ANALIZA DOKŁADNOŚCI FORMUŁ DO WYZNACZANIA POWIERZCHNI CIAŁA CZŁOWIEKA

Marek Krawczuk[1], Grzegorz Redlarski[1a,2], Janusz Siebert[3], Aleksander Pałkowski[1b], Piotr M. Tojza[1], Gustaw Rzyman[1c]

[1] Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
[2] Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych
[3] Gdański Uniwersytet Medyczny, Wydział Lekarski, Katedra Medycyny Rodzinnej
[a]grzegorz.redlarski@pg.gda.pl, [b]aleksander.palkowski@pg.gda.pl, [c]gustaw.rzyman@pg.gda.pl

Streszczenie

Powierzchnia ciała człowieka (*body surface area*, BSA) jest wskaźnikiem o szerokim spektrum zastosowań w lecznictwie medycznym (m.in. w chemioterapii, transplantologii oraz toksykologii). Każdy z istniejących wzorów do wyznaczania wartości BSA charakteryzuje się pewnym (lepszym bądź gorszym) współczynnikiem zgodności pomiędzy wartością obliczoną a wartością dokładną – uzyskaną na podstawie pomiaru skanerem 3D. Współczynnik ten jest tym wyższy, im bardziej zróżnicowana jest grupa testowa. Dlatego, dokonując w artykule analizy błędów BSA, zbadano zróżnicowaną grupę osób, którą następnie podzielono na dwie podgrupy. Pierwszą podgrupę stanowiły osoby zdrowe o prawidłowej wartości BMI, natomiast grupę drugą – osoby o nieprawidłowej wartości BMI i/lub osoby o nieprawidłowej (zdeformowanej) budowie ciała. W przypadku pierwszej grupy rozbieżności pomiędzy wartościami pomiarowymi a obliczonymi sięgnęły od 5,2% do 10,7%, natomiast w przypadku drugiej grupy rozbieżności te wyniosły od 10,5% do 34,3%. Do obliczeń przyjęto 25 najczęściej stosowanych formuł do estymacji BSA.

Słowa kluczowe: powierzchnia ciała człowieka, skanowanie 3D

ACCURACY ANALYSIS OF FORMULAS TO COMPUTE BODY SURFACE AREA

Summary

Body surface area (BSA) may be computed using a variety of formulas, but the computed BSA differs from real BSA values for particular subjects. This is presented in the paper by computing BSA values for selected subject and comparing them to the real BSA value obtained with the use of a 3D body scanner. The results show inequalities in the relevant BSA computing formulas. Hence, there is a need to determine a method that will allow to select the best formula for calculating BSA in a particular case. The problem is especially evident for people with abnormal physique, for which BSA estimation error range from 10,5% to 34,3%. For people with normal physique the relative error is lesser then 10,7%.

Keywords: body surface area, 3D scanning

1. WSTĘP

Na przestrzeni minionych stuleci opracowano dziesiątki wzorów do wyznaczania powierzchni ciała człowieka (*body surface area*, BSA) dla celów medycznych (dawkowanie leków, wykonywanie zabiegów, itd.) [18, 19]. Niestety, wszystkie wzory, również te najczęściej stosowane (tab. 1), obarczone są istotnymi błędami mogącymi wpłynąć na jakość leczenia. W popularnie używanych wzorach do obliczeń BSA wykorzystywane są z reguły dwa parametry antropometryczne: wzrost i masa ciała. Fakt ten sprawia, że u osób o normalnej budowie ciała

uzyskuje się zazwyczaj niewielkie odstępstwa pomiędzy wartością estymowaną a faktyczną, natomiast u osób otyłych, anorektycznych lub z deformacją ciała błędy te są zazwyczaj znacznie wyższe. Dotychczas wykonywane badania nie uwzględniały jednak grup osób o atypowej budowie ciała. Dlatego też znane i stosowane formuły nie biorą pod uwagę takich parametrów antropometrycznych, które odzwierciedlałyby typ budowy ciała lub stopień deformacji towarzyszący określonemu schorzeniu. W tym zakresie przedstawione w artykule zagadnienie jest więc unikatowe i oryginalne. Błędne oszacowanie wskaźnika BSA może mieć bezpośredni i negatywny wpływ na przebieg leczenia tych chorób, w przypadku których wskaźnik BSA stanowi podstawę doboru dawek leków.

