Anthropometric indicators associated with childhood obesity. Is it time for a BMI successor?

Antropometryczne wskaźniki związane z otyłością u dzieci. Czy nadszedł czas na następcę BMI?

Teresa Walczyk¹ <https://orcid.org/0000-0003-4945-0654>
teresakarpiniakwalczyk@gmail.com

¹Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Department of Human Biology, St Marymoncka 34, 00-968 Warszawa, Poland

Abstract

Childhood obesity and overweight have a wide impact on physical and mental health, and affect adulthood. In the last decade, scientists have been looking with concern at the increasingly frequent excess body weight in children and adolescents. Therefore, it is crucial to estimate the scale of the problem, and thus to correctly assess the level of adipose tissue. In assessing the nutritional status of the young, anthropometric measurements and indicators are used. Despite the widespread use of BMI (body mass index), this indicator is often criticized. BMI is frequently recognized as an imprecise tool and its use often results in misleading classification. Therefore, the aim of this study is to present selected, non-invasive anthropometric indicators related to overweight/obesity in children.

Anthropometric indicators are relatively simple tools used in public health. However, the search for a simple and useful indicator is still ongoing, which will enable the assessment of the nutritional status both in clinical practice and in population studies. The paper presents the most frequently described anthropometric indicators in the literature: body mass index (BMI) and BMI_{Z score}, relative fat mass pediatric (RFMp), tri-ponderal mass index (TMI), pediatric body adiposity fat index (BAIp) and the mid-upper arm circumference (MUCA). The possibilities of application and their effectiveness for the estimation of adipose tissue content and the risk of coexisting diseases are presented.

Although there is no consensus on the best tool, it is known that BMI will remain the main parameter in assessing nutritional status. Nevertheless, the authors suggest the usefulness of tools such as RFMp, TMI and MUAC as a good complement to the imperfections ascribed to BMI.

Key words: children, Body Mass Index (BMI), Relative Fat Mass pediatric (RFMp), Tri-Ponderal Mass Index (TMI), Pediatric Body Adiposity Index (BAIp), Mid-Upper Arm Circumference (MUAC)

Streszczenie

Dziecięca otyłość i nadwaga wywierają szeroki wpływ na zdrowie fizyczne i psychiczne, ale także odciskają piętno na dorosłym życiu. W ostatniej dekadzie naukowcy z niepokojem przyglądają się coraz częściej notowanej nadmiernej masie ciała u dzieci i młodzieży. Dlatego też kluczowe jest oszacowanie skali problemu, co wiąże się z prawidłową oceną poziomu tkanki tłuszczowej. W diagnozie stanu odżywienia młodego pokolenia stosuje się pomiary i wskaźniki antropometryczne. Mimo powszechnego wykorzystania BMI (*body mass index*) często jest krytykowany i został uznany za narzędzie nieprecyzyjne, a jego użycie często powoduje błędną klasyfikację. Dlatego też, celem tej pracy jest przedstawienie wybranych, nieinwazyjnych wskaźników antropometrycznych służących do oceny stanu odżywienia u dzieci.

Wskaźniki antropometryczne są względnie prostymi narzędziami używanymi w zdrowiu publicznym. Jednak cały czas trwa poszukiwanie prostego i użytecznego wskaźnika, który umożliwi ocenę stanu odżywienia zarówno w praktyce klinicznej jak i w badaniach populacyjnych. W pracy przedstawiono najczęściej opisywane wskaźniki antropometryczne: wskaźnik masy ciała (BMI) i BMI_Z score, wskaźnik relatywnej tkanki tłuszczowej (RFMp), TMI (*Tri-Ponderal Mass Index*), wskaźnik otłuszczenia ciała pediatryczny (BAIp) oraz obwód środkowy ramienia (MUCA). Przedstawiono możliwości zastosowania i ich skuteczność do szacowania zawartości tkanki tłuszczowej oraz ryzyka występowania chorób współistniejących.

Mimo iż nie ma konsensusu w sprawie najlepszego narzędzia, wiadomo, że wskaźnik BMI pozostanie głównym parametrem w ocenie stanu odżywienia. Niemniej jednak badacze dostrzegają potencjał narzędzi takich jak: RFMp, TMI i MUAC stanowiących dobre uzupełnienie niedoskonałości przypisywanych BMI.

Słowa kluczowe: dzieci, wskaźnik masy ciała (BMI), wskaźnik relatywnej tkanki tłuszczowej (RFMp), TMI (*Tri-Ponderal Mass Index*), wskaźnik otłuszczenia ciała pediatryczny (BAIp), obwód środkowy ramienia (MUCA)

Wstęp

W ostatniej dekadzie naukowcy z niepokojem przyglądają się coraz częściej notowanej nadmiernej masie ciała u dzieci i młodzieży. Rosnące występowanie nadwagi/otyłości wymaga szybkiego wdrożenia innowacyjnych i kompleksowych zmian, aby zapobiec temu procederowi zwłaszcza w okresie dzieciństwa i dorastania [1, 2]. WHO oszacowało, że nadmierna masa ciała dotyka aż 39 milionów dzieci poniżej 5 roku życia, a częstość występowania otyłości wśród osób w wieku 5-19 lat wzrosła z <1% na świecie w 1975 roku do 6% i 8% odpowiednio u dziewcząt i chłopców w 2016 roku [3]. Dodatkowo badania wykazały, że 70-80% osób, które są otyłe w wieku młodzieńczym utrzymuje to schorzenie na okres dorosłości co dalej przekłada się na kolejne pokolenia [4-7].

Otyłość dziecięca jest złożonym problemem zdrowotnym, który ma szkodliwy wpływ na zdrowie fizyczne i psychiczne w perspektywie krótko-, jak i długoterminowej [8]. Nadmierna masa ciała jest wiązana ze zwiększonym ryzykiem infekcji i negatywnie wpływa na jej dalszy rozwój, co sugeruje rozregulowanie układu odpornościowego [9, 10]. W rozwijającym się organizmie, otyłość wywołuje zmiany w profilu zapalnym i hormonalnym [11], które są zależne od wielokomórkowego uwalniania cytokin, adipokin i reaktywnych form tlenu [12]. Ten charakterystyczny, towarzyszący otyłości niewielki, ale chroniczny stan zapalny może skutkować insulinoopornością, cukrzycą typu 2 i prowadzić do zespołu metabolicznego [8, 13, 14]. Nadmierna masa ciała przyczynia się do znacznego wzrostu zachorowalności i śmiertelności na choroby kardiometaboliczne w wieku dorosłym [11] i wiązana jest z objawami subklinicznej miażdżycy diagnozowanej już w dzieciństwie [13].

