic Review of the Influence of High-Intensity Interval Training on Body Composition and Synthesizing Evidence from Scientific Literature. Journal of Education, Health and Sport. 2023;27(1):76-86. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2023.27.01.008>
<https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/43605>
<https://zenodo.org/record/7915615>**

The journal has had 40 points in Ministry of Education and Science of Poland parametric evaluation. Annex to the announcement of the Minister of Education and Science of December 21, 2021. No. 32343. Has a Journal's Unique Identifier: 201159. Scientific disciplines assigned: Physical Culture Sciences (Field of Medical sciences and health sciences); Health Sciences (Field of Medical Sciences and Health Sciences). Punkty Ministerialne z 2019 - aktualny rok: 40 punktów. Załącznik do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 21 grudnia 2021 r. Lp. 32343. Posiada Unikatowy Identyfikator Czasopisma: 201159. Przynależność dyscypliny naukowej: Nauki o kulturze fizycznej (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu); Nauki o zdrowiu (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu).
© The Authors 2023;
This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Nicolaus Copernicus University in Torun, Poland
Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author (s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non commercial license Share alike. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.
The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.
Received: 17.04.2023. Revised: 20.04.2023. Accepted: 09.05.2023. Published: 09.05.2023.

A Systematic Review of the Influence of High-Intensity Interval Training on Body Composition and Synthesizing Evidence from Scientific Literature

Aleksandra Borycka

Państwowy Instytut Medyczny MSWiA w Warszawie, ul. Wołoska 137, 02-507 Warsaw, Poland
<https://orcid.org/0009-0002-5589-1827>
aborycka1997@gmail.com

Barbara Jędrzejewska

Powiatowe Centrum Zdrowia w Otwocku, ul. Stefana Batorego 44, 05-400 Otwock, Poland
<https://orcid.org/0009-0002-2153-4311>
barbarajedrzejewska97@gmail.com

Maria Kotulska

Państwowy Instytut Medyczny MSWiA w Warszawie, ul. Wołoska 137, 02-507 Warsaw, Poland
<https://orcid.org/0009-0003-9111-6745>
marysia.kotulska1997@gmail.com

Paulina Laskus

Międzyleski Szpital Specjalistyczny w Warszawie, ul. Bursztynowa 2, 04-749 Warsaw, Poland
<https://orcid.org/0009-0006-6882-8797>
paululina.pl@gmail.com

Martyna Lichman

Szpital Chirurgii Urazowej św. Anny, ul. Barska 16/20, 02-315 Warsaw, Poland
<https://orcid.org/0009-0007-5473-4973>
martyna.lichman@gmail.com

Zuzanna Lubczyńska

Szpital Grochowski im. dr med. Rafała Masztaka, ul. Grenadierów 51/59, 04-073 Warsaw, Poland
<https://orcid.org/0000-0002-4860-2508>
zuzanna.smiech@gmail.com

Zofia Potocka

Państwowy Instytut Medyczny MSWiA w Warszawie, ul. Wołoska 137, 02-507 Warsaw, Poland
<https://orcid.org/0009-0008-7738-2795>
zosia@potocka.eu

Jakub Przeradzki

Międzyleski Szpital Specjalistyczny w Warszawie, ul. Bursztynowa 2, 04-749 Warsaw, Poland
<https://orcid.org/0009-0001-2941-6670>
kprzerad@o2.pl

Katarzyna Rząd

Międzyleski Szpital Specjalistyczny w Warszawie, ul. Bursztynowa 2, 04-749 Warsaw, Poland

<https://orcid.org/0009-0000-3611-7479>

kasia.rzad@gmail.com

Magda Szyca

Powiatowe Centrum Zdrowia w Otwocku, ul. Stefana Batorego 44, 05-400 Otwock, Poland

<https://orcid.org/0009-0000-2673-1256>

jakubowskamag7@wp.pl

ABSTRACT**Introduction and objective**

High-intensity interval training (HIIT) involves performing a series of intense exercises interspersed with periods of passive or active rest. HIIT provides changes in body composition and physical fitness. The aim of this study is to determine the impact of HIIT on changes in body composition and compare the results of HIIT with moderate-intensity continuous training (MICT) and resistance training (RT).

Review methods

The PubMed and Google Scholar databases were searched for studies examining the impact of HIIT on changes in body composition. Articles published up to 31.03.2023 were included, with a particular focus on the most recent publications.

State of knowledge

The classification of HIIT considers the intensity, duration and number of bouts during training session, as well as the length of the intervention period. Body composition describes qualitative and quantitative elements in the human body. Improving body composition benefits health and enables better training results. HIIT promotes weight loss, reduces BMI and decreases the content of adipose tissue, including visceral fat. HIIT is equally or more effective than MICT in burning fat tissue. Resistance exercises added to HIIT protocols have a favorable effect on changes in body composition.

Summary

The assessment of HIIT effects on changes in body composition is complicated due to various interpretations of its definition. Further analyses are needed to systematize knowledge of the benefits of different HIIT protocols. Research optimizing them to improve body composition based on age, gender, body mass and presence of metabolic disorders is necessary.

KEY WORDS: high-intensity interval training; body composition; fat mass; fat loss.

WPROWADZENIE I CEL PRACY

Aktywność fizyczna jest czynnikiem oddziałującym wielokierunkowo na ludzki organizm. Regularnie podejmowany wysiłek fizyczny poprawia ogólne samopoczucie, pozytywnie wpływa na zdrowie psychiczne oraz ma zastosowanie w leczeniu i profilaktyce chorób metabolicznych i sercowo-naczyniowych. Zgodnie z zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia (*World Health Organization, WHO*), w celu uzyskania korzystnych

efektów zdrowotnych, rekomenduje się co najmniej 150-300 minut tygodniowo aerobowego wysiłku fizycznego o umiarkowanej intensywności lub 75-150 minut aktywności o dużej intensywności [1].

W ostatnich latach popularność zyskał trening typu interwałowego, charakteryzujący się wykonywaniem serii ćwiczeń o dużej intensywności przerywanych okresami aktywnego lub biernego odpoczynku [2]. Trening interwałowy o wysokiej intensywności (*high-intensity interval training, HIIT*), od 2014 roku, zajmuje istotne miejsce w zestawieniach wiodących trendów fitness opracowywanych przez *American College of Sports and Medicine (ACSM)* [3]. W obecnych czasach, dużą zaletą HIIT jest jego wydajność, dzięki której wykonanie sesji treningowej możliwe jest w stosunkowo krótkim czasie. Różnorodność ćwiczeń wykorzystywanych w protokołach HIIT oraz dowolność w zakresie stosowanego sprzętu sprzyjają dostosowywaniu aktywności do indywidualnych potrzeb [4].