W związku z powyższym, w artykule przedstawiono zestawienie różnic w wartościach BSA obliczonych różnymi, powszechnie znanymi metodami w porównaniu z wartościami uzyskanymi za pomocą wysoce dokładnych modeli 3D osób uczestniczących w badaniu. Tym samym uzasadniono również konieczność opracowania nowych formuł do wyznaczania wartości BSA, np. na bazie szerszego spektrum parametrów antropometrycznych możliwych do pozyskania w łatwy i szybki sposób.

2. FORMUŁY DO OBLICZANIA WSKAŹNIKA BSA

Pierwsza ze znanych formuł do wyznaczania wskaźnika BSA została opracowana w 1879 roku. Od tego czasu powstało szereg innych wzorów, spośród których aż 25 jest powszechnie stosowanych (tab. 1). W większości z nich do wyznaczenia wartości BSA niezbędna jest znajomość masy ciała W (w kilogramach) oraz wzrostu H (w centymetrach) pacjenta. W pozostałych wprowadzono rozróżnienie ze względu na płeć.

Tab. 1. Popularne formuły do wyznaczania wskaźnika BSA

Autor	Wzór	
Meeh (1879)	$0{,}1053 \cdot W^{2/3}$	[13]
DuBois & DuBois (1916)	$0{,}007184 \cdot W^{0{,}425} \cdot H^{0{,}725}$	[6]
Faber & Mechler (1921)	$0{,}00785 \cdot W^{0{,}425} \cdot H^{0{,}725}$	[7]
Takahira (1925)	$0{,}007246 \cdot W^{0{,}425} \cdot H^{0{,}725}$	[24]
Breitmann (1932)	$0{,}0087 \cdot (W + H) - 0{,}26$	[4]
Boyd (1935)	$0{,}0003207 \cdot (W \cdot 1000)^{0{,}7285 - 0{,}0188 \cdot \log_{10}(W \cdot 1000) \cdot H^{0{,}3}}$	[3]
Stevenson (1937)	$0{,}0128 \cdot W + 0{,}0061 \cdot H - 0{,}1529$	[23]
Sendroy & Cecchini (1954)	$0{,}0097 \cdot (W + H) - 0{,}545$	[21]
Banerjee & Sen (1955)	$0{,}007466 \cdot W^{0{,}425} \cdot H^{0{,}725}$	[2]
Choi (1956)	Mężczyźni: $0{,}005902 \cdot W^{0{,}407} \cdot H^{0{,}776}$ Kobiety: $0{,}008692 \cdot W^{0{,}442} \cdot H^{0{,}678}$	[5]
Mehra (1958)	$0{,}01131 \cdot W^{0{,}4092} \cdot H^{0{,}6468}$	[14]
Banerjee & Bhattacharya (1961)	$0{,}007 \cdot W^{0{,}425} \cdot H^{0{,}725}$	[1]
Fujimoto et al. (1968)	$0{,}008883 \cdot W^{0{,}444} \cdot H^{0{,}663}$	[8]
Gehan & George (1970)	$0{,}0235 \cdot W^{0{,}51456} \cdot H^{0{,}42246}$	[9]
Haycock et al. (1978)	$0{,}024265 \cdot W^{0{,}5378} \cdot H^{0{,}3964}$	[10]
Mosteller (1987)	$\sqrt{W \cdot H/3600}$	[15]
Mattar (1989)	$(W + H - 60)/100$	[12]
Nwoye (1989)	$0{,}001315 \cdot W^{0{,}262} \cdot H^{1{,}2139}$	[17]
Shuter & Aslani (2000)	$0{,}00949 \cdot W^{0{,}441} \cdot H^{0{,}655}$	[22]
Livingston & Lee (2001)	$0{,}1173 \cdot W^{0{,}6466}$	[11]
Tikuisis (2001)	Mężczyźni: $0{,}01281 \cdot W^{0{,}44} \cdot H^{0{,}6}$ Kobiety: $0{,}01474 \cdot W^{0{,}47} \cdot H^{0{,}55}$	[25]
Nwoye & Al-Sheri (2003)	$0{,}02036 \cdot W^{0{,}427} \cdot H^{0{,}516}$	[16]
Yu, Lo, Chiou (2003)	$0{,}015925 \cdot (W \cdot H)^{0{,}5}$	[28]
Schlich (2010)	Mężczyźni: $0{,}000579479 \cdot W^{0{,}38} \cdot H^{1{,}24}$ Kobiety: $0{,}000975482 \cdot W^{0{,}46} \cdot H^{1{,}08}$	[20]
Yu, Lin, Yang (2010)	$0{,}00713989 \cdot W^{0{,}404} \cdot H^{0{,}7437}$	[27]