Jest głównym czynnikiem występowania ryzyka niealkoholowej stłuszczeniowej choroby wątroby (NAFLD) [15]. Badania wykazały, że kilka onkogenów zostało powiązanych z zapaleniem i rozwojem nowotworów. Środowisko zapalne obserwowane podczas otyłości wydaje się sprzyjać proliferacji i przeżyciu komórek nowotworowych [14, 16, 17] co sugeruje silny związek między wyższym wskaźnikiem masy ciała w okresie dojrzewania a zwiększonym ryzykiem występowania tego typu chorób w wieku dorosłym. Autorzy przedstawiają korelację między wyższym wskaźnikiem masy ciała (BMI) w okresie dojrzewania a zwiększonym ryzykiem zapadalności na nowotwory złośliwe m. in.: ostrą białaczkę limfoblastyczną [17], raka jelita grubego [11], raka piersi [18]. Ostatecznie podkreślany jest również związek między otyłością dziecięcą a ryzykiem przedwczesnego zgonu ze wszystkich przyczyn [19].

Na etiologię otyłości składa się szereg czynników. Najczęściej podkreślanym jest niewystracająca ilość aktywności ruchowej obserwowana powszechnie u dzieci [20]. Autorzy zwracają uwagę na czynniki genetyczne, epigenetyczne, środowiskowe i nieodpowiedni styl życia [21], a także na spożycie kalorii przez matkę w okresie prenatalnym i okołoporodowym [22]. Finn i wsp. [2] zauważają także rolę jaką odgrywa polityka żywieniowa w szkołach. Biorąc pod uwagę złożoność i wielkość problemu nadwagi i otyłości, a także na konieczność normalizacji masy ciała jeszcze przed wejściem w okres dojrzewania [11] warto zwrócić uwagę na wskaźniki antropometryczne jako proste narzędzia do oceny stanu odżywienia zarówno dla jednostek jak i całych populacji. Są nieinwazyjnym rozwiązaniem opierającym się na pomiarach antropometrycznych pozwalających również na oszacowanie poziomu tkanki tłuszczowej. Jednocześnie akcentuje się konieczność wykorzystania innych parametrów niż BMI (*body mass index*), które jest narzędziem niosącym szereg ograniczeń [23-25].

Spółeczna akceptacja i przyzwolenie na dalszy wzrost poziomu otyłości u dzieci może przełożyć się na poważne wyzwania zdrowotne i ekonomiczne dla przyszłych pokoleń. Dlatego też, potrzeba jest wdrażania prostych, nieinwazyjnych narzędzi oceny stanu odżywienia młodego pokolenia tak aby dać jak najszerszej grupie odbiorców możliwość względnie precyzyjnego określenia zawartości tkanki tłuszczowej. Rodzice i nauczyciele edukując mogą przekazać wiedzę dotyczącą możliwości oceny stanu organizmu młodemu pokoleniu. Dodatkowo, informacja zwrotna o stanie odżywienia może być motywacją dla młodzieży oraz ich otoczenia w walce z nadmierną masą ciała. W związku z powyższym, celem pracy jest przedstawienie wybranych, nieinwazyjnych wskaźników antropometrycznych służących do oceny stanu odżywienia u dzieci.

Wskaźnik masy ciała – BMI (*body mass index*) i BMI_{z score}

Wskaźnik BMI jest powszechnie używany w medycynie, dietetyce oraz badaniach naukowych. Mimo iż jest narzędziem niedoskonałym, nie daje możliwości na odróżnienie nadwagi, która jest związana z nadmierną ilością tkanki tłuszczowej a większą masą beztłuszczową, jest najczęściej stosowanym wskaźnikiem do oceny otyłości [26]. Wskaźnik ten dla wszystkich grup wiekowych oblicza się zgodnie z równaniem:

$$BMI = \frac{\text{masa ciała [kg]}}{\text{wysokość ciała [m]}^2}$$

Punkty odcięcia dla osób dorosłych – to znaczy w wieku 20 lat i starszych [27] – nie są zależne od wieku i płci. Jednak w ocenie masy ciała dzieci istotne jest porównanie uzyskanych wartości do odpowiedniego standardu odniesienia dla danej populacji [26, 28]. Powszechnie stosuje się ocenę BMI w oparciu o porównanie uzyskanego wyniku z normą rozwojową, najczęściej przedstawianą w postaci siatek centylowych stworzonych na podstawie badań wybranej populacji [28]. Kolejną metodą jest odniesienie wyniku do międzynarodowych punktów odcięcia Cole'a [29, 30]. Te sposoby interpretacji są

koniecznością i związane są z faktem zmian masy i wysokości ciała, a tym samym zawartości tkanki tłuszczowej zależnej od wieku i płci [31]. Dla przykładu: 7-letnia dziewczynka o BMI 20 plasuje się powyżej 97centyla co sugeruje występowaniu u niej otyłości. Ten sam wynik u 14.5-latki plasuje ją na 50 centylu [32] co jest średnią wartością spotykaną w danym wieku w określonej płci.

W literaturze spotykana jest różna siła związku między BMI a komponentami ciała [33, 34] oraz zdolność przewidywania rozmaitych dysfunkcji [35]. Jednak mimo licznych ograniczeń jakie przypisuje się BMI to jego główną zaletą jest posiadanie spójnych i porównywalnych danych z wielu badań populacyjnych [36]. NCD po analizie wyników pomiarów antropometrycznych pochodzących od 50 milionów osób w wieku 5-19 z 200 krajów wykazali różne trajektorie zmian BMI na świecie. Wzrost BMI w późnym okresie dojrzewania obserwowany w latach 1985-2019 wahała się od niewielkich zmian (poniżej 0,5 kg/m²) u obu płci w Japonii i niektórych krajach europejskich, aż do wyższych wzrostów (powyżej 3kg/m²) w Malezji i niektórych krajach Oceanii [36]. Autorzy podkreślają, że za zaobserwowaną, niejednorodną trajektorię i wzrost BMI odpowiada kilka czynników. Niemniej jednak stwierdzone dysproporcje zmuszają do przemyślenia i zrewidowania wspólnych cech globalnych programów zdrowotnych i żywieniowych. Fakt, że dzieci do 5 roku życia wzrastają prawidłowo nasuwa konieczność zmiany polityki, stawiania na zachowania prozdrowotne w domu i szkole aby wspierać prawidłowy rozwój od narodzin do okresu dojrzewania. Istotna jest poprawa jakości żywienia, zapewnienie zdrowszego środowiska życia i wysokiej jakości opieki zdrowotnej [36].

W zawiązku z powszechnym wykorzystywaniem BMI i poszukiwaniem precyzyjniejszych metod często stosowany jest wskaźnik BMI_{z score}. W analizie miar wielkości ciała, w okresie młodzieńczym często konieczne jest zidentyfikowanie bardzo skrajnych wartości w czym pomocne jest przeliczenie Z. Do obliczeń BMI_{z score} stosuje się uproszczone modele LMS [37, 38] zgodnie ze wzorem:

$$\text{BMI z score} = \left(\frac{\text{BMI}^L}{M} - 1 \right) \div (L \times S)$$

gdzie:

L – lambda (L, transformacja mocy w celu osiągnięcia normalności)

M – mu (średnia lub mediana)

S – sigma (S, współczynnik zmienności)

Należy zauważyć, że BMI_{z score} są obliczane w oparciu o odniesienie zewnętrzne (krajowe lub międzynarodowe) a nie do odniesienia wewnętrznego. Zscore odpowiadają percentylom na wykresie wysokości ciała i można je przeliczyć na odpowiadające im percentyle BMI dla wieku przez porównanie z tabelą rozkładu normalnego [26]. Wartości L, M, S oraz odpowiednie siatki centylowe lub tabele z punktami odcięcia dla BMI_{z score} są publikowane przez WHO [39] i CDC [40].