Trening interwałowy skutecznie redukuje poziom tkanki tłuszczowej i poprawia profil metaboliczny, co ma szczególne znaczenie u osób z nadwagą i otyłością [5,6]. HIIT zwiększa intensywność metabolizmu, który utrzymuje się na podwyższonym poziomie także po zakończeniu wysiłku. Zmiany te generują dodatkowy wydatek energetyczny oraz intensyfikują spalanie tkanki tłuszczowej [7,8]. Trening interwałowy stymuluje przemiany anaboliczne w tkance mięśniowej, dlatego u niektórych osób indukuje przyrost masy mięśniowej [9,10] oraz poprawia wytrzymałość i siłę mięśni szkieletowych [11,12]. Opisane efekty modyfikują udział poszczególnych komponentów w składzie ciała.

Celem pracy jest określenie wpływu treningu interwałowego o wysokiej intensywności na zmiany składu ciała oraz porównanie jego rezultatów z treningiem ciągłym o umiarkowanej intensywności (*moderate-intensity continuous training, MICT*) i treningiem oporowym (*resistance training, RT*).

METODY PRZEGLĄDU

Przeprowadzono przegląd dostępnej literatury na temat wpływu treningu interwałowego o wysokiej intensywności na zmiany w składzie ciała. Przeszukano bazy danych PubMed oraz Google Scholar uwzględniając prace opublikowane do 31.03.2023 roku, zawierające kombinacje następujących fraz: *high-intensity interval training, HIIT, body composition, fat loss*. Szczególną uwagę zwrócono najnowsze na publikacje, dotyczące osób powyżej osiemnastego roku życia, z prawidłową masą ciała (BMI 18,50-24,99 kg/m²), nadwagą (BMI 25,00-29,99 kg/m²) lub otyłością (BMI ≥30,00 kg/m²). Odrzucono prace z krótkim okresem interwencji (poniżej 4 tygodni) oraz artykuły ukierunkowane na choroby współistniejące. Wyłączono także badania przeprowadzone na profesjonalnych sportowcach różnych dziedzin.

OPIS STANU WIEDZY

Intensywność wysiłku fizycznego określana jest z wykorzystaniem wartości maksymalnego zużycia tlenu (*maximal oxygen uptake, VO₂max*), tętna maksymalnego (*maximum heart rate, HRmax*) oraz prędkości/mocy, przy której osiągane jest maksymalne zużycie tlenu (*velocity/power at VO₂max, v/pVO₂max*). Pułap tlenowy, definiowany jako maksymalna zdolność organizmu do pobierania i wykorzystywania tlenu, jest jednym z najpopularniejszych wskaźników wydolności fizycznej [13]. Tętno maksymalne to najwyższe tętno osiągane podczas maksymalnego wysiłku. Wartość HRmax jest zależna od wieku i rutynowo obliczana ze wzoru: $HRmax = 220 - \text{wiek}$. U osób aktywnych fizycznie, podczas planowania, monitorowania i oceny efektów treningu, lepiej sprawdzają się bardziej dokładne, wieloczynnikowe formuły służące do określania tętna maksymalnego [14]. Wysiłek submaksymalny oznacza poziom aktywności prowadzący do osiągnięcia 80-90% VO₂max, 85-95% HRmax i 90-120% v/pVO₂max, natomiast o maksymalnej intensywności ćwiczeń świadczy uzyskanie ≥90% VO₂max, ≥95% HRmax i ≥120% v/pVO₂max [15].

HIIT to rodzaj treningu interwałowego, złożony z występujących naprzemiennie submaksymalnego lub maksymalnego wysiłku oraz biernego lub aktywnego odpoczynku w formie ćwiczeń o niskiej do umiarkowanej intensywności [16]. Ze względu na brak precyzyjnej definicji oraz dostępność licznych protokołów treningowych, badania i analizy w zróżnicowany sposób interpretują pojęcie HIIT [17]. Klasyfikacja HIIT opiera się na różnicach w intensywności i czasie trwania fazy ćwiczeń w trakcie sesji treningowej (tab.1), ilości powtórzeń warunkującej całkowity czas wysoko intensywniej aktywności podczas treningu (tab.2) oraz długości okresu interwencji (tab.3) [15].

Protokół HIIT	Czas trwania fazy wysiłku w sesji treningowej	Intensywność
<i>Long-interval HIIT (LI-HIIT)</i>	≥ 2 minuty	Submaksymalna
<i>Moderate-interval HIIT (MI-HIIT)</i>	30 sekund – 2 minuty	
<i>Short-interval HIIT (SI-HIIT)</i>	≤ 30 sekund	Maksymalna
<i>Sprint interval training (SIT)</i>	10 – 30 sekund	
<i>Repeated-sprint training (RST)</i>	≤ 10 sekund	

Tab. 1. Protokoły HIIT w zależności od czasu trwania i intensywności fazy wysiłku w sesji treningowej [15].

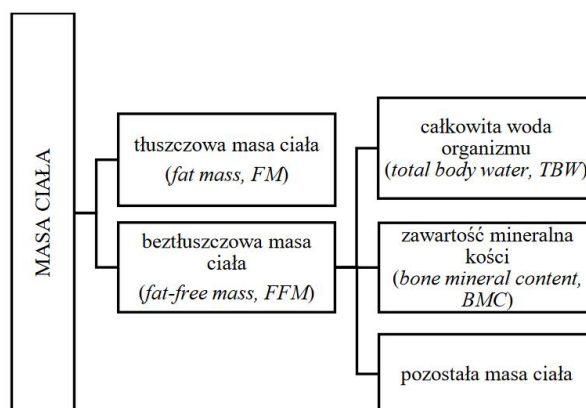
Protokół HIIT	Całkowity czas trwania faz wysiłku w sesji treningowej (czas trwania fazy wysiłku × liczba powtórzeń)
<i>High-volume HIIT (HV-HIIT)</i>	≥ 15 minut
<i>Moderate-volume HIIT (MV-HIIT)</i>	5 – 15 minut
<i>Low-volume HIIT (LV-HIIT)</i>	≤ 5 minut

Tab. 2. Protokoły HIIT w zależności od całkowitego czasu trwania faz wysiłku w sesji treningowej [15].

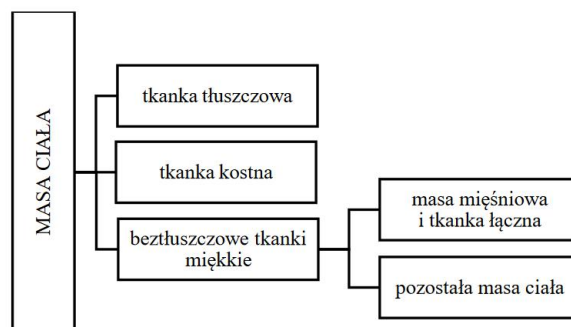
Protokół HIIT	Okres interwencji
<i>Long-term HIIT (LT-HIIT)</i>	≥ 12 tygodni
<i>Moderate-term HIIT (MT-HIIT)</i>	4 – 12 tygodni
<i>Short-term HIIT (ST-HIIT)</i>	≤ 4 tygodnie

Tab. 3. Protokoły HIIT w zależności od długości okresu interwencji [15].