3. METODYKA BADAWCZA

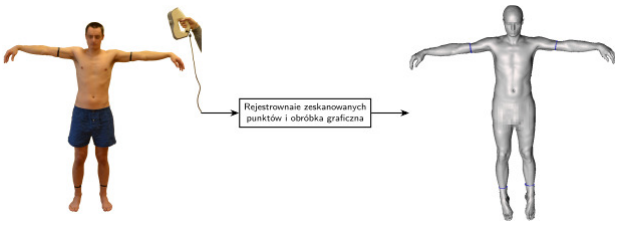
Procesowi skanowania 3D poddano grupę 140 osób w różnym wieku, różnej płci oraz o różnej budowie ciała (osoby otyłe, anorektyczne oraz z chorobami wpływającymi na anatomiczne deformacje ciała). Następnie

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

uzyskane wyniki podzielono na dwie podgrupy reprezentujące odpowiednio: 77 osób zdrowych o standardowej budowie ciała i prawidłowym wskaźniku BMI (*Body Mass Index*) w przedziale <18,5 kg/m^2; 25 kg/m^2) [3] oraz 63 osoby o niestandardowej budowie ciała i/lub nieprawidłowym BMI pozostającym poza podanym przedziałem.

Badania zostały zatwierdzone przez Niezależną Komisję Bioetyki ds. Badań Naukowych Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Ponadto wszystkie osoby biorące udział w badaniu wyraziły na to pisemną zgodę i uczestniczyły w nich dobrowolnie.

Przestrzenny model sylwetki pacjenta (rys. 1) stanowił podstawę wyznaczania dokładnej wartości BSA. Parametr ten wyznaczany był na podstawie serii pomiarów wykonywanych za pomocą skanera Artec 3D Eva (Rys. 2) umieszczonego w odległości od 0,4 m do 1 m od obiektu skanowanego. Odnośny skaner został wybrany do badań przede wszystkim ze względu na wysoką dokładność oraz mobilność, przez co możliwe były pomiary pacjentów, u których postęp choroby i/lub wiek uniemożliwiał odległe przemieszczanie się. Ponadto dedykowane oprogramowanie skanera Artec Studio 11 wyposażone jest w moduł automatycznej kompensacji ruchów pacjentów (towarzyszącym reakcji pacjentów na skanowanie). Gwarantowana przez producenta skanera dokładność pomiaru wynosi 0,1 mm, natomiast rozdzielczość 0,5 mm. Skanowane osoby musiały znajdować się w pozycji stojącej na specjalnie skonstruowanej do tego celu obrotnicy, z rękoma ustabilizowanymi przystosowanymi podpórkami. Skanowanie odbywało się w trzech etapach: skanowanie ciała od głowy do stóp, dokładne skanowanie stóp oraz dokładne skanowanie rąk i dłoni. Stałe punkty węzłowe modelu oznaczane były markerami (rys. 1), a średni czas skanowania jednej osoby wynosił około 10 min. Zadaniem oprogramowania Artec Studio 11 Professional była kontrola jakości modeli i ewentualne korekty graficzne (np. usuwanie artefaktów). Powyższe działania pozwalały na uzyskanie wysokiej jakości modeli i tym samym precyzyjne obliczanie wartości BSA. Dokładność pomiarów została również potwierdzana przez autorów poprzez porównanie wyniku obliczeń z serią 5 pomiarów wprowadzonego w drgania przedmiotu w kształcie walca o średnicy 11,03 cm i długości 90,09 cm. Błąd bezwzględny pomiarów nie przekroczył 24,2 cm^2, co odpowiada wartości maksymalnej nie większej niż 0,73%.