Wskaźniki antropometryczne często są oceniane w kontekście możliwości predykcyjnych występowania chorób kardiometabolicznych. Wicklow i wsp. [41] po przebadaniu dzieci między 7 a 13 rokiem życia stwierdzili, że BMI_z jest skorelowany z występowaniem zespołu metabolicznego. Również Tybor i wsp. [42] potwierdzili użyteczność tego wskaźnika do oceny występowania ryzyka chorób sercowo-naczyniowych. Dodatkowo Samouda i wsp. [43] po wykonaniu podwójnej absorpcjometrii promieniowania rentgenowskiego (DXA), pomiarów antropometrycznych oraz określeniu profilu zapalnego w badaniu przeprowadzonym u 203 dzieci w wieku 7-17 lat z nadwagą i otyłością stwierdzili, że umożliwia prognozowanie profilu kardiometabolicznego, zapalnego i adipokinowego u młodzieży.

Z drugiej strony Vanderwall i wsp. [44] przeprowadzili badanie mające na celu określenie czy BMI_{Z score} może przewidzieć całkowitą masę tkanki tłuszczowej oraz jej procentowy udział. Po przebadaniu 663 dzieci z nadwagą i otyłością za pomocą DXA uznanej za złoty standard wśród metod szacujących skład ciała, autorzy uznali, że wskaźnik ten dla dzieci w wieku 9-18 lat jest silnym predyktorem zawartości tkanki tłuszczowej. Jednocześnie przestrzegają przed użyciem BMI_{Z score} jako wskaźnika względnej tkanki tłuszczowej u dzieci poniżej 9 roku życia [44].

Powszechność BMI daje przewagę temu parametrowi umożliwiając szerokie porównanie wyników w różnych populacjach. Dodatkowo, pojawiają się informacje sugerujące, że w przypadkach ciężkiej otyłości dzieci lepiej wykorzystywać siatki centylowe BMI zamiast Z score [45].

Wskaźnik relatywnej tkanki tłuszczowej – RFMp (*Relative Fat Mass pediatric*)

W odpowiedzi na brak zmian w częstości występowania nadmiernej masy ciała u dzieci i młodzieży Woolcott i Bergman w 2019 roku [46] zaproponowali wskaźnik służący do oceny względnej tkanki tłuszczowej u dzieci – RFMp. Autorzy akceptują, że najbardziej zalecanym podejściem do oceny stanu odżywienia w populacji pediatrycznej jest stosowanie percentyli BMI dla wieku i płci [47] jednak nie daje on wiedzy na temat zawartości tkanki tłuszczowej oraz pozostałych komponentów organizmu [48]. Ten fakt skutkuje błędną klasyfikacją otyłości. W związku z tym, autorzy zaproponowali równania dla dzieci. Młodzież od 15 roku życia może korzystać ze wzorów opracowanych dla dorosłych [25, 46, 49]. Dla dzieci w wieku od 8 do 14 lat zaproponowano modyfikacje poprzednich wzorów:

$$\text{dla dziewcząt RFMp} = 79 - \left(22 \times \frac{\text{wysokość ciała (cm)}}{\text{obwód talii (cm)}} \right)$$

$$\text{dla chłopców RFMp} = 74 - \left(22 \times \frac{\text{wysokość ciała (cm)}}{\text{obwód talii (cm)}} \right)$$

lub wzory ogólne:

dla dziewcząt i chłopców w wieku 8-14 lat:

$$\text{RFMp} = 74 - \left(22 \times \frac{\text{wysokość ciała (cm)}}{\text{obwód talii (cm)}} \right) + (5 \times \text{płeć})$$

dla dziewcząt i chłopców w wieku 15-19 lat:

$$\text{RFMp} = 64 - \left(20 \times \frac{\text{wysokość ciała (cm)}}{\text{obwód talii (cm)}} \right) + (12 \times \text{płeć})$$

Gdzie płeć:

0 = dla chłopców

1 = dla dziewcząt

Autorzy stwierdzili, że RFMp i RFM są prostymi równaniami liniowymi, które nie wymagają korekty ze względu na wiek, jak w przypadku percentyli BMI. Jednocześnie podkreślają, że mogą być wykorzystywane w określaniu zawartości tkanki tłuszczowej u dzieci i diagnozowania nadwagi lub otyłości [46].

W związku z tym, że jest to jeden z najnowszych wskaźników niewiele jest danych weryfikujących pierwotne założenia. Niemniej jednak, Hudda i wsp. [50] potwierdzili trafność prognozowania poziomu tkanki tłuszczowej w wieku 4-15 lat. Dodatkowo autorzy podkreślili użyteczność wskaźnika jako opierającego się wyłącznie na prostych pomiarach antropometrycznych i obliczeniach. Uznano, że może on poprawić dokładność oceny stanu poziomu tkanki tłuszczowej u dzieci dostarczając cennych informacji umożliwiających nadzór i skuteczną walkę z otyłością [50]. W badaniu dzieci z przewlekłą chorobą nerek, po

przebadaniu 41 pacjentów stwierdzono, że wysokie wartości RFM są związane również z insulinoopornością [51].

Z drugiej strony Ripka i wsp. [52] po przebadaniu 631 dzieci w wieku 11-18 lat, wykazali, że wskaźnik ten zaniżył procentową zawartość tkanki tłuszczowej u 65,2% chłopców i 84,8% dziewcząt. Autorzy zaakcentowali konieczność wprowadzenia współczynnika korekcji specyficznego dla danej populacji aby uniknąć błędnych interpretacji [52].

W związku z tym, że niewiele jest danych umożliwiających weryfikację skuteczności RFMp u dzieci poniżej 15 roku życia, wydaje się konieczne, aby przeprowadzić dalsze analizy uwzględniające ten parametr w różnych grupach wiekowych i etnicznych. Wydaje się, że w tym wskaźniku pokładane są nadzieje jako, że będzie narzędziem wystarczająco precyzyjnym do oceny poziomu tkanki tłuszczowej, ale w celu ostatecznej oceny jego możliwości predykcyjnych konieczne jest częstsze stosowanie tego parametru w badaniach pediatrycznych.