Skład ciała opisuje jakościowo i ilościowo zawartość poszczególnych komponentów w organizmie. Pomiaru składu ciała można dokonać na różnych poziomach złożoności [18, 19]. Wyróżnia się pięć modeli ukazujących ludzki organizm jako zbiór atomów, cząsteczek, komórek, tkanek czy segmentów ciała. W aspekcie klinicznym i naukowym najczęściej wykorzystywany jest czteropodziałowy model molekularny oraz opisujący trzy kompartmenty model tkankowy [18]. Złotym standardem i najlepszym sposobem oceniającym skład ciała jest podejście oparte na schemacie czteropodziałowym, uwzględniającym zawartość masy tłuszczowej, całkowitej wody organizmu, mineralnego składnika kostnego i pozostałych elementów. Pomiary dokonywane tym sposobem pozwalają oszacować zawartość białek w organizmie [20]. Ocena składu ciała i jego modyfikacji pod wpływem aktywności fizycznej wykorzystuje parametry pochodzące z różnych modeli pomiarowych [18].



Ryc. 1. Skład ciała – model molekularny. [18]



Ryc. 2. Skład ciała – model tkankowy. [18]

Pomiary antropometryczne są podstawową, nieinwazyjną formą weryfikacji stopnia odżywienia. Prostota i łatwość oceny antropometrycznej sprawia, że jest ona wykorzystywana powszechnie w praktyce klinicznej i epidemiologii [19]. Tkanka tłuszczowa jest składnikiem ciała cechującym się dużą zmiennością w populacji. Jej zawartość podlega modyfikacji także w ciągu życia człowieka. Nadmiar tkanki tłuszczowej związany jest ze zwiększeniem chorobowości i śmiertelności [21]. Do oceny rozwoju tkanki tłuszczowej wykorzystuje się wskaźnik masy ciała (*body mass index, BMI*; $BMI = \text{masa ciała} / \text{wzrost}^2$), obwód talii (*waist*

circumference, WC), stosunek obwodu talii do obwodu bioder (*waist-hip ratio, WHR*) oraz pomiar grubości fałdu skórniego [19,21]. Zawartość procentowa tkanki tłuszczowej, przypisana danej wartości BMI, różni się w zależności od wieku, płci i pochodzenia etnicznego. BMI nie opisuje dystrybucji tkanki tłuszczowej oraz nie pozwala na oszacowanie ryzyka zaburzeń metabolicznych [19,21]. Obwód talii ocenia objętość brzusznej tkanki tłuszczowej, podczas gdy WHR określa stosunek rozmieszczenia tkanki tłuszczowej w górnej i dolnej części ciała. Pomiar grubości fałdu skórniego uwzględnia stopień rozwinięcia podskórnej tkanki tłuszczowej [19].

Dokładna ocena składu ciała wymaga użycia specjalistycznych urządzeń. Metoda analizy impedancji bioelektrycznej tkanek (*bioelectrical impedance analysis, BIA*), w pomiarach składu ciała, wykorzystuje różnicę w przewodnictwie prądu elektrycznego w przedziale wodnym i tłuszczowym organizmu. Skład ciała może być badany także metodą absorpcyjometrii podwójnej energii promieniowania rentgenowskiego (*dual X-ray absorptiometry, DXA*), pletyzmografii wypieranego powietrza (*air displacement plethysmography, ADP*) czy hydrodensytometrii (*underwater weighing, UWW*). Ogniska tkanki tłuszczowej, ich rozmieszczenie oraz naciekanie narządów wewnętrznych obrazuje się w tomografii komputerowej, rezonansie magnetycznym i badaniu ultrasonograficznym [21].

Aktywność fizyczna oraz interwencje żywieniowe sprzyjają utracie masy ciała, wpływają na modyfikację jego składu i zmniejszają ryzyko występowania chorób związanych z otyłością [16,22]. Zawartość poszczególnych składników w organizmie istotnie oddziałuje na jego kondycję i wydolność. Poprawa składu ciała, polegająca na redukcji tkanki tłuszczowej połączonej ze zwiększeniem masy mięśni szkieletowych, daje korzyści zdrowotne oraz umożliwia osiąganie lepszych rezultatów treningowych [18,20].

W publikacji z 2020 roku Murawska-Ciałowicz i wsp. [23] dokonali oceny wpływu HIIT na zmiany w składzie ciała, wydolność tlenową i beztlenową organizmu oraz stężenie iryzyiny we krwi. Iryzyina to adipomiokina, nazywana „hormonem wysiłku fizycznego”, wydzielana do krwi w trakcie aktywności fizycznej, poprawiająca metabolizm organizmu i zwiększająca jego wydatek energetyczny [23,24]. 8-tygodniowa interwencja HIIT została przeprowadzona w protokole Tabaty u mężczyzn o niskiej codziennej aktywności (grupa badana: $n=15$, wiek 32.39 ± 6.63 lat, BMI 25.75 ± 2.94 kg/m²). Uczestnicy przydzieleni do grupy kontrolnej nie wykonywali ćwiczeń fizycznych ($n=10$, wiek 25.35 ± 3.28 lat, BMI 24.16 ± 2.19 kg/m²). Do oceny składu ciała wykorzystano badanie ultrasonograficzne. Po 8 tygodniach obserwacji, w grupie HIIT, uzyskano istotne statystycznie obniżenie BMI, redukcję masy ciała, FM i %FM oraz wzrost masy ciała szczupłego (*lean body mass, LBM*) i %LBM ($p<0.05$). W trakcie badania w grupie kontrolnej %LBM obniżył się znacząco w stosunku do wartości wyjściowych ($p<0.05$). Ponadto, zaobserwowano istotne statystycznie podwyższenie poziomu iryzyiny we krwi ($+29,7\%$), zwiększenie tolerancji wysiłku (wzrost VO_2max) oraz poprawę wyników w testach badających wydolność tlenową i beztlenową ($p<0.05$). Badanie to wykazało, że regularne wykonywanie HIIT przyspiesza podstawowy metabolizm organizmu oraz jest skutecznym środkiem profilaktycznym i leczniczym u osób ze zbyt wysoką masą ciała.

W innym badaniu, opublikowanym w 2020 roku [25], opisano wpływ 8-tygodniowej interwencji HIIT na skład ciała u młodych mężczyzn z nadwagą. Badanie przeprowadzono wśród osób w wieku 20-30 lat z BMI 25-30 kg/m² ($N=18$), losowo przydzielonych do grupy badanej ($n=10$) i kontrolnej ($n=8$). Ćwiczenia wykonywano 3× w tygodniu. Skład ciała oceniono metodą BIA. Interwencja treningowa doprowadziła do znaczącego obniżenia BMI ($p\leq 0.05$) i WHR ($p<0.05$), natomiast spadek w zakresie %FM nie był istotny statystycznie ($p>0.05$). Pomiędzy badanymi grupami wystąpiła znaczna różnica w zakresie WHR ($p<0.05$). W badaniu dodatkowo oceniono wpływ HIIT na poziom enzymów wątrobowych i profil lipidowy. Zaobserwowano istotne statystycznie obniżenie stężenia enzymów wątrobowych, cholesterolu całkowitego i trójglicerydów.