Rys. 1. Proces powstawania modelu 3D

Rys. 2. Widok skanera Artec 3D Eva

4. WYNIKI ANALIZY PORÓWNAWCZEJ ESTYMOWANEGO PARAMETRU BSA

Do podstawowych czynników wpływających na rozbieżności pomiędzy obliczonymi wartości BSA należy zaliczyć:

- nieprawidłowy sposób estymacji wzorów, u podstaw którego leży rozwiązanie zagadnienia regresji liniowej (brak krzyżowej walidacji),
- błędy pomiarowe (szczególnie w przypadku dawnych formuł, gdy niedostępne były precyzyjne urządzenia pomiarowe),
- mała liczebność i homogeniczność grup testowych.

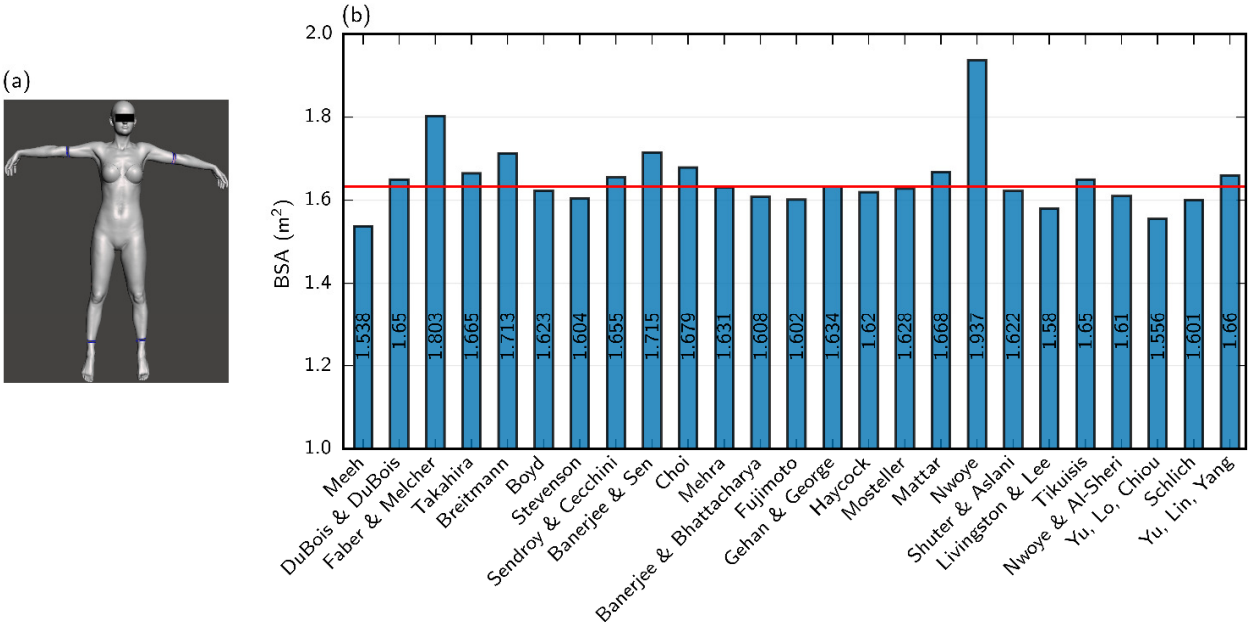
Obecnie dostępne są zaawansowane i precyzyjne urządzenia pomiarowe, które pozwalają na praktyczne wyeliminowanie błędów w procesie skanowania. Dostępne są również techniki estymacji wykorzystujące krzyżową walidację, co zapewnia rozdzielenie prób wykorzystywanych do estymacji wzorów i prób wykorzystywanych do ich weryfikacji.