TMI (*Tri-ponderal mass index*)

W związku z potrzebą walki z pandemią otyłości wśród dzieci pojawiła się konieczność szacowania nadmiaru tkanki tłuszczowej. W 2017 roku Peterson i wsp. [53] zweryfikowali dane dotyczące BMI i stwierdzili, że okres dojrzewania płciowego, ale także zmiany zawartości tkanki tłuszczowej związane z wiekiem sprawiają, że BMI jest niedokładny do szacowania poziomu tkanki tłuszczowej w tym okresie [53]. Autorzy przetestowali inne rozwiązania i ostatecznie zaproponowali wzór:

$$TMI = \frac{\text{masa ciała [kg]}}{\text{wysokość ciała [m]}^3}$$

Autorzy stwierdzili, że wskaźnik *Tri-ponderal Mass Index* określa procent tkanki tłuszczowej dokładniej niż BMI u nieletynskich, białych nastolatków w wieku od 8 do 17 lat [53]. Uważa się, że TMI został opracowany jako potężne narzędzie stanowiące alternatywę dla BMI do szacowania procentowej zawartości tkanki tłuszczowej oraz lepszej oceny stanu odżywienia [49, 53].

W związku z prostotą przedstawionego narzędzia często wykorzystywany jest i oceniany w kontekście przydatności do wykorzystania w warunkach klinicznych jako narzędzia przesiewowego w diagnozowaniu schorzeń i dysfunkcji związanych z nadmierną masą ciała. Empringham i wsp. [54] przeprowadził badania na grupie dzieci i młodzieży w wieku 8-17 lat, mające na celu określenie korelacji między leptyną – uznanej za biomarker masy tłuszczowej a TMI. W badaniu wykazano, pozytywny związek między analizowanymi wskaźnikami, tym samym uznali TMI za ważną miarę tkanki tłuszczowej, którą można zastosować w warunkach klinicznych i w badaniach populacyjnych [54]. Sims i wsp. [55] po przebadaniu dzieci, które przeszły nowotwory mózgu i zdrowych odkryli, że TMI wykazał silne korelacje z pomiarami całkowitej i centralnej otyłości mierzonej za pomocą analizy bioimpedancji elektrycznej (BIA). Autorzy jednoznacznie stwierdzili, że TMI może zapewnić lepsze oszacowanie masy tłuszczu i jest potencjalnym narzędziem do przewidywania otyłości u dzieci w porównaniu z BMI_{z score} [55].

Naukowcy często oceniają przydatność TMI w ocenie ryzyka kardiometabolicznego. W badaniu prowadzonym na grupie irańskich dzieci i młodzieży w wieku 7-18 lat wykazano, że TMI ma względnie małą zdolność predykcyjną zespołu metabolicznego (MetS), jednak jest lepszy niż BMI [56]. Spostrzeżenia te zostały potwierdzone przez Ramírez-Vélez i wsp. [57], którzy po przebadaniu kolumbijskich dzieci i nastolatków stwierdzili, że TMI ma umiarkowaną moc dyskryminacyjną w wykrywaniu MetS, ale mimo tego faktu, autorzy sugerują aby ten wskaźnik włączyć do codziennej praktyki klinicznej. Po przeanalizowaniu różnych wskaźników związanych z zespołem metabolicznym u dzieci Radetti i wsp. [58]

wykazali brak różnic między mocą przewidywania MetS wykorzystując TMI a innymi narzędziami. Tym samym autorzy stwierdzili, że to BMI powinno być wykorzystywane w praktyce [58]. Dodatkowo Matsuo i wsp. [59] w badaniu nastolatków z nadwagą stwierdzili, że *Tri-ponderal Mass Index* nie charakteryzuje się większą dokładnością predykcyjną w badaniach przesiewowych przewidywania insulinooporności u brazylijskich nastolatków z nadwagą w porównaniu z możliwościami jakie daje BMI. Z drugiej strony w badaniach przeprowadzonych na dużych grupach chińskich i amerykańskich dzieci stwierdzono, że TMI jest dobrym narzędziem w badaniu nastolatków [60]. Autorzy stwierdzili, że może być skuteczniejszym wskaźnikiem w badaniach przesiewowych zagrożeń sercowo-metabolicznych niż BMI [60]. Również Nascimento i wsp. [61] po przebadaniu brazylijskich dzieci w wieku przedszkolnym uznali, że TMI jest narzędziem, przewyższającym BMI, w ocenie ryzyka centralnego gromadzenia tłuszczu oraz wczesnej identyfikacji dzieci z możliwym ryzykiem chorób sercowo-naczyniowych i przewlekłych chorób niezakaźnych.

Wydaje się, że *Tri-ponderal Mass Index* może być użytecznym narzędziem w praktyce klinicznej. Jest względnie prosty i wykorzystuje tylko podstawowe pomiary antropometryczne. Istotne jednak jest określenie odpowiednich punktów odcięcia dla określonych populacji i grup etnicznych w celu osiągnięcia odpowiednio wysokiej czułości.

Wskaźnik otłuszczenia ciała pediatryczny – BAI_p (*Pediatric Body Adiposity Index*)

W związku z trudnością w ocenie zawartości tkanki tłuszczowej w 2013 roku El Aarbaoui i wsp. [62] przedstawili propozycję narzędzia mogącego umożliwić ocenę tego komponentu ciała u dzieci. Rozwiązanie to jest odpowiedzią na brak dobrej metody służącej do oceny udziału tkanki tłuszczowej, która będzie prosta w użyciu i bardziej dostępna niż wykorzystanie DXA. Zaproponowali modyfikację BAI, który nie spełnił oczekiwań w grupie pediatrycznej, przeszacowując procentową zawartość tkanki tłuszczowej. Ostatecznie autorzy zaproponowali wzór:

$$BAI_p = \frac{\text{obwód bioder (cm)}}{\text{wysokość ciała (m)}^{0.8}}$$

W badaniu przeprowadzonym w grupie 90 otyłych japońskich dzieci stwierdzono, że BAI_p jest lepszym wskaźnikiem oceny tkanki tłuszczowej u dzieci otyłych bez chorób współistniejących, niż „zwykły” BAI odnosząc się do wyników tomografii komputerowej [63]. Jednocześnie autorzy ci stwierdzili, że BAI_p i BAI nie są przydatne do przewidywania powikłań metabolicznych, co również zostało potwierdzone po przebadaniu 981 młodych Brazylijczyków [64].

Naukowcy zamiennie stosują BAI i BAI_p do oceny zawartości tkanki tłuszczowej u dzieci. Po przebadaniu 1049 osób w wieku od 8 do 19 lat wykazano, że *Pediatric Body Adiposity Index* wykazał niską zgodność z zawartością tkanki tłuszczowej obliczonej za pomocą DXA [65]. Autorzy wykazali, że BAI przeszacował procentową zawartość tkanki tłuszczowej średnio o 2,64% w porównaniu do wartości uzyskanych za pomocą DXA, natomiast BAI_p zaniżył o 3,37%. Thivel i wsp. [66] przebadali 30 otyłych nastolatków w wieku 12-16 lat. Po porównaniu wyników pomiarów DXA do danych uzyskanych za pomocą analizowanych wskaźników antropometrycznych stwierdzili, że BAI i BAI_p nie zapewniają lepszego oszacowania nadmiernej masy ciała otyłych nastolatków niż powszechnie stosowany BMI [66].

Obwód środkowy ramienia – MUAC (*Mid-upper arm circumference*)

W poszukiwaniu użytecznego narzędzia do oceny stanu odżywienia dzieci warto sięgnąć do najprostszych rozwiązań. W praktyce często wykorzystuje się pomiar środkowego obwodu ramienia (MUAC), który jest uważany za ważny miernik ciężkiego niedożywienia

[67, 68]. Jednak uznano, że jest przydatny do wykrywania nadwagi/otyłości u dzieci i młodzieży ze względu na silny związek z masą ciała [69, 70].

Pomiaru MUAC wykonuje się taśmą metryczną, prowadzoną równolegle do podłoża. Badanie przeprowadza się na lewym ramieniu w połowie długości między punktami *olecranon* i *acromion* przy rozluźnionej kończynie górnej [71]. Pomiar można wykonywać u dzieci sześciomiesięcznych i starszych. Jednak pojawiają się doniesienia, że przy ocenie stanu odżywienia można wykorzystywać ten parametr u młodszych dzieci [72] oraz dla kobiet w ciąży [73].

W ostatnim czasie pojawiają się liczne artykuły potwierdzające użyteczność tego parametru w ocenie nadwagi i otyłości. Talma i wsp. [70] po przebadaniu holenderskich dzieci w wieku 2-18 lat stwierdzili, że MUAC jest ważną miarą wykrywania nadwagi i otyłości. Według tych autorów jest dobrą alternatywą dla BMI. Jednocześnie badacze podkreślają potrzebę wyznaczenia międzynarodowych punktów odcięcia [70]. Chaput i wsp. [69] po przebadaniu 7337 dzieci pochodzących z 12 krajów uznali ten wskaźnik za obiecujące narzędzie do badań przesiewowych w kierunku otyłości. Potwierdzono to również w badaniach przeprowadzonych na dzieciach pochodzących z Tajlandii [74]. Również w badaniu Nowak-Szczepanskiej i wsp. [75] mającym na celu określenie trendów sekularnych w zakresie BMI i MUAC stwierdzono, że analizowany parametr jest przydatny do oceny stanu odżywienia populacji pediatrycznej. Po przeanalizowaniu danych 64 393 dzieci w wieku 7-18 lat autorzy stwierdzili, że może być narzędziem przesiewowym w przewidywaniu nadmiernej masy ciała, ale również zdaje się odzwierciedlać długotrwałe zmiany społeczno-ekonomiczne i kulturowe całej populacji [75].

Według Matjuda i wsp. [76] obwód środkowy ramienia jest dodatnio skorelowany z asymetryczną dimetyloargininą związaną z chorobami układu sercowo-naczyniowego [77]. Jest skutecznym narzędziem do oceny otyłości centralnej [78] oraz insulinooporności u pacjentów z cukrzycą typu 2 [79]. Wskaźnik ten jest związany z występowaniem wyższego stężenia kwasu moczowego oraz cholesterolu o niskiej gęstości i niższymi wartościami lipoprotein o wysokiej gęstości [79].

Wydaje się, że nowa odsłona tego starego wskaźnika może być dobrym uzupełnieniem dla BMI. Należy jednak ustalić punkty odcięcia dla danych populacji, wieku i płci, aby umożliwić wykorzystanie tego parametru w praktyce klinicznej do oceny występowania otyłości i nadwagi.

Podsumowanie

Nadmierna masa ciała wiąże się z zaburzeniami rozwoju, licznymi chorobami dotyczącymi sferę fizyczną i psychiczną młodego pokolenia, a także rzutuje na dorosłe życie. W walce z gwałtownym wzrostem liczby dzieci z nadwagą/otyłością i cichym przyzwoleniem na ten fakt, konieczne jest podejmowanie wszelkich możliwych kroków, które mogą przyczynić się do wygaszania problemu nadmiernej masy ciała. Możliwość zastosowania narzędzi do oceny stanu odżywienia, które nie wymagają zakupu specjalistycznego sprzętu daje możliwość powszechnego ich zastosowania a zarazem niesie potężny bagaż informacji zwrotnych o organizmie dziecka. Otrzymane informacje dotyczące zdrowia młodego pokolenia dla rodziców i edukatorów mogą być punktem wyjścia do wdrażania zmian i położenie nacisku na zachowania prozdrowotne zarówno w domu jak i w placówkach oświatowych.

Mimo iż nie ma konsensusu w sprawie najlepszego narzędzia, wiadomo, że wskaźnik BMI pozostanie głównym parametrem w ocenie stanu odżywienia. Niemniej jednak autorzy dostrzegają potencjał narzędzi takich jak: RFMp, TMI i MUAC stanowiących dobre uzupełnienie niedoskonałości przypisywanych BMI. Jednocześnie trzeba pokreślić

konieczność wypracowania konsensusu dotyczącego odpowiednich punktów odcięcia dla wieku, płci i odpowiednich grup etnicznych dla nowych wskaźników.