W pracy opublikowanej w 2023 roku Guo i wsp. [26] ocenili zmiany w składzie ciała indukowane ST-HIIT u młodych kobiet z nadwagą lub otyłością ($N=48$, wiek 18-25 lat, BMI ≥ 25 kg/m²). Interwencja treningowa w grupie badanej polegała na zastosowaniu HIIT 3×/tydzień przez 4 tygodnie. Ćwiczenia wykorzystane w protokole były kombinacją ruchów tanecznych i ćwiczeń wytrzymałościowych. Podczas badania wykonano pomiary antropometryczne oraz ocenę składu ciała metodą BIA. W grupie HIIT istotne zmiany zaobserwowano w zakresie WC i %FM ($p<0.05$), przy braku zmian w grupie kontrolnej. W badaniu udowodniono, że nawet 4-tygodniowa interwencja HIIT może skutecznie zredukować zawartość tkanki tłuszczowej i zmniejszyć obwód talii u młodych kobiet z nadmierną masą ciała.

Roy i wsp. [27] przeprowadzili 12-miesięczną obserwację efektów HIIT u osób z podwyższoną masą ciała ($N=250$, wiek ≥ 18 lat, BMI ≥ 27 kg/m²). Uczestnicy wybierali przynależność do grupy wykonującej HIIT (3×/tydzień, z całkowitym czasem trwania sesji treningowej <25 minut) i grupy ćwiczącej z umiarkowaną intensywnością, zgodnie z aktualnymi wytycznymi (≥ 30 minut aktywności fizycznej przez większość dni w tygodniu). 41,6% (104/250) badanych wybrało grupę stosującą HIIT. Skład ciała oceniono metodą DXA. Po 12 miesiącach interwencji treningowej, w ćwiczących grupach, nie zauważono istotnych różnic w masie ciała, WC, %FM i objętości tkanki tłuszczowej trzewnej ($p>0.05$). Uczestnicy grupy wykonującej trening interwałowy wykazywali większe zadowolenie z aktywności fizycznej i była to różnica istotna statystycznie ($p<0.05$). Stosowanie się do zaleceń treningowych w grupie HIIT spadło w ciągu 12-miesięcznej obserwacji. Osoby

przestrzegające planu treningowego (24/104, 23.1%) częściej były płci męskiej oraz osiągnęły większe spadki w zakresie masy ciała i objętości trzewnej tkanki tłuszczowej.

W artykule z 2021 roku [28] porównano wpływ HIIT w postaci biegowej (HIIT-R) i funkcjonalnej (HIIT-F) na skład ciała i wydolność tlenową u kobiet (N=20, wiek 20.5±0.7 lat). Uczestnicy badania zostali losowo przydzieleni do grupy HIIT-R (n=10), wykonującej trening biegowy (30 sekund biegu, 30 sekund odpoczynku) lub HIIT-F (n=10), stosującej ćwiczenia funkcjonalne z własną masą ciała w protokole Tabaty. Podczas trwającej 12 tygodni interwencji wykonano 36 sesji treningowych. Skład ciała oceniono przy pomocy BIA. Zaobserwowano istotną statystycznie redukcję %FM w obydwu grupach (HIIT-R: -17.4±7.4%, HIIT-F: -12.6±5.1%; p<0.05). Zawartość procentowa beztłuszczowej masy mięśniowej wzrosła w obu grupach (HIIT-R: +1.8±1.4%, HIIT-F: +1.2±1.2%; p<0.05). Nie zauważono istotnych statystycznie zmian w BMI i WHR (p>0.05). Sprawność mięśniowa, w zakresie siły mięśni brzucha i kończyn dolnych, poprawiła się znacząco w grupie HIIT-F (p<0.05). Dodatkowo, w obydwu grupach istotnie zwiększyła się wydolność wysiłkowa. HIIT-F i HIIT-R mają podobną skuteczność w poprawie parametrów składu ciała i wydolności organizmu.

Brown i wsp. [29] zbadali wpływ klasycznego i funkcjonalnego HIIT na skład ciała i sprawność fizyczną. 12-tygodniowej interwencji poddali się 16 młodych kobiet z prawidłową masą ciała (N=16, wiek 23±5.08 lat). Treningi wykonywano 3× w tygodniu. Grupa stosująca klasyczny HIIT korzystała z ergometru wioślarskiego. Funkcjonalny HIIT prowadzono według protokołu opartego na odpowiednio dobranych, multimodalnych ćwiczeniach. Skład ciała oceniono metodą DXA. U wszystkich uczestników badania opisano istotne statystycznie zmiany w składzie ciała (p<0.05). Uzyskano redukcję %FM oraz wzrost masy ciała, BMI, LBM i BMC. Zaobserwowano zwiększenie wydolności i siły mięśniowej. Funkcjonalny HIIT ze znacznie większą skutecznością, w porównaniu do klasycznego HIIT, poprawił siłę mięśni górnej części ciała (p<0.05). Pozytywne zmiany w zakresie siły mięśniowej są dodatkową korzyścią wynikającą z wykonywania funkcjonalnego treningu interwałowego.

Faelli i wsp. [30] porównali, pod kątem zmian w składzie ciała, dwa protokoły HIIT o różnej intensywności i czasie trwania intensywnego wysiłku w trakcie sesji treningowej. Do badania włączono biegających rekreacyjnie, przez przynajmniej 3 lata, mężczyzn (N=22), których losowo przydzielono do badanych grup ćwiczących w protokołach 30-30 (n=11) i 10-20-30 (n=11). Okres interwencji wynosił 8 tygodni. Biegacze wykonywali 2× w tygodniu HIIT według określonego planu oraz 1× w tygodniu trening ciągły. Do pomiaru składu ciała wykorzystano BIA. W obydwu grupach zaobserwowano istotny statystycznie spadek %FM i wzrost LBM (p<0.05). Nie zauważono znaczących zmian masy ciała i BMI. Obie grupy, po interwencji treningowej, osiągały lepsze rezultaty biegowe i wykazywały poprawę wydolności tlenowej (p<0.05). Protokół 10-20-30, o mniejszej intensywności i liczbie powtórzeń, był bardziej satysfakcjonujący dla uczestników badania co, ze względu na większe prawdopodobieństwo przestrzegania zaleceń, powinno być brane pod uwagę podczas układania planów treningowych.

Clark i wsp. w swojej pracy [31] porównali wpływ dwóch rodzajów HIIT (tradycyjnego oraz z periodyzacją) na skład ciała, wydolność wysiłkową i siłę mięśniową u kobiet z otyłością (N=17, wiek 37.5±10.5 lat, BMI 39.1±4.3 kg/m²). Interwencja treningowa trwała 6 tygodni, z częstotliwością treningów 3×/tydzień. Wykonano pomiary antropometryczne i oceniono skład ciała metodą ADP. Siłę mięśniową zmierzono dynamometrem izokinetycznym. W obserwacji nie wykazano istotnych statystycznie zmian masy ciała, WHR i FM. Znacząca redukcja %FM oraz wzrost FFM i %FFM wystąpiły w grupie wykonującej tradycyjny HIIT (p<0.05), natomiast nie były obecne w grupie stosującej HIIT z periodyzacją. W żadnej z badanych grup nie zaobserwowano zmian w zakresie siły mięśniowej, natomiast wartość VO₂max podwyższyła się o 4-5% (p<0.05) w obu ćwiczących grupach. Na podstawie tego badania można uznać, że wysoko intensywny trening interwałowy powoduje pozytywne zmiany w składzie ciała i wydolności organizmu, ale nie wpływa istotnie na siłę mięśniową. Wyniki te sugerują konieczność włączania do planów treningowych ćwiczeń oporowych, mających na celu poprawę siły mięśniowej.

Khodadai i wsp. w 2023 roku [32] dokonali metaanalizy badań z randomizacją, opisujących wpływ różnych typów HIIT (trening rowerowy, bieg na bieżni stacjonarnej lub w warunkach terenowych) na parametry składu ciała. HIIT, we wszystkich analizowanych protokołach, powodował istotną statystycznie redukcję FM (średnia ważona różnic (*weighed mean difference, WMD*) -1.86kg; p<0.05), %FM (WMD -1.53%; p<0.05) oraz znaczący wzrost FFM (WMD +0.51kg; p<0.05). Wszystkie analizowane typy HIIT redukowały %FM, ale największy spadek odnotowano w protokołach opartych na biegu terenowym. Wszystkie typy HIIT indukowały wzrost FFM, ale tylko interwencja rowerowa dała znaczące zmiany w porównaniu do pozostałych modalności. HIIT wykonywany na ergometrze rowerowym jest odpowiedni dla osób preferujących zwiększenie FFM. Osoby dążące do redukcji %FM mogą uzyskać najlepsze rezultaty stosując HIIT w postaci biegu w warunkach terenowych [32]. HIIT oparty na treningu biegowym jest skuteczniejszy niż trening na rowerze w zakresie redukcji całkowitej oraz trzewnej tkanki tłuszczowej [33]. Najbardziej optymalny, pod względem modyfikacji składu ciała, jest trening interwałowy wykonywany przez minimum 8 tygodni, z częstotliwością przynajmniej 3× w tygodniu, z fazami intensywnych ćwiczeń trwającymi < 60 sekund i aktywnymi przerwami trwającymi ≤90 sekund [32,34].

Alves i wsp. w 2021 roku [35] zbadali wpływ HIIT oraz połączenia HIIT z treningiem oporowym na skład ciała u młodych dorosłych (N=18, wiek 24.83±6.6 lat). Uczestników badania podzielono na dwie grupy wykonujące HIIT (n=9) lub RT+HIIT (n=9). Treningi prowadzono 2× w tygodniu przez 8 tygodni. Protokół HIIT w obu grupach realizowano na bieżni stacjonarnej. W protokole RT+HIIT dodatkowo wykonywano serię 4 ćwiczeń siłowych. Skład ciała oceniono metodą BIA. W grupie RT+HIIT zaobserwowano istotne statystycznie zmiany w zakresie %FM i FM oraz w obwodach talii i bioder (p<0.05). W grupie HIIT odnotowano znaczący spadek FFM (p<0.05). Porównując obydwie grupy, istotnie większą redukcję FM i %FM dało dołączenie do planu treningowego ćwiczeń siłowych. Niewielkie zmiany (p>0.05) zaobserwowano również w zakresie objętości tkanki tłuszczowej trzewnej (większy spadek w grupie RT+HIIT) i zawartości wody w organizmie (większy spadek w grupie HIIT). Badanie to pokazało, że dołączenie do treningu ćwiczeń siłowych korzystnie wpływa na zmiany w składzie ciała.

W 2020 roku Moro i wsp. [36] opisali wpływ oporowego treningu interwałowego o wysokiej intensywności (*high-intensity interval resistance training, HIIRT*) na skład ciała, wydolność tlenową organizmu, siłę mięśniową i profil lipidowy oraz porównali otrzymane wyniki z rezultatami klasycznego treningu oporowego. W badaniu wzięło udział 20 osób (N=20, wiek 22.15±1.95 lat), które zostały losowo przydzielone do grup wykonujących HIIRT (n=11) lub RT (n=9). Interwencja trwała 8 tygodni, z częstotliwością treningów 3×/tydzień. Skład ciała oceniono metodą DXA. Dodatkowo, udział poszczególnych elementów w składzie ciała obliczono wykorzystując pomiary grubości fałdu skórniego. W grupie HIIRT wystąpił istotny statystycznie wzrost całkowitej masy ciała (+2.27%; p<0.05). Wskaźnik %FM obniżył się w obu grupach, bez znaczących różnic pomiędzy nimi. Wartość LBM wzrosła istotnie w grupie HIIRT (+2.82%; p<0.05), ale nie w grupie RT (p>0.05). Procentowy udział masy mięśniowej istotnie podniósł się w obydwu grupach (HIIRT: +2.66%, RT: +2.02%; p<0.05), ale wzrost w stosunku do LBM był znaczący jedynie w grupie HIIRT (+1.18%; p<0.05). W badaniu oceniono korelację pomiędzy pomiarami składu ciała wykonanymi metodą DXA a wartościami obliczonymi na podstawie grubości fałdu skórniego i wykazano istotną statystycznie korelację wyników w zakresie FM, %FM, LBM (p<0.05). Obydwa protokoły treningowe zwiększyły siłę mięśniową, ale tylko w grupie HIIRT poprawiła się wytrzymałość siłowa (+22.07%; p<0.05). Badanie wykazało, że HIIRT skutecznie zwiększa masę i siłę mięśniową.

Jitwil i wsp. w pracy opublikowanej w 2019 roku [37] porównali wpływ HIIT i HIIRT na zawartość tkanki tłuszczowej w organizmie oraz wydolność tlenową u kobiet z podwyższoną masą ciała. Uczestników badania (N=14, wiek 22.57±1.4 lat, BMI 26.08±2.03 kg/m²) przydzielono do grup wykonujących HIIT (n=7) lub HIIRT (n=7). Treningi odbywały się 3× w tygodniu przez okres 6 tygodni. Program HIIT oparty był na ćwiczeniach z masą własnego ciała, natomiast HIIRT wykonywano z odpowiednio dobranym sprzętem treningowym. Skład ciała oceniono metodą BIA. Badanie wykazało istotną statystycznie poprawę w zakresie zawartości %FM i wydolności tlenowej w obu badanych grupach (p<0.05). HIIRT, w większym stopniu niż HIIT, zwiększył tolerancję wysiłku i była to różnica istotna statystycznie (p<0.05). Spadek zawartości %FM nie różnił się znacząco pomiędzy grupami (p>0.05). Treningi o wysokiej intensywności (HIIT i HIIRT) skutecznie redukują zawartość tkanki tłuszczowej w organizmie.

W pracy opublikowanej w 2020 roku Chin i wsp. [38] ocenili wpływ HIIT, w zależności od częstotliwości treningów, na skład ciała i wydolność aerobową oraz porównali trening interwałowy do MICT. Badanie przeprowadzono wśród mężczyzn z nadwagą lub otyłością (N=56, wiek 22.8±3.1 lat, BMI 26.4±2.9 kg/m²). Uczestników podzielono na pięć grup: wykonującą MICT 3× w tygodniu (n=9), wykonującą HIIT 3× w tygodniu (n=14), 2× w tygodniu (n=10) i 1× w tygodniu (n=9) oraz niećwiczącą grupę kontrolną (n=14). Interwencja odbywała się w formie treningu biegowego. Pomiar składu ciała wykonano metodą BIA. Udział FM, %FM w składzie ciała obniżył się we wszystkich grupach po 8 tygodniach interwencji treningowej (p<0.05). Wartość %FFM, w porównaniu do grupy kontrolnej, wzrosła w każdej z ćwiczących grup (p<0.05). W grupach wykonujących HIIT, już po 4 tygodniach aktywności fizycznej, znacząco obniżyła się zawartość FM i %FM oraz wzrosła wartość %FFM (p<0.05). Zmian tych nie obserwowano po 4 tygodniach ćwiczeń w grupie MICT. BMI w grupach stosujących HIIT przynajmniej 2× w tygodniu było istotnie niższe niż w grupie kontrolnej (p<0.05) oraz znacząco różniło się od BMI grup wykonujących HIIT 1× w tygodniu lub MICT (p<0.05). Badanie wykazało, że trening interwałowy o wysokiej intensywności, stosowany przynajmniej 1× w tygodniu, skutecznie poprawia skład ciała i jest efektywną interwencją, szczególnie jako początkowy program treningowy u nieaktywnych mężczyzn z nadmierną masą ciała. Ponadto wyniki obserwacji sugerują, że efekty HIIT osiągnane są szybciej niż w przypadku MICT.

W artykule z 2020 roku Ram i wsp. [39] ocenili wpływ HIIT i MICT na skład ciała i sprawność aerobową u mężczyzn z nadwagą i otyłością (N=28, wiek 18-45 lat, BMI 25-35 kg/m²). Uczestników losowo przydzielono do grup wykonujących, 3× w tygodniu przez 6 tygodni, HIIT (n=16) lub MICT (n=12) na rowerze stacjonarnym. Wykonano pomiary antropometryczne i oceniono skład ciała metodą DXA. Zmiany w składzie ciała w obu grupach były bez znaczenia statystycznego i nie różniły się istotnie pomiędzy sobą. Wnioski, że krótkoterminowa interwencja treningowa na ergometrze rowerowym nie powoduje istotnych zmian

w redukcji zawartości tkanki tłuszczowej u osób z nadwagą lub otyłością. MV-HIIT, porównywalnie do MICT, poprawia natomiast wydolność tlenową organizmu.

W publikacji z 2019 roku Amaro-Gahete i wsp. [40] porównali wpływ różnych programów treningowych na skład ciała u osób dorosłych w średnim wieku (N=89, wiek 53.5±4.9 lat). Uczestników podzielono na grupy wykonujące trening równoczesny (*concurrent training, CT*) zgodny z zaleceniami WHO 3×/tydzień, HIIT 2×/tydzień, HIIT z elektromiostymulacją (*whole-body electromyostimulation, WB-EMS*) 2×/tydzień oraz grupę kontrolną. Badanie trwało 12 tygodni. Wykonano pomiary antropometryczne i oceniono skład ciała metodą DXA. W porównaniu do grupy kontrolnej, zaobserwowano znaczący spadek FM, FMI (*fat mass index, FMI = FM/wzrost²*) i redukcję zawartości tkanki tłuszczowej trzewnej we wszystkich ćwiczących grupach (p<0.05). W stosunku do grupy CT i kontrolnej, odnotowano istotny wzrost LBM w grupie HIIT i WB-EMS (p<0.05), podczas gdy przyrost LMI (*lean mass index, LMI = LBM/wzrost²*) był znaczący tylko w grupie WB-EMS (p<0.05). Istotnie statystycznie podwyższenie BMC, w porównaniu do grupy kontrolnej, opisano w grupie WB-EMS (p<0.05), przy braku znaczących zmian BMC w grupie CT i HIIT. Poprawa w zakresie składu ciała obserwowana była we wszystkich grupach ćwiczących, przy czym najbardziej widoczna pozostawała przy stosowaniu treningu interwałowego połączonego z elektromiostymulacją.

W innym artykule Zeng i wsp. [41] ocenili wpływ różnych typów treningów na zmiany składu ciała u kobiet z nadmierną masą ciała. Uczestnicy badania (N=54, wiek 22.14±1.32 lat) zostali podzieleni na grupy stosujące trening ciągły (*maximum fat oxidation intensity continuous aerobic training, FATmax AT*), HIIT i RT. Sesje treningowe odbywały się 3× w tygodniu przez 12 tygodni. Pomiary składu ciała wykonano z użyciem BIA. Wskaźniki %FM, FM obniżyły się istotnie we wszystkich grupach już w połowie badanego okresu i spadały aż do 12 tygodnia interwencji. Większe spadki %FM i FM obserwowano w grupie HIIT (-40.18% i -44.97%) niż w grupie FATmax AT (-24.59% i -28.09%) i RT (-22.84% i -29.32%) i była to różnica istotna statystycznie (p<0.05). FFM i masa mięśniowa wzrosły znacząco w grupach FATmax AT i HIIT, natomiast w grupie RT wzrosła istotnie jedynie masa mięśniowa. Wartość FFM istotnie bardziej wzrosła w grupie HIIT (+8.48%) i FATmax AT (+5.67%) niż w grupie RT (-0.04%). Większy wzrost masy mięśniowej zaobserwowano w grupie RT (+27.14%) w porównaniu do HIIT (+23.15%) i FATmax AT (+24.26%). HIIT w największym stopniu zmniejszył zawartość %FM i zwiększył FFM, natomiast RT najkorzystniej wpłynął na zmiany w zakresie masy mięśniowej.

Lan i wsp. [42] ocenili wpływ trzech programów treningowych na wydolność krążeniowo-oddechową i skład ciała u młodych osób (N=50, wiek 18-25 lat). Wyróżniono grupę stosującą trening ciągły o małej intensywności z redukcją przepływu (*low-intensity continuous training with blood flow restriction, LICT-BFR*) (n=13), MICT (n=13) i HIIT (n=12) oraz niećwiczącą grupę kontrolną (n=12). Interwencja trwała 8 tygodni i obejmowała treningi biegowe wykonywane 3× w tygodniu. Skład ciała zmierzono z użyciem BIA. Członkowie grupy MICT znacząco obniżyli FM (p<0.05), zmiany w grupie LICT-BFR i HIIT były niewielkie (p>0.05) a w grupie kontrolnej zaobserwowano nieznaczący przyrost FM (p>0.05). Zawartość %FM obniżyła się znacząco we wszystkich ćwiczących grupach (p<0.05) a w grupie MICT nastąpiła istotna redukcja tkanki tłuszczowej trzewnej. W grupach wykonujących trening ciągły istotnie statystycznie zwiększyła się masa mięśniowa (p<0.05), przy nieistotnym wzroście w grupie HIIT (p>0.05) i spadku w grupie kontrolnej (p>0.05). Dodatkowo, badane grupy treningowe osiągnęły znaczącą statystycznie poprawę w zakresie VO₂max (p<0.05). Wszystkie programy treningowe poprawiły wydolność krążeniowo-oddechową a MICT w największym stopniu pozytywnie wpłynął na poprawę składu ciała.

W metaanalizie z 2023 roku Guo i wsp. [43], porównując HIIT i MICT, wykazali, że obydwa typy treningu korzystnie wpływają na parametry składu ciała, z wyjątkiem zawartości FFM. Zaobserwowano, że HIIT, w większym stopniu niż MICT, redukuje WC i %FM oraz poprawia tolerancję wysiłku. HIIT uznano za tak samo lub bardziej skuteczny od MICT w spalaniu tkanki tłuszczowej [43]. Trening o wysokiej intensywności jest bardziej efektywny w obniżaniu zawartości całkowitej tkanki tłuszczowej, podczas gdy trening o niższej intensywności jest bardziej skuteczny w redukcji tkanki tłuszczowej brzusznej i trzewnej [33].

Trening interwałowy o wysokiej intensywności składający się z ćwiczeń wielostawowych, angażujących całe ciało (*whole body high-intensity interval training, WB-HIIT*) indukuje poprawę parametrów składu ciała, zwiększa sprawność mięśni szkieletowych i wydolność organizmu. WB-HIIT przynosi, podobne do innych treningów aerobowych, rezultaty w modyfikacji zawartości FM i FFM, natomiast w większym stopniu niż pozostałe treningi wpływa na siłę i wytrzymałość mięśni szkieletowych. Tradycyjne formy treningu aerobowego, w porównaniu do HIIT, dają lepsze efekty w poprawie wydolności organizmu [44].

PODSUMOWANIE

Regularne wykonywanie HIIT skutecznie wspomaga utratę masy ciała, zmniejsza BMI i zawartość tkanki tłuszczowej, w tym tkanki tłuszczowej trzewnej. Rezultatem treningu interwałowego jest zwiększenie masy i siły mięśni szkieletowych. Dołączenie ćwiczeń siłowych do planów treningowych opartych na HIIT przynosi korzyści, szczególnie w zakresie sprawności mięśniowej. Zarówno trening interwałowy, jak i trening ciągły, poprawiają parametry składu ciała, jednak w przypadku HIIT efekty osiągnięte są po krótszym okresie

interwencji. Efekty HIIT są bardziej satysfakcjonujące, ze względu na oszczędność czasu związaną z tym typem treningu. Różnorodność protokołów HIIT w zakresie intensywności, liczby powtórzeń i czasu trwania ćwiczeń ułatwia indywidualne podejście do potrzeb i możliwości osób trenujących oraz zwiększa szanse na przestrzeganie zalecanych planów treningowych. Konieczne są dalsze analizy systematyzujące wiedzę na temat zalet poszczególnych protokołów HIIT oraz badania umożliwiające ich optymalizację pod względem redukcji tkanki tłuszczowej i poprawy pozostałych parametrów składu ciała w zależności od wieku, płci, masy ciała i obecności zaburzeń metabolicznych.

LISTA PIŚMIENNICTWA

1. World Health Organization. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. 2020.
2. Ketelhut S, Ketelhut RG, Weisser B, et al. Interval Training in Sports Medicine: Current Thoughts on an Old Idea. *Journal of Clinical Medicine*. 2022; 11(18):5468. <https://doi.org/10.3390/jcm11185468>
3. Thompson WR. Worldwide Survey of Fitness Trends for 2023. *ACSM's Health & Fitness Journal*. 2023; 27(1):9-18. <https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000000834>
4. Santoso DIS, Boenjamin HA. The benefits and physiological changes of high intensity interval training. *Univ Med*. 2019; 38: 209-16. <https://doi.org/10.18051/UnivMed.2019.v38.209-216>
5. Atakan MM, Guzel Y, Shrestha N, et al. Effects of high-intensity interval training (HIIT) and sprint interval training (SIT) on fat oxidation during exercise: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2022; 56:988-996. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2021-105181>
6. Viana RB, Naves JPA, Coswig VS, et al. Is interval training the magic bullet for fat loss? A systematic review and meta-analysis comparing moderate-intensity continuous training with high-intensity interval training (HIIT). *British Journal of Sports Medicine* 2019; 53:655-664. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099928>
7. Panissa VLG, Fukuda DH, Staibano V, et al. Magnitude and duration of excess of post-exercise oxygen consumption between high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise: A systematic review. *Obesity Reviews*. 2021; 22:e13099. <https://doi.org/10.1111/obr.13099>
8. Falcone PH, Tai CY, Carson LR, et al. Caloric expenditure of aerobic, resistance, or combined high-intensity interval training using a hydraulic resistance system in healthy men. *J Strength Cond Res*. 2015; 29(3):779-85. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000661>
9. Liu QQ, Xie WQ, Luo YX, et al. High Intensity Interval Training: A Potential Method for Treating Sarcopenia. *Clin Interv Aging*. 2022; 17:857-872. <https://doi.org/10.2147/CIA.S366245>
10. Callahan MJ, Parr EB, Hawley JA, et al. Can High-Intensity Interval Training Promote Skeletal Muscle Anabolism? *Sports Med*. 2021; 51(3):405-421. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01397-3>
11. Menz V, Marterer N, Amin SB, et al. Functional Vs. Running Low-Volume High-Intensity Interval Training: Effects on VO₂max and Muscular Endurance. *J Sports Sci Med*. 2019;18(3):497-504.
12. Alzar-Teruel M, Aibar-Almazán A, Hita-Contreras F, et al. High-intensity interval training among middle-aged and older adults for body composition and muscle strength: A systematic review. *Front Public Health*. 2022; 10:992706. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.992706>
13. Smirmaul BP, Bertucci DR, Teixeira IP. Is the VO₂max that we measure really maximal? *Front Physiol*. 2013; 4:203. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00203>
14. Lach J, Šlíz D, Wiecha S et al. How to calculate the maximum heart rate correctly? 2022; 17(5):289-292. <https://doi.org/10.5603/FC.2022.0057>
15. Wen D, Utesch T, Wu J, et al. Effects of different protocols of high intensity interval training for VO₂max improvements in adults: A meta-analysis of randomised controlled trials. *J Sci Med Sport*. 2019; (8):941-947. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.01.013>
16. Martínez-Rodríguez A, Rubio-Arias JA, García-De Frutos JM, et al. Effect of High-Intensity Interval Training and Intermittent Fasting on Body Composition and Physical Performance in Active Women. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(12):6431. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126431>
17. Campbell WW, Kraus WE, Powell KE, et al. High-Intensity Interval Training for Cardiometabolic Disease Prevention. *Med Sci Sports Exerc*. 2019; 51(6):1220-1226. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001934>
18. Campa F, Toselli S, Mazzilli M, et al. Assessment of Body Composition in Athletes: A Narrative Review of Available Methods with Special Reference to Quantitative and Qualitative Bioimpedance Analysis. *Nutrients*. 2021;13(5):1620. <https://doi.org/10.3390/nu13051620>
19. Kuriyan R. Body composition techniques. *Indian J Med Res*. 2018; 148(5):648-658. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1777_18
20. Barakat C, Pearson J, Escalante G, et al. Body Recomposition: Can Trained Individuals Build Muscle and Lose Fat at the Same Time? *Strength & Conditioning Journal*. 2020. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000584>

21. Borga M, West J, Bell JD, et al. Advanced body composition assessment: from body mass index to body composition profiling. *J Investig Med*. 2018; 66(5):1-9. <https://doi.org/10.1136/jim-2018-000722>
22. Hu J, Wang Z, Lei B, et al. 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. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(20):10740. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010740>
23. Murawska-Cialowicz E, Wolanski P, Zuwała-Jagiello J, et al. Effect of HIIT with Tabata Protocol on Serum Irisin, Physical Performance, and Body Composition in Men. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(10):3589. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103589>
24. Villarroya F. Irisin, Turning Up the Heat. *Cell Metabolism*. 2012; 15(3):277-278. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.02.010>
25. Hemmatinafar A, Fathi M, Ziaaldini MM. Effect of 8 weeks of HIIT on hepatic enzyme levels, lipid profile and body composition in overweight young men. *Obesity Medicine*. 2020; 18:100233 <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2020.100233>
26. Guo L, Chen J, Yuan W. The effect of HIIT on body composition, cardiovascular fitness, psychological well-being, and executive function of overweight/obese female young adults. *Front. Psychol*. 2023; 13:1095328. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1095328>
27. Roy M, Williams SM, Brown RC, et al. High-Intensity Interval Training in the Real World: Outcomes from a 12-Month Intervention in Overweight Adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2018; 50(9):1818-1826. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001642>
28. Lu Y, Wiltshire HD, Baker JS, et al. The Effects of Running Compared with Functional High-Intensity Interval Training on Body Composition and Aerobic Fitness in Female University Students. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(21):11312. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111312>
29. Brown EC, Hew-Butler T, Marks CRC, et al. The Impact of Different High-Intensity Interval Training Protocols on Body Composition and Physical Fitness in Healthy Young Adult Females. *Biores Open Access*. 2018; 7(1):177-185. <https://doi.org/10.1089/biores.2018.0032>
30. Faelli E, Ferrando V, Bisio A, et al. Effects of Two High-intensity Interval Training Concepts in Recreational Runners. *Int J Sports Med*. 2019; 40(10):639-644. <https://doi.org/10.1055/a-0964-0155>
31. Clark A, De La Rosa AB, DeRevere JL, et al. Effects of various interval training regimes on changes in maximal oxygen uptake, body composition, and muscular strength in sedentary women with obesity. *Eur J Appl Physiol*. 2019; 119(4):879-888. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04077-x>
32. Khodadadi F, Bagheri R, Negaresh R, et al. The Effect of High-Intensity Interval Training Type on Body Fat Percentage, Fat and Fat-Free Mass: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *J. Clin. Med*. 2023; 12(6):2291. <https://doi.org/10.3390/jcm12062291>
33. Maillard F, Pereira B, Boisseau N. Effect of High-Intensity Interval Training on Total, Abdominal and Visceral Fat Mass: A Meta-Analysis. *Sports Med*. 2018; 48(2):269-288. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0807-y>
34. Dupuit M, Maillard F, Pereira B, et al. Effect of high intensity interval training on body composition in women before and after menopause: a meta-analysis. *Experimental Physiology*. 2020; 105:1470-1490. <https://doi.org/10.1113/EP088654>
35. Alves AR, Marinho DA, Pecêgo M, et al. Strength training combined with high-intensity interval aerobic training in young adults' body composition. *TRENDS in Sport Sciences*. 2021; 28(3): 187-193. <https://doi.org/10.23829/TSS.2021.28.3-3>
36. Moro T, Marcolin G, Bianco A, et al. Effects of 6 Weeks of Traditional Resistance Training or High Intensity Interval Resistance Training on Body Composition, Aerobic Power and Strength in Healthy Young Subjects: A Randomized Parallel Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(11):4093. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114093>
37. Jitwil A, Pitil P, Wahed WJE. High-Intensity Interval Training and High-Intensity Resistance Training on Body Fat Percentage and Aerobic Fitness among Female Overweight Adults. *Malaysian Journal of Sport Science and Recreation*. 2019; 15:25-34.
38. Chin EC, Yu AP, Lai CW, et al. Low-Frequency HIIT Improves Body Composition and Aerobic Capacity in Overweight Men. *Med Sci Sports Exerc*. 2020; 52(1):56-66. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002097>
39. Ram A, Marcos L, Jones MD, et al. The effect of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on aerobic fitness and body composition in males with overweight or obesity: A randomized trial. *Obesity Medicine*. 2020; 17:100187. <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2020.100187>
40. Amaro-Gahete FJ, De-la-O A, Jurado-Fasoli L, et al. Effects of different exercise training programs on body composition: A randomized control trial. *Scand J Med Sci Sports*. 2019; 29(7):968-979. <https://doi.org/10.1111/sms.13414>

41. Zeng J, Peng L, Zhao Q, et al. Effects over 12 weeks of different types and durations of exercise intervention on body composition of young women with obesity. *Science & Sports*. 2021; 36(1):45-52. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.10.011>
42. Lan C, Liu Y, Wang Y. Effects of different exercise programs on cardiorespiratory fitness and body composition in college students. *J Exerc Sci Fit*. 2022; 20(1):62-69. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2021.12.004>
43. Guo Z, Li M, Cai J, et al. Effect of High-Intensity Interval Training vs. Moderate-Intensity Continuous Training on Fat Loss and Cardiorespiratory Fitness in the Young and Middle-Aged a Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023; 20(6):4741. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064741>
44. Scoubeau C, Bonnechère B, Cnop M, et al. Effectiveness of Whole-Body High-Intensity Interval Training on Health-Related Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19(15):9559. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159559>