Przykładowo, wyznaczając rozpatrywanymi metodami (tab. 1) wartość BSA zdrowej, 22-letniej kobiety (rys. 3a) o typowej budowie, masie ciała wynoszącej 55,8 kg oraz wzroście równym 171 cm, skrajne rozbieżności pomiędzy metodami sięgają 24,43% (rys. 3b). Bezwzględna wartość ww. różnic stanowi z kolei blisko 0,4 m^2 w odniesieniu do wartości dokładnej – wynikającej z modelu 3D – równej 1,633 m^2.

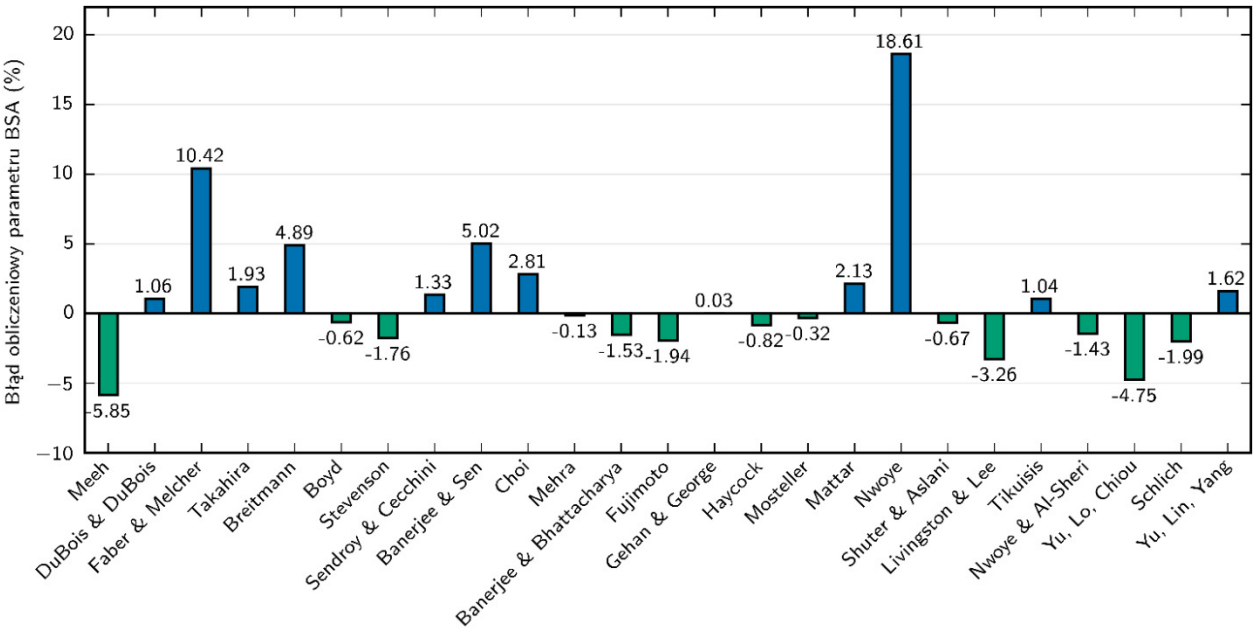
W celu uogólnienia ww. spostrzeżenia na rys. 4 i 5 przedstawiono rozbieżności pomiędzy obliczonymi a rzeczywistymi wartościami BSA dla całej badanej próby.