Bibliografia

1. Staatz CB, Kelly Y, Lacey RE, Hardy R. Area-level and family-level socioeconomic position and body composition trajectories: longitudinal analysis of the UK Millennium Cohort Study. *Lancet Public Health*. 2021;6(8):e598-e607. doi: 10.1016/S2468-2667(21)00134-1
2. Finn EB, Beck A, Sharifi M. Equitable approaches to reducing the prevalence of pediatric obesity: school nutrition policies and beyond. *Int J Obes (Lond)*. 2021;1-2. doi:10.1038/s41366-021-00924-0
3. World Health Organization (WHO). Obesity and overweight. 2021 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
4. Whitaker RC, Wright JA, Pepe MS, Seidel KD, Dietz WH. Predicting obesity in young adulthood from childhood and parental obesity. *N Engl J Med*. 1997;337:869–73. doi:10.1056/NEJM199709253371301
5. Parsons TJ, Power C, Logan S, Summerbell CD. Childhood predictors of adult obesity: a systematic review. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1999;23 Suppl 8:S1-107.
6. Nicklas TA, Baranowski T, Cullen KW, Berenson G. Eating patterns, dietary quality and obesity. *J Am Coll Nutr*. 2001;20:599–608. doi: 10.1080/07315724.2001.10719064
7. Simmonds M, Llewellyn A, Owen CG, Woolacott N. Predicting adult obesity from childhood obesity: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev*. 2016;17(2):95-107. doi: 10.1111/obr.12334
8. Verbiest I, Michels N, Tanghe A, Braet C. Inflammation in Obese Children and Adolescents: Association with Psychosocial Stress Variables and Effects of a Lifestyle Intervention. *Brain Behav Immun*. 2021;29:S0889-1591(21)00284-1. doi: 10.1016/j.bbi.2021.07.020.
9. Huttunen R, Syrjanen J. Obesity and the risk and outcome of infection. *Int J Obes (Lond)*. 2013;37(3):333–40.
10. Elisia I, Lam V, Cho B, Hay M, Li MY, Kapeluto J, Elliott T, Harris D, Bu L, Jia W, Leung H, Mohn W, Krystal G. Exploratory examination of inflammation state, immune response and blood cell composition in a human obese cohort to identify potential markers predicting cancer risk. *PLoS One*. 2020;15(2):e0228633. doi: 10.1371/journal.pone.0228633.
11. Weihrauch-Blüher S, Schwarz P, Klusmann JH. Childhood obesity: increased risk for cardiometabolic disease and cancer in adulthood. *Metabolism*. 2019;92:147-152. doi: 10.1016/j.metabol.2018.12.001
12. Magrone T, Jirillo E. Childhood obesity: immune response and nutritional approaches. *Front. Immunol*. 2015;6:76. doi: 10.3389/fimmu.2015.00076
13. Chung ST, Onuzuruike AU, Magge SN. Cardiometabolic risk in obese children. *Ann N Y Acad Sci*. 2018;1411(1):166-183. doi:10.1111/nyas.13602
14. Weihe P, Spielmann J, Kielstein H, Henning-Klusmann J, Weihrauch-Blüher S. Childhood Obesity and Cancer Risk in Adulthood. *Curr Obes Rep*. 2020;9(3):204-212. doi: 10.1007/s13679-020-00387-w
15. Friesen CS, Hosey-Cojocari C, Chan SS, Csanaky IL, Wagner JB, Sweeney BR, Friesen A, Fraser JD and Shakhnovich V. Efficacy of Weight Reduction on Pediatric Nonalcoholic Fatty Liver Disease: Opportunities to Improve Treatment Outcomes Through Pharmacotherapy. *Front. Endocrinol*. 2021;12:663351. doi: 10.3389/fendo.2021.663351

16. Deng T, Lyon CJ, Bergin S, Caligiuri MA, Hsueh WA. Obesity, Inflammation, and Cancer. *Annu Rev Pathol.* 2016;11:421-49. doi: 10.1146/annurev-pathol-012615-044359
17. Ghosh T, Richardson M, Gordon PM, Ryder JR, Spector LG, Turcotte LM. Body mass index associated with childhood and adolescent high-risk B-cell acute lymphoblastic leukemia risk: A Children's Oncology Group report. *Cancer Med.* 2020;9(18):6825-6835. doi: 10.1002/cam4.3334
18. Picon-Ruiz M, Morata-Tarifa C, Valle-Goffin JJ, Friedman ER, Slingerland JM. Obesity and adverse breast cancer risk and outcome: Mechanistic insights and strategies for intervention. *CA Cancer J Clin.* 2017;67(5):378-397. doi: 10.3322/caac.21405
19. Lindberg L, Danielsson P, Persson M, Marcus C, Hagman E. Association of childhood obesity with risk of early all-cause and cause-specific mortality: A Swedish prospective cohort study. *PLoS Med.* 2020;17(3):e1003078. doi:10.1371/journal.pmed.1003078
20. Guthold R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Global Trends in Insufficient Physical Activity among Adolescents: A Pooled Analysis of 298 Population-Based Surveys with 1.6 Million Participants. *The Lancet Child & Adolescent Health.* 2020;4:23-35. doi:10.1016/S2352-4642(19)30323-2
21. Aguilera CM, Olza J, Gil A. Genetic susceptibility to obesity and metabolic syndrome in childhood. *Nutr Hosp.* 2013;28:44–55. doi:10.3305/nh.2013.28.sup5.6917
22. Serra Majem L, Ribas Barba L, Aranceta Bartrina J, Pérez Rodrigo C, Saavedra Santana P, Peña Quintana L. Childhood and adolescent obesity in Spain. Results of the enKid study (1998-2000). *Med Clin (Barc).* 2003;121:725–32. doi:10.1016/S0025-7753(03)74077-9
23. Mahadevan S, Ali I. Is body mass index a good indicator of obesity? *Int J Diabetes Dev Ctries.* 2016;36:140–142. doi:10.1007/s13410-016-0506-5
24. Adab P, Pallan M, Whincup PH. Is BMI the best measure of obesity? *BMJ.* 2018; 360:k1274. doi:10.1136/bmj.k1274
25. Walczyk T. Anthropometric indicators of obesity. Are the new indicators a better predictor of body fat content than BMI? *J Educ Health Sport.* 2021;11(8):11-23. doi:10.12775/JEHS.2021.11.08.001
26. Must A, Anderson S. Body mass index in children and adolescents: considerations for population-based applications. *Int J Obes.* 2006;30:590–594. doi:10.1038/sj.ijo.0803300
27. World Health Organization (WHO). Body mass index - BMI <https://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>
28. Rózdżyńska-Świątkowska A, Kułaga Z, Grajda A, Gurzkowska B, Gózdź M, Wojtyło M, Świąder A, Litwin M, Grupa Badaczy OLAF i OLA. Height, weight and body mass index references for growth and nutritional status assessment in children and adolescents 3-18 year of age. *Stand Med, Pediatr.* 2013; 1:11-21.
29. Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ.* 2000;320(7244):1240-1243. doi:10.1136/bmj.320.7244.1240
30. Cole T J, Flegal K M, Nicholls D, Jackson A A. Body mass index cut offs to define thinness in children and adolescents: international survey. *BMJ.* 2007;335:194. doi:10.1136/bmj.39238.399444.55
31. The Centers for Disease Control and Prevention (CDC). About Child & Teen BMI 2021

- https://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/childrens_bmi/about_childrens_bmi.html
32. World Health Organization (WHO). BMI for ages. 2007 [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/child-growth/growth-reference-5-19-years/bmi-for-age-\(5-19-years\)/cht-bmifa-girls-perc-5-19years.pdf?sfvrsn=34a47a9b_4](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/child-growth/growth-reference-5-19-years/bmi-for-age-(5-19-years)/cht-bmifa-girls-perc-5-19years.pdf?sfvrsn=34a47a9b_4)
 33. Chin J, Wang H, Jia-Shuai M. The association between body mass index, waist circumference with body fat percent, and abdominal fat rate in overweight and obese pupils. *Prev Med.* 2013;47(07):603–7.
 34. Widhalm K, Schönegger K. BMI: Does it really reflect body fat mass? *J Pediatr.* 1999;134(4):522. doi: 10.1016/s0022-3476(99)70220-9
 35. Ajala O, Mold F, Boughton C, Cooke D, Whyte M. Childhood predictors of cardiovascular disease in adulthood. A systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2017;18(9):1061-1070. doi: 10.1111/obr.12561
 36. NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Height and body-mass index trajectories of school-aged children and adolescents from 1985 to 2019 in 200 countries and territories: a pooled analysis of 2181 population-based studies with 65 million participants. *The Lancet.* 2020; 396(10261):1511-1524. doi:10.1016/S0140-6736(20)31859-6
 37. Cole TJ, Green PJ. Smoothing reference centile curves: the LMS method and penalized likelihood. *Stat Med.* 1992;11(10):1305-19. doi: 10.1002/sim.4780111005
 38. World Health Organization (WHO). Computation of centiles and z-scores for height-for-age, weight-for-age and bmi-for-age 1-5 https://cdn.who.int/media/docs/default-source/child-growth/growth-reference-5-19-years/computation.pdf?sfvrsn=c2ff6a95_4
 39. World Health Organization (WHO). BMI-for-age (5-19 years) <https://www.who.int/tools/growth-reference-data-for-5to19-years/indicators/bmi-for-age>
 40. The Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Percentile Data Files with LMS Values. 2009 https://www.cdc.gov/growthcharts/percentile_data_files.htm
 41. Wicklow BA, Becker A, Chateau D, Palmer K, Kozyrskij A, Sellers EA. Comparison of anthropometric measurements in children to predict metabolic syndrome in adolescence: analysis of prospective cohort data. *Int J Obes (Lond).* 2015;39(7):1070-1078. doi: 10.1038/ijo.2015.55
 42. Tybor DJ, Lichtenstein AH, Dallal GE, Daniels SR, Must A. Independent effects of age-related changes in waist circumference and BMI z scores in predicting cardiovascular disease risk factors in a prospective cohort of adolescent females. *Am J Clin Nutr.* 2011;93(2):392-401. doi: 10.3945/ajcn.110.001719
 43. Samouda H, de Beaufort C, Stranges S, Guinhouya BC, Gilson G, Hirsch M, Jacobs J, Leite S, Vaillant M, Dadoun F. Adding anthropometric measures of regional adiposity to BMI improves prediction of cardiometabolic, inflammatory and adipokines profiles in youths: a cross-sectional study. *BMC Pediatr.* 2015;15:168. doi: 10.1186/s12887-015-0486-5
 44. Vanderwall C, Randall Clark R, Eickhoff J, Carrel AL. BMI is a poor predictor of adiposity in young overweight and obese children. *BMC Pediatr.* 2017;17(1):135. doi: 10.1186/s12887-017-0891-z
 45. Freedman DS, Butte NF, Taveras EM, Goodman AB, Ogden CL, Blanck HM. The Limitations of Transforming Very High Body Mass Indexes into z-Scores among 8.7 Million 2- to 4-Year-Old Children. *J Pediatr.* 2017;188:50-56.e1. doi: 10.1016/j.jpeds.2017.03.039

46. Woolcott OO, Bergman RN. Relative Fat Mass as an estimator of whole-body fat percentage among children and adolescents: A cross-sectional study using NHANES. *Sci Rep*. 2019;9(1):15279. doi:10.1038/s41598-019-51701-z
47. Krebs NF, Himes JH, Jacobson D, Nicklas TA, Guilday P, Styne D. Assessment of child and adolescent overweight and obesity. *Pediatrics*. 2007;120(4):S193-228. doi: 10.1542/peds.2007-2329D
48. Dulloo AG, Jacquet J, Solinas G, Montani JP, Schutz Y. Body composition phenotypes in pathways to obesity and the metabolic syndrome. *Int J Obes (Lond)*. 2010;34(2):4-17. doi: 10.1038/ijo.2010.234. PMID: 21151146
49. Woolcott OO, Bergman RN. Relative fat mass (RFM) as a new estimator of whole-body fat percentage — A cross-sectional study in American adult individuals. *Sci Rep*. 2018;8(1):10980. doi: 10.1038/s41598-018-29362-1.
50. Hudda MT, Fewtrell MS, Haroun D, Lum S, Williams JE, Wells JCK, Riley RD, Owen CG, Cook DG, Rudnicka AR, Whincup PH, Nightingale CM. Development and validation of a prediction model for fat mass in children and adolescents: meta-analysis using individual participant data. *BMJ*. 2019;366:l4293. doi: 10.1136/bmj.l4293
51. Karava V, Dotis J, Kondou A, Christoforidis A, Liakopoulos V, Tsioni K, Kollis K, Papachristou F, Printza N. Association between relative fat mass, uric acid, and insulin resistance in children with chronic kidney disease. *Pediatr Nephrol*. 2021;36(2):425-434. doi: 10.1007/s00467-020-04716-y
52. Ripka WL, Orsso CE, Haqq AM, Prado CM, Ulbricht L, Leite N. Validity and accuracy of body fat prediction equations using anthropometrics measurements in adolescents. *Eat Weight Disord*. 2021;26(3):879-886. doi: 10.1007/s40519-020-00918-3
53. Peterson CM, Su H, Thomas DM, Heo M, Golnabi AH, Pietrobelli A, Heymsfield SB. Tri-Ponderal Mass Index vs Body Mass Index in Estimating Body Fat During Adolescence. *JAMA Pediatr*. 2017;171(7):629-636. doi:10.1001/jamapediatrics.2017.0460
54. Empringham B, Jennings WJ, Rajan R, Fleming AJ, Portwine C, Johnston DL, Zelcer SM, Rassekh SR, Tran V, Burrow S, Thabane L, Samaan MC. Leptin is Associated with the Tri-Ponderal Mass Index in Children: A Cross-Sectional Study. *Adolesc Health Med Ther*. 2021;12:9-15. doi: 10.2147/AHMT.S289973
55. Sims ED, Wang KW, Fleming A, Johnston DL, Zelcer SM, Rassekh SR, Burrow S, Thabane L, Samaan MC. Tri-ponderal mass index in survivors of childhood brain tumors: A cross-sectional study. *Sci Rep*. 2018;8(1):16336. doi: 10.1038/s41598-018-34602-5
56. Khoshhali M, Heidari-Beni M, Qorbani M, Motlagh ME, Ziaodini H, Heshmat R, Kelishadi R. Tri-ponderal mass index and body mass index in prediction of pediatric metabolic syndrome: the CASPIAN-V study. *Arch Endocrinol Metab*. 2020;64(2):171-178. doi: 10.20945/2359-3997000000206
57. Ramírez-Vélez R, Correa-Bautista JE, Carrillo HA, González-Jiménez E, Schmidt-RioValle J, Correa-Rodríguez M, García-Hermoso A, González-Ruiz K. Tri-Ponderal Mass Index vs. Fat Mass/Height³ as a Screening Tool for Metabolic Syndrome Prediction in Colombian Children and Young People. *Nutrients*. 2018;10(4):412. doi: 10.3390/nu10040412
58. Radetti G, Fanolla A, Grugni G, Lupi F, Sartorio A. Indexes of adiposity and body composition in the prediction of metabolic syndrome in obese children and adolescents: Which is the best? *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2019;29(11):1189-1196. doi: 10.1016/j.numecd.2019.06.011