Przedstawione na rys. 4 wyniki odnoszą się do całej próby testowej złożonej ze 140 osób pochodzenia wschodnioeuropejskiego obu płci, wieku od 20 do 28 lat. Najwyższy błąd względny uzyskano po zastosowaniu do obliczeń wzoru Nwoye (blisko 24%), natomiast najmniejszy błąd względny BSA uzyskuje się po zastosowaniu do obliczeń wzoru Tikuisis (około 3%).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 3. BSA wybranego pacjenta: (a) model 3D osoby badanej; (b) obliczone wartości BSA.



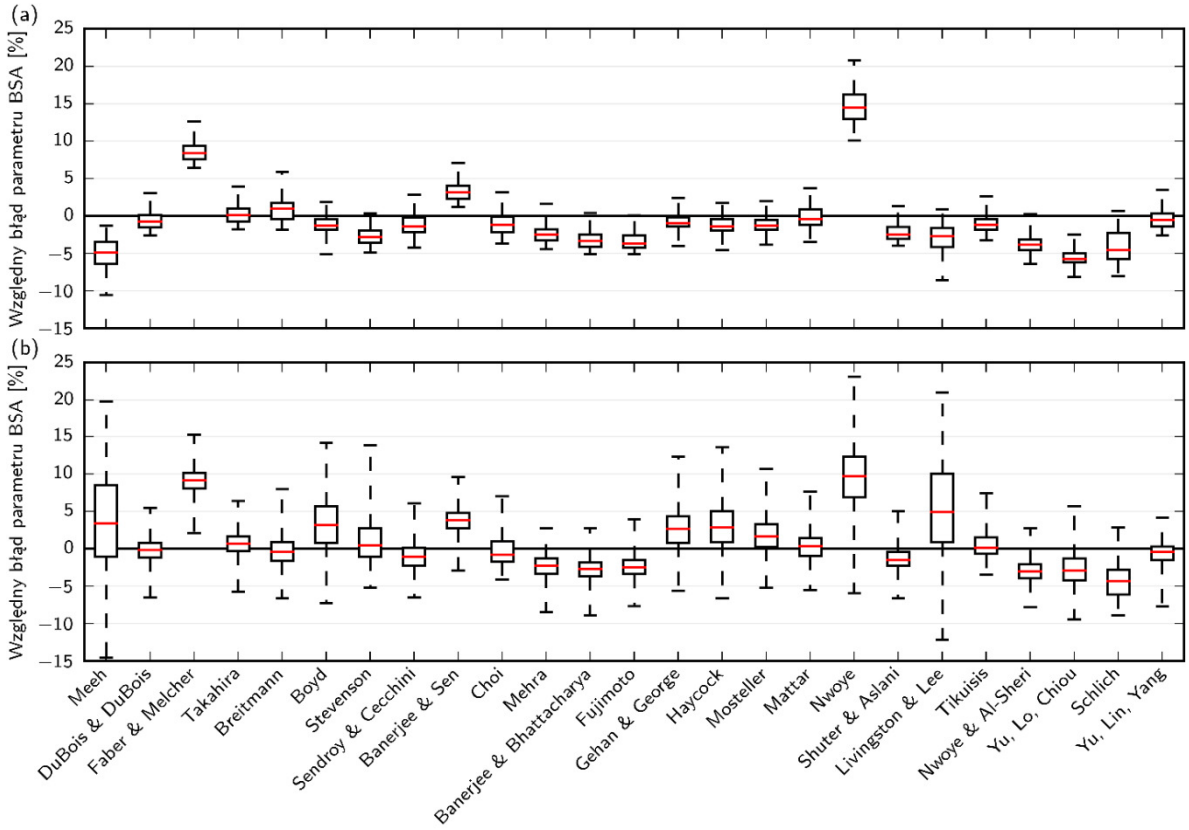
Rys. 4. Procentowy błąd pomiędzy rzeczywistą wartością parametru BSA a obliczonymi na podstawie wzorów podanych w tab. 1.

Zdecydowanie odmiennie przedstawiają się błędy BSA (rys. 5) po dokonaniu podziału badanej grupy osób na dwie podgrupy. W tym przypadku szczególnie interesujące są warianty uwzględniające podział na:

- osoby o prawidłowej budowie ciała i BMI w przedziale od 18,5 kg/m^2 do 25 kg/m^2 (rys. 5a)
- osoby o nieprawidłowej budowie ciała i/lub wskaźniku BMI spoza ww. przedziału (rys. 5b).

W przypadku pierwszej z ww. grup większość formuł estymacji parametru BSA pozwala na uzyskanie satysfakcjonujących wyników (rys. 5a). Natomiast w przypadku drugiej podgrupy błędy estymacji wartości parametru BSA są znacząco większe. Na rys. 5b można zauważyć szeroki przedział wartości błędów sięgający 35% oraz wysokie wartości mediany błędów. Dodatkowo rozstęp ćwiartkowy jest zauważalnie większy niż na rys. 5a, co jednoznacznie odzwierciedla wysokie zróżnicowanie wartości błędów względnych.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 5. Błędy pomiędzy rzeczywistymi wartościami BSA, a wartościami obliczonymi na podstawie wzorów podanych w tab. 1, przy uwzględnieniu podziału na podgrupy: (a) osób o prawidłowej budowie ciała, (b) osób o nieprawidłowej budowie ciała

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Większość współcześnie stosowanych metod obliczania wskaźników BSA pozwala na osiąganie akceptowalnych wyników wyłącznie u osób zdrowych, o prawidłowej wartości wskaźnika BMI (w przedziale od 18,5 kg/m^2 do 25 kg/m^2). Zastosowanie tych samych formuł w pozostałych przypadkach (osoby otyłe, anorektyczne, z deformacją ciała, itd.) prowadzi do błędnych wyników, w których błędy sięgają niejednokrotnie kilkudziesięciu procent wartości rzeczywistych. Z tego względu lekarze zmuszeni są do dokonywania korekt otrzymanych wyników na bazie własnego doświadczenia. Takie podejście (mające na celu najczęściej doszacowanie wyniku BSA) może prowadzić do zmniejszenia skuteczności prowadzonego leczenia. Z tego powodu konieczne jest opracowanie innych, dokładniejszych i bardziej uniwersalnych formuł pozwalających na szybkie i precyzyjne wyznaczenie wskaźnika BSA niezależnie od wieku, czy stanu zdrowia pacjenta.

Przedstawiona analiza jest zaczątkiem projektu będącego obecnie w fazie opracowywania (pomiary i przygotowywanie bazy modeli 3D), a publikacja pierwszych wyników planowana jest w tym roku.

Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego o nr 2014/15/B/NZ7/01018 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki

Literatura

1. Banerjee S., Bhattacharya A. K. : Determination of body surface area in Indian Hindu children. “Journal of Applied Physiology” 1961, Vol. 16, No. 6, p. 969-970.
2. Banerjee, S., Sen, R. : Determination of the surface area of the body of Indians. “Journal of Applied Physiology” 1955, Vol. 7, p. 585-588.
3. Boyd E. : Growth of Surface Area in Human Body. University of Minnesota Press 1935.
4. Breitmann, M. : Eine vereinfachte Methodic der Korperober-achbestimmung. “Zeitschrift fur Konstitutionslehre” 1932, Vol. 17, S. 211-214.
5. Choi W. R. : The body surface area of Koreans. “Korean J Aviat Med” 1956, Vol. 4, p. 1-21.
6. Du Bois D., Du Bois E. F. : A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. “Arch Intern Med” 1916, Vol. 17, p. 863-871.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