59. Matsuo AR, Lopes WA, Locatelli JC, Simões CF, de Oliveira GH, Nardo N Jr. Tri-ponderal mass index as a tool for insulin resistance prediction in overweight adolescents: A cross-sectional study. *Nutrition*. 2020;74:110744. doi: 10.1016/j.nut.2020.110744
60. Wang X, Dong B, Ma J, Song Y, Zou Z, Arnold L. Role of tri-ponderal mass index in cardio-metabolic risk assessment in children and adolescents: compared with body mass index. *Int J Obes (Lond)*. 2020;44(4):886-894. doi: 10.1038/s41366-019-0416-y
61. Nascimento VG, Bertoli CJ, Gallo PR, Abreu LC, Leone C. Tri-Ponderal Mass Index: A Screening Tool for Risk of Central Fat Accumulation in Brazilian Preschool Children. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(9):577. doi: 10.3390/medicina55090577
62. El Aarbaoui T, Samouda H, Zitouni D, di Pompeo C, de Beaufort C, Trincaretto F, Mormontyn A, Hubert H, Lemdani M, Guinhouya BC. Does the body adiposity index (BAI) apply to paediatric populations? *Ann Hum Biol*. 2013;40(5):451-8. doi: 10.3109/03014460.2013.802011
63. Dobashi K, Takahashi K, Nagahara K, Tanaka D, Itabashi K. Evaluation of Hip/Height^P Ratio as an Index for Adiposity and Metabolic Complications in Obese Children: Comparison with Waist-related Indices. *J Atheroscler Thromb*. 2017;24(1):47-54. doi: 10.5551/jat.35311
64. Perona JS, Schmidt Rio-Valle J, Ramírez-Vélez R, Correa-Rodríguez M, Fernández-Aparicio Á, González-Jiménez E. Waist circumference and abdominal volume index are the strongest anthropometric discriminators of metabolic syndrome in Spanish adolescents. *Eur J Clin Invest*. 2019;49(3):e13060. doi: 10.1111/eci.13060
65. De Santis Filgueiras M, Cecon RS, de Faria ER, de Faria FR, Pereira PF, Ribeiro AQ, Priore SE, de Novaes JF. Agreement of body adiposity index (BAI) and paediatric body adiposity index (BAIp) in determining body fat in Brazilian children and adolescents. *Public Health Nutr*. 2019;22(1):132-139. doi: 10.1017/S1368980018002458
66. Thivel D, O'Malley G, Pereira B, Duché P, Aucouturier J. Comparison of total body and abdominal adiposity indexes to dual x-ray absorptiometry scan in obese adolescents. *Am J Hum Biol*. 2015;27(3):334-8. doi: 10.1002/ajhb.22643.
67. Briend A, Alvarez JL, Avril, N. et al. Low mid-upper arm circumference identifies children with a high risk of death who should be the priority target for treatment. *BMC Nutr*. 2016;2:63. doi:10.1186/s40795-016-0101-7
68. Thorup L, Hamann SA, Kallestrup P, Hjørtdal VE, Tripathi A, Neupane D, Patsche CB. Mid-upper arm circumference as an indicator of underweight in adults: a cross-sectional study from Nepal. *BMC Public Health*. 2020;20(1):1187. doi: 10.1186/s12889-020-09294-0
69. Chaput JP, Katzmarzyk PT, Barnes JD, Fogelholm M, Hu G, Kuriyan R, Kurpad A, Lambert EV, Maher C, Maia J, Matsudo V, Olds T, Onywera V, Sarmiento OL, Standage M, Tudor-Locke C, Zhao P, Tremblay MS, ISCOLE Research Group. Mid-upper arm circumference as a screening tool for identifying children with obesity: a 12-country study. *Pediatr Obes*. 2017;12(6):439-445. doi: 10.1111/ijpo.12162
70. Talma H, van Dommelen P, Schweizer JJ, Bakker B, Kist-van Holthe JE, Chinapaw JMM, Hirasing RA. Is mid-upper arm circumference in Dutch children useful in identifying obesity? *Arch Dis Child*. 2019;104(2):159-165. doi: 10.1136/archdischild-2017-313528
71. Das A, Saimala G, Reddy N, Mishra P, Giri R, Kumar A, Raj A, Kumar G, Chaturvedi S, Babu S, Srikantiah S, Mahapatra T. Mid-upper arm circumference as a substitute of the body mass index for assessment of nutritional status among adult and adolescent

- females: learning from an impoverished Indian state. *Public Health*. 2020;179:68-75. doi: 10.1016/j.puhe.2019.09.010
72. Ezeofor IO, Garcia AL, Wright CM. Criteria for undernutrition screening in hospitalised infants under 6 months: a diagnostic accuracy study in a resource-poor setting. *Arch Dis Child*. 2020;105(6):524-529. doi: 10.1136/archdischild-2019-318313
 73. Kpewou DE, Poirot E, Berger J, Som SV, Laillou A, Belayneh SN, Wieringa FT. Maternal mid-upper arm circumference during pregnancy and linear growth among Cambodian infants during the first months of life. *Matern Child Nutr*. 2020;16(2):e12951. doi: 10.1111/mcn.12951
 74. Rerksuppaphol S, Rerksuppaphol L. Mid-Upper-Arm Circumference and Arm-to-Height Ratio to Identify Obesity in School-Age Children. *Clin Med Res*. 2017;15(3-4):53-58. doi: 10.3121/cmr.2017.1365
 75. Nowak-Szczepanska N, Gomula A, Koziel S. Mid-upper arm circumference and body mass index as different screening tools of nutritional and weight status in Polish schoolchildren across socio-political changes. *Sci Rep*. 2019;9(1):12399. doi: 10.1038/s41598-019-48843-5
 76. Matjuda EN, Engwa GA, Letswalo PB, Mungamba MM, Sewani-Rusike CR, Nkeh-Chungag BN. Association of Hypertension and Obesity with Risk Factors of Cardiovascular Diseases in Children Aged 6-9 Years Old in the Eastern Cape Province of South Africa. *Children (Basel)*. 2020;7(4):25. doi: 10.3390/children7040025
 77. Liu X, Xu X, Shang R, Chen Y. Asymmetric dimethylarginine (ADMA) as an important risk factor for the increased cardiovascular diseases and heart failure in chronic kidney disease. *Nitric Oxide*. 2018;78:113-120. doi: 10.1016/j.niox.2018.06.004
 78. Ozturk A, Cicek B, Mazicioglu MM, Kurtoglu S. Determining abdominal obesity cut-offs and relevant risk factors for anthropometric indices in Turkish children and adolescents. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2015;28(5-6):525-32. doi:10.1515/jpem-2014-0327
 79. Zhu Y, Lin Q, Zhang Y, Deng H, Hu X, Yang X, Yao B. Mid-upper arm circumference as a simple tool for identifying central obesity and insulin resistance in type 2 diabetes. *PLoS One*. 2020;15(5):e0231308. doi: 10.1371/journal.pone.0231308