7. Faber H. K., Melcher M. S. : A modication of the Du Bois height-weight formula for surface areas of newborn infants. “Experimental Biology and Medicine” 1921, Vol. 19, p. 53-54.
8. Fujimoto S., Watanabe T., Sakamoto A., Yukawa K., Morimoto, K. : Studies on the physical surface area of Japanese. “Japanese Journal of Hygiene” 1968, Vol. 23, p. 443-450.
9. Redlarski G., Palkowski A., Krawczuk M. : Body surface area formulae: an alarming ambiguity. “Scientific Reports”, Vol. 6, p. 27966, Jun. 2016. DOI 10.1038/srep27966
10. Gehan E. A., George S. L. : Estimation of human body surface area from height and weight. “Cancer Chemotherapy Reports” 1970, Vol. 54, No. 4, p. 225-235.
11. Haycock G. B., Schwartz G. J., Wisotsky D. H. : Geometric method for measuring body surface area: A height-weight formula validated in infants, children, and adults. “The Journal of Pediatrics” 1978, Vol. 93, No. 1, p. 62-66, DOI 10.1016/S0022-3476(78)80601-5.
12. Livingston E. H., Lee S. : Body surface area prediction in normal-weight and obese patients. “American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism” 2001, Vol. 281, No. 3, p. 586-591.
13. Mattar J. A. : A Simple Calculation to Estimate Body Surface Area in Adults and Its Correlation with the Du Bois Formula. “Critical Care Medicine” 1989, Vol. 17, p. 846-853.
14. Meeh K. : Oberachenmessungen des menschlichen Korpers. “Zeitschrift fur Biologie” 1879, Vol. 15, p. 425-485.
15. Mehra N. C. : Body surface area of Indians. “Journal of Applied Physiology” 1958, Vol. 12, p. 34-36.
16. Mosteller R. D. : Simplified calculation of body-surface area. “The New England Journal of Medicine” 1987, Vol. 317, No. 17, p. 1098.
17. Nwoye L. O., Al-Shehri M. A. : A formula for the estimation of the body surface area of Saudi male adults. Saudi 206 Medical Journal 24, 13411346 (2003).
18. Nwoye L. O. : Body Surface Area of Africans: A Study Based on Direct Measurements of Nigerian Males. “Human Biology” 1989, Vol. 61, No. 3, p. 439-457.
19. Redlarski G., Tojza P.M. : Computer Supported Analysis of the Human Body Surface Area. “International Journal of Innovative Computing, Information and Control” 2013, Vol. 9, No. 5, p. 1801-1818.
20. Schlich E., Schumm M., Schlich M. : 3D-Body-Scan als anthropometrisches Verfahren zur Bestimmung der spezis- 121 chen Korperoberache. “Ernahrungs Umschau” 2010, Vol. 57, No. 4, p. 178-183.
21. Sendroy J., Cecchini, L. P. : Determination of Human Body Surface Area From Height and Weight. “Journal of Applied Physiology” 1954, Vol. 7, p. 1-12.
22. Shuter B., Aslani A.: Body surface area: Du Bois and Du Bois revisited. “European Journal of Applied Physiology” 2000, Vol. 82, No. 3, p. 250-254.
23. Stevenson P. H. : Height-weight-surface formula for the estimation of body surface area in Chinese subjects. “The Chinese Journal of Physiology” 1937, Vol. 12, p. 327-330.
24. Takahira H. : Metabolism of the Japanese. Imperial Government Institute of Nutrition. Report of the Imperial Nutrition Institute of Japan. Tech. rep. Tokyo: Imperial Government Institute for Nutrition 1925, p. 88.
25. Tikuisis P., Meunier P., Jubenville C. : Human body surface area: measurement and prediction using three dimensional body scans. “European Journal of Applied Physiology” 2001, Vol. 85, No. 3, p. 264-271.
26. World Health Organization : BMI Classification. Global Database on Body Mass Index, 2006. Retrieved July 27, 2012.
27. Yu C.-Y., Lin C.-H., Yang Y.-H. : Human body surface area database and estimation formula. “Burns” 2010, Vol. 36, No. 5, p. 616-629, DOI 10.1016/j.burns.2009.05.013.
28. Yu C.-Y., Lo Y.-H., Chiou W.-K. : The 3D scanner for measuring body surface area: a simplied calculation in the Chinese adult. “Applied Ergonomics” 2003, Vol. 34, No. 3, p. 273-278, DOI 10.1016/S0003-6870(03)00007-3.

Artykuł dostępny na podstawie licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0 Polska.
http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl