

Lek. Jacek Lach

„Analiza czynników wpływających na wskaźniki wydolności fizycznej oraz maksymalne tętno (HRmax) w populacji aktywnej fizycznie”.

**Rozprawa na stopień naukowy doktora nauk medycznych
w dyscyplinie nauki medyczne**

Promotor: Prof. dr hab. n. med. Artur Mamcarz

Promotor pomocniczy: Dr n. med. Daniel Śliż

III Klinika Chorób Wewnętrznych i Kardiologii Wydziału Lekarskiego Warszawskiego
Uniwersytetu Medycznego



Obrona rozprawy doktorskiej przed Radą Wydziału Lekarskiego
Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego
Warszawa 2022

Słowa kluczowe: tętno maksymalne (HRmax); węzeł zatokowy, wysiłek fizyczny; elektrokardiogram (EKG); pochłanianie tlenu (VO₂), wentylacja (VE), próg beztlenowy (AT), punkt kompensacji oddechowej (RCP), ciśnienie tętnicze, rezerwa częstości serca, puls tlenowy, beztłuszczowa masa ciała (FFM), zawartość tkanki tłuszczowej (BF), skład ciała (BC), wskaźnik masy ciała (BMI), badanie spiroergometryczne (CPET), test wysiłkowy.

Key words: Maximal heart rate (HRmax), sinus node (SN)respiratory compensation point, anaerobic threshold, ventilation, respiratory compensation point, anaerobic threshold, blood pressure, body composition, body mass index, spiroergometry (cardiopulmonary exercise test), exercise test, oxygen pulse, fat free mass, body fat.

Panu Profesorowi dr hab. n. med. Arturowi Mamcarzowi dziękuję za umożliwienie rozwoju naukowego, cenne uwagi merytoryczne oraz cierpliwość.

Panu Doktorowi n. med. Danielowi Śliżowi dziękuję za inspirację i motywację do pracy naukowej.

Moim bliskim dziękuję za wyrozumiałość, wsparcie i wiarę w moje możliwości.

WYKAZ PUBLIKACJI STANOWIĄCYCH PRACĘ DOKTORSKĄ:

Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, Mamcarz HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population. *Front Physiol.* 2021;12:695950. Published 2021 Jul 30. doi:10.3389/fphys.2021.695950

Impact Factor – 4.755; punkty MNiSW – 100

Lach, J., Śliż, D., Wiecha, S., Price, S., Brzozowski, A., & Mamcarz, A. (2022). How to calculate a maximum heart rate correctly?. *Folia Cardiologica*, 17(5), 289-292. doi:10.5603/FC.2022.0057

Impact Factor – 0; punkty MNiSW – 40

Łącznie: Impact Factor – 4,755; punkty MNiSW – 140

SPIS TREŚCI

Słowa kluczowe	2
Dedykacje	3
Wykaz publikacji stanowiących pracę doktorską.....	4
Wykaz stosowanych skrótów.....	6
Streszczenie w języku polskim.....	7
Summary in english.....	8
Wstęp.....	9
Uzasadnienie połączenia prac w cykl publikacji.....	11
Publikacja nr 1: „ <i>HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population</i> ”	11
Publikacja nr 2: „ <i>How to calculate the maximum heart rate correctly</i> ”.....	12
Cel pracy i spodziewane wyniki.....	14
Nowatorski aspekt projektu.....	15
Materiał i metody.....	16
Kopie opublikowanych prac.....	17
Publikacja nr 1: „ <i>HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population</i> ”	17
Publikacja nr 2: „ <i>How to calculate the maximum heart rate correctly</i> ”	26
Podsumowanie i wnioski.....	30
Opinia Komisji Bioetycznej.....	32
Oświadczenia wszystkich współautorów publikacji określające indywidualny wkład (merytoryczny i procentowy) każdego z nich w ich powstanie.....	33

WYKAZ STOSOWANYCH SKRÓTÓW

HR- częstość serca

HRmax- maksymalna częstość serca

VO₂max- maksymalne pochłanianie tlenu

AT- próg beztlenowy

RCP- punkt kompensacji oddechowej

BF- zawartość tkanki tłuszczowej

FFM- masa beztłuszczowa

BMI- wskaźnik masy ciała

CPET- badanie spiroergometryczne

RER- współczynnik wymiany oddechowej

VE- expired ventilation

VCO₂- carbon dioxide production

CE- cycle ergometry

TE- treadmill

LA- lactate concentration

BC- body composition

VE/VO₂- ventilatory equivalent for oxygen

VE/VCO₂- ventilatory equivalent for carbon dioxide

PetCO₂- partial pressure of end-tidal CO₂

STRESZCZENIE

Maksymalna częstość serca (HRmax) jest parametrem wykorzystywanym zarówno podczas badań wysiłkowych w celu diagnostyki chorób układu krążenia, jak również w celach oceny intensywności wysiłku w sporcie. Jej wartość jest silnie skorelowana z wiekiem, co wiąże się m.in. ze zmianami zachodzącymi w obrębie węzła zatokowego.

W niniejszej pracy doktorskiej, poza wiekiem poddano ocenie wpływ innych czynników takich jak skład ciała, BMI, wydolność fizyczna, rodzaj wykonywanego testu, płeć na HRmax w grupie 3374 zdrowych osób aktywnych fizycznie, u których przeprowadzono badanie spiroergometryczne. Dotychczas stosowane formuły estymowania HRmax, w tym: formuła 220-wiek, metoda Tanaki, Inbar, Nes, Londeree and Moeschberger w badanej populacji były niewystarczająco dokładne. Opracowano nowe wzory, zarówno jednoczynnikowe (brano pod uwagę tylko wiek), jak i wieloczynnikowe uwzględniające wyżej wymienione czynniki celem estymacji HRmax w grupie osób aktywnych fizycznie. Zaproponowane wzory cechowały się najmniejszym błędem w badanej grupie. Wykazano, iż rola innych niż wiek czynników przyczynia się do niewielkiej poprawy dokładności w wyznaczaniu HRmax.

W grupie osób trenujących triathlon porównano wyniki osiągnięte w trakcie badania spiroergometrycznego (CPET) na bieżni i na ergometrze rowerowym. Wykazano, że w obu przypadkach uzyskane parametry fizjologiczne odbiegają od siebie, co wskazuje na konieczność przeprowadzania obu badań niezależnie. U mężczyzn powyżej 40 roku życia BMI, zawartość tkanki tłuszczowej oraz beztłuszczowa masa ciała tętnem istotnie koreluje z pochłanianiem tlenu na szczycie wysiłku oraz na progu beztlenowym jak i w punkcie kompensacji oddechowej.

SUMMARY

„Analysis of factors affecting physical fitness indices and maximum heart rate (HRmax) in a physically active population.“

Maximum heart rate (HRmax) is a parameter used both during exercise testing for the diagnosis of cardiovascular disease and for the assessment of exercise intensity in sports. Its value is strongly correlated with age, which is inter alia associated with changes in the sinus node.

In this doctoral dissertation, in addition to age, the effects of other factors such as body composition, BMI, physical capacity, type of test performed, and gender on HRmax were evaluated in a group of 3374 healthy physically active individuals who underwent spiroergometric testing. Previously used formulas for estimating HRmax, including the 220-age formula, the method of Tanaka, Inbar, Nes, Londeree and Moeschberger in the study population were inaccurate. New formulas were developed, both univariate (only age was considered) and multivariate taking into account the above-mentioned factors to estimate HRmax in a group of physically active people. The proposed formulas had the lowest error in the study group. The role of factors other than age has been shown to contribute to a small improvement in the accuracy of HRmax determination.

In a group of triathlon trainees, the results achieved during the spiroergometric test (CPET) on a treadmill and on a cycle ergometer were compared. It was shown that in both cases the physiological parameters obtained differ from each other, indicating the need to perform both tests independently. In men over 40 years of age, BMI, body fat and lean body mass significantly correlate with heart rate, oxygen uptake at peak exercise, at the anaerobic threshold as well as at the point of respiratory compensation.

WSTĘP

Częstość serca (HR) jest powszechnie używanym parametrem czynności układu krążenia. Jej maksymalna wartość, określana jako HRmax, jest niezbędna do oceny stopnia intensywności wysiłku zarówno w badaniach czynnościowych układu krążenia, takich jak elektrokardiograficzna próba wysiłkowa, spiroergometria, jak również podczas treningu osób aktywnych fizycznie, w tym sportowców oraz osób zachęcanych do podejmowania aktywności. Wyznaczanie częstości serca nie nastęrcza trudności ani nie wymaga użycia zaawansowanego sprzętu. Narastanie częstości serca w trakcie zwiększanej obciążenia następuje w sposób liniowy do osiągnięcia HRmax. Nie każda osoba badana osiąga maksymalną częstość serca podczas wykonywanej próby wysiłkowej. Wynika to z wielu czynników, takich jak niewystarczająca siła mięśniowa, motywacja, ograniczenia ruchowe oraz przyjmowanie leków. W celu określenia stopnia intensywności wysiłku wylicza się oczekiwaną HRmax (w trakcie testu wysiłkowego HRmax bywa określana jako tętno docelowe). Uzyskane wartości częstości serca w trakcie trwającej próby wysiłkowej odnosi się do rzeczywiście uzyskanej lub estymowanej maksymalnej częstości serca. Istnieje wiele formuł służących do szacowania HRmax. Najprostszą i najczęściej stosowaną z nich jest formuła Fox and Haskell ($220 - \text{wiek}$), która została opublikowana w piśmiennictwie medycznym w 1971 roku. Nie jest to metoda dokładna. Obecnie coraz częściej sięga się po inne sposoby wyznaczania częstości maksymalnej. Jest nią m.in. formuła Tanaka ($208 - 0,7 \times \text{wiek}$), ale również inne, jak opracowana przez Londeree and Moeschberger ($206,3 - 0,711 \times \text{wiek}$), Inbar ($205,8 - 0,685 \times \text{wiek}$), Nes ($211 - 0,64 \times \text{wiek}$). Większość metod wykorzystuje do wyznaczenia HRmax jedynie wiek badanego.

Istotnym parametrem służącym ocenie wydolności fizycznej jest pobór tlenu (VO_2max). Pozwala on określić zdolność organizmu do pochłaniania tlenu, a tym samym ocenić sprawność układu krążenia, oddechowego i mięśni.

W mojej pracy, poza wiekiem, ocenie poddany został wpływ również innych czynników (masa, skład ciała, BMI, płeć, rodzaj wysiłku) na częstość maksymalną serca. Ponadto porównano wartości maksymalnego tętna i pochłaniania tlenu (VO_2max) osiągniętych w trakcie badania wysiłkowego wykonanego na bieżni i na cykloergometrze rowerowym, jak również poddano ocenie różnice parametrów takich jak częstość serca (HR) czy pochłanianie tlenu na progu beztlenowym (AT) i w punkcie kompensacji oddechowej (RCP) oraz wpływ masy i składu ciała na osiągnięte wyniki.

W celu oceny wydolności niezbędne jest wykonanie badania spiroergometrycznego (CPET). Pozwala ono na ocenę odpowiedzi układu krążenia, oddechowego i mięśni na zwiększającą się intensywność wysiłku fizycznego. Metoda ta znajduje zastosowanie zarówno w diagnostyce chorób układu krążenia, oddechowego (często w ramach diagnostyki zaburzeń tolerancji wysiłku), projektowania rehabilitacji kardiologicznej, jak i podczas badania sportowców wyczynowych oraz osób amatorsko uprawiających sport. Jednym z podstawowych wskazań do przeprowadzenia takiego badania jest diagnostyka różnicowa duszności, ocena wydolności oddechowej i układu krążenia również u pacjentów kwalifikowanych do przeszczepu serca. Ponadto służy do oceny wydolności fizycznej osób rozpoczynających aktywność fizyczną oraz do monitorowania postępów treningu. Najczęściej wykonuje się badania na bieżni lub ergometrze rowerowym, chociaż obecnie istnieje możliwość wykonania badania na innych urządzeniach. Dotyczy to w szczególności sportowców wyczynowych, u których dąży się do przeprowadzenia badania możliwie najbardziej zbliżonego do trenowanej dyscypliny. W trakcie badania analizowane są stężenia tlenu i dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu. Zmiany jego składu następują w trakcie wysiłku, szczególnie po przekroczeniu progu beztlenowego (AT) i punktu kompensacji oddechowej (RCP). Jednocześnie monitorowane są parametry układu krążenia (tętno, ciśnienie tętnicze, rezerwa częstości serca, puls tlenowy) i oddechowego (wentylacja minutowa, wentylacja na szczycie wysiłku, częstość oddechu) oraz wskaźniki metabolicznej wymiany gazowej (pochłanianie tlenu, eliminacja dwutlenku węgla; ich wzajemna zależność - tzw. RER, próg beztlenowy i punkt kompensacji oddechowej). Spiroergometria jest badaniem względnie bezpiecznym. Ryzyko wystąpienia zgonu podczas badania jest niskie i wynosi od 2 do 5 na 100 000 testów przeprowadzanych w ogólnej populacji.

Mimo wielu praktycznych zastosowań badania CPET, jest ono wykorzystywane rzadko w praktyce klinicznej. Zwiększenie jego dostępności mogłoby się przyczynić do uzyskiwania pełniejszego obrazu w diagnostyce chorób układu krążenia, oddechowego. Nie bez znaczenia jest również przeprowadzanie takiego badania u osób aktywnych fizycznie, w tym sportowców zarówno przed podjęciem aktywności fizycznej, jak i podczas badań okresowych w trakcie trwania cyklu treningowego.

UZASADNIENIE POŁĄCZENIA PRAC W CYKL PUBLIKACJI.

Niniejszą rozprawę doktorską tworzy cykl dwóch, spójnych tematycznie publikacji. W jego skład wchodzi: jedna praca pogładowa i jedna praca oryginalna. W pogładowej pracy „How to calculate the maximum heart rate correctly.”, której doktorant jest pierwszym autorem, przeprowadzono analizę aktualnego stanu wiedzy dotyczącej anatomicznych i fizjologicznych czynników determinujących maksymalną częstość serca (HRmax), przedstawiono praktyczne aspekty jej wyznaczania, dokonano oceny wpływu różnych czynników na jej wartość. Dokonano przeglądu najczęściej stosowanych metod pozwalających na wyznaczanie HRmax zarówno w praktyce klinicznej jak i w celach oceny stopnia wysiłku w trakcie aktywności fizycznych. Aspekt wpływu parametrów determinujących HRmax szerzej przedstawiono w oryginalnej publikacji „HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population” (doktorant jest pierwszym autorem). Na podstawie przeprowadzonych badań stworzono nowy algorytm służący do wyznaczania przewidywanego HRmax w grupie osób aktywnych fizycznie z uwzględnieniem wieku, ale również innych czynników.

Wszystkie artykuły będące przedmiotem dysertacji zostały opublikowane w czasopiśmie, znajdujących się na Liście MNiSW. Publikacja oryginalna zamieszczona została w międzynarodowym czasopiśmie wpisanym na Listę Filadelfijską.

Publikacja nr 1: „*HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.* “

W niniejszej pracy opublikowanej w czasopiśmie *Frontiers in Physiology* opisano wyniki własnych badań przeprowadzonych na dużej grupie (n=3374) osób aktywnych fizycznie, zarówno kobiet jak i mężczyzn, gdzie oznaczano częstość serca (HRmax) oraz pochłanianie tlenu (VO2max) przy maksymalnym wysiłku podczas badania spiroergometrycznego. Następnie porównano dokładność najczęściej stosowanych formuł służących do estymowania maksymalnych wartości tętna wysiłkowego (m.in. 220 – wiek, formuła Tanaki, formuła Inbar et al., Nes et al., Londeree and Moeshberger), zarówno w trakcie badań wysiłkowych jak i podczas dokonywania oceny parametrów treningu. Stwierdzono znaczne różnice (sięgające niekiedy 10-12 uderzeń/minutę) pomiędzy wartościami estymowanymi, a rzeczywiście osiągniętymi. Zwrócono uwagę, iż najczęściej stosowana metoda 220 – wiek jest niedokładna w szczególności w grupie osób starszych i młodszych.

W przedstawionym badaniu dokonano również analizy wpływu różnych czynników na wysokość HRmax. Uwzględniono takie parametry jak BMI, skład ciała, wydolność fizyczna, wiek, płeć, rodzaj badania wysiłkowego. Modele wieloczynnikowe w nieznacznym tylko sposób zmniejszały stopień błędów w estymowaniu tętna maksymalnego (HRmax). Głównym czynnikiem odgrywającym istotną rolę w wysokości wartości HRmax pozostaje wiek. Wyznaczono formułę szacowania HRmax u osób aktywnych fizycznie:

$$202.5 - 0.53 \times \text{wiek}$$

oraz w przypadku wykorzystania modelu wieloczynnikowego:

$$229 - 0.64 \times \text{age} - 0.23 \times \text{body mass} + 0.02 \times \text{BMI} - 0.38 \times \text{VO}_2\text{max} + 0.33 \times \text{body fat} + 0.02 \times \text{fitness level} + 8.74 \times \text{sex} + 0.97 \times \text{testing modality}$$

VO₂max w ml x kg⁻¹ x min⁻¹, wiek w latach, masa ciała w kg, płeć: 1 męska, 0 żeńska; rodzaj testu: 1 bieżnia, 0 cykloergometr.

Powyższe wzory charakteryzowały się najmniejszym błędem spośród najczęściej stosowanych i porównanych w niniejszym opracowaniu metod estymowania HRmax, jak formuła Tanaki, Londeree and Moeschberger, Inbar, Nes. Po dokonaniu analizy porównującej powyżej wymienione metody wykazano, iż zaproponowane przez doktoranta wzory są najdokładniejsze wśród osób młodych, aktywnych fizycznie.

Publikacja nr 2: „*How to calculate the maximum heart rate correctly.*”

Praca pogładowa, opublikowana w czasopiśmie recenzowanym „Folia cardiologica”, dotycząca tętna maksymalnego (HRmax) oraz znaczenia tego parametru (pomiar HRmax ma miejsce zarówno w kardiologii, jak i w sporcie podczas badań wysiłkowych). Przedstawiono w niej sposoby przeprowadzania badań wysiłkowych, wpływ farmakoterapii czy rodzaju wysiłku na osiągnięte rezultaty. W niniejszej pracy opisano anatomiczne (budowa węzła zatokowego) i fizjologiczne aspekty determinujące wartość HRmax (zmiany zachodzące w obrębie węzła zatokowego- tzw. remodeling związany z wiekiem, ale również z niewydolnością serca, arytmiami przedsionkowymi, asynchroniczną stymulacją komorową

czy ubytkiem przegrody międzyprzedsionkowej). Opisano również sposoby wyznaczania HRmax. Szerzej opisano stosowane powszechnie formuły estymacji HRmax.

CEL PRACY ORAZ SPODZIEWANE WYNIKI.

- Głównym celem pracy była analiza zależności pomiędzy składem ciała a wynikami badania spiroergometrycznego z uwzględnieniem takich parametrów jak HRmax, VO2max, próg tlenowy, punkt kompensacji oddechowej.
- Porównanie najczęściej stosowanych formuł (220 – wiek, formuła Tanaki, Londeree and Moeschberger, Inbar, Nes służących wyznaczeniu HRmax w oparciu o przeprowadzone przez doktoranta badania na licznej grupie osób aktywnych fizycznie.
- Ocena zależności masy ciała i HRmax.
- Ocena zależności płci i HRmax.
- Ocena zależności składu ciała i HRmax.
- Ocena zależności BMI i HRmax
- Ocena zależności wytrenowania (VO2max) i HRmax.
- Opracowanie własnej formuły służącej do wyznaczenia HRmax z zastosowaniem prostej (wiek) oraz wielokrotnej regresji liniowej.

Uzyskane wyniki umożliwiają wyznaczenie HRmax u pacjentów aktywnych bardziej precyzyjnie niż to ma miejsce aktualnie z zastosowaniem dostępnych metod. Biorąc pod uwagę szerokie zainteresowanie uprawianiem dyscyplin wytrzymałościowych wśród osób aktywnych fizycznie (bieganie, kolarstwo, triathlon), ich udział w masowych imprezach sportowych (biegi długodystansowe, maratony kolarskie, zawody triathlonowe), uwzględniono potrzebę dokładniejszej oceny parametrów fizjologii wysiłku. Opracowano projekt badań własnych, których efektem było opublikowanie wyżej wymienionych publikacji.

NOWATORSKI ASPEKT BADAŃ.

Do chwili obecnej istnieje niewiele publikacji, które obejmowałyby tak dużą grupę badanych osób (3774), pozwalających na uzyskanie oceny wpływu składu ciała na parametry charakteryzujące wydolność fizyczną. Należy podkreślić, iż badana przez doktoranta populacja to osoby aktywne fizycznie (zarówno amatorsko, jak i profesjonalnie), będące w różnym wieku, różnej płci. Analiza wyników badania pozwala na ocenę wpływu wymienionych powyżej czynników na HRmax, co w obecnych czasach coraz większego zainteresowania wielu osób aktywnością sportową, niejednokrotnie z towarzyszącym współzawodnictwem, pozwala lepiej oceniać intensywność wysiłku oraz w bardziej precyzyjny sposób planować trening.

MATERIAŁ I METODY.

Do badania zakwalifikowano 3774 aktywnych fizycznie osób, które zgłosiły się do Kliniki Sportslab w Warszawie celem przeprowadzenia badania wydolności fizycznej. Pacjenci byli poinformowani o sposobie przygotowania się do badania (unikanie wysiłku przez minimum 48 godzin przed badaniem, odpowiednie nawodnienie, przyjęcie węglowodanowego posiłku 2-3 godziny przed planowanym badaniem). Po uzyskaniu świadomej zgody oraz wykluczeniu przeciwwskazań (istotne choroby układu krążenia, oddechowego oraz układu ruchu uniemożliwiające przeprowadzenie badania) dokonano analizy masy i składu ciała za pomocą analizatora Tanita MC 718 (Japan). Następnie wykonano badanie spiroergometryczne. Do tego celu zastosowano ergometr rowerowy Cyclus-2 (RBM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Germany) lub bieżnię h/p/Cosmos (Germany). Dobór rodzaju wysiłku uzależniony był od preferencji badanego. W trakcie badania wskaźniki jak HR, VO₂ były monitorowane i analizowane przy użyciu spiroergometru Cosmed Quark (Rome, Italy). U części z badanych (n=143), trenujących zarówno kolarstwo, jak i dyscypliny biegowe (triathloniści) wykonano test spiroergometryczny zarówno na ergometrze rowerowym, jak i na bieżni celem oceny korelacji pomiędzy rezultatami uzyskanymi w trakcie obu badań.



HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population

Jacek Lach¹, Szczepan Wiecha², Daniel Śliż^{1,3*}, Szymon Price¹, Mateusz Zaborski⁴, Igor Cieśliński², Marek Postuła⁵, Beat Knechtle^{6,7} and Artur Mamcarz¹

¹ III Klinika Chorób Wewnętrznych i Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny (WUM), Warsaw, Poland, ² Department of Physical Education and Health in Biala Podlaska, Jozef Pilsudski University of Physical Education in Warsaw Faculty in Biala Podlaska, Biala Podlaska, Poland, ³ Public Health School Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego (CMKP), Warsaw, Poland, ⁴ Wydział Matematyki i Nauk Informacyjnych, Politechnika Warszawska, Warsaw, Poland, ⁵ Department of Experimental and Clinical Pharmacology, Center for Preclinical Research and Technology (CEPT), Medical University of Warsaw, Warsaw, Poland, ⁶ Institute of Primary Care, University of Zurich, Zurich, Switzerland, ⁷ Medbase St. Gallen Am Vadianplatz, St. Gallen, Switzerland

OPEN ACCESS

Edited by:

Anthony S. Leicht,
James Cook University, Australia

Reviewed by:

Daniel Boulosa,
Federal University of Mato Grosso do
Sul, Brazil
Trine Karlsen,
Nord University, Norway

*Correspondence:

Daniel Śliż
daniel.sliz@wum.edu.pl;
sliz.daniel@gmail.com

Specialty section:

This article was submitted to
Exercise Physiology,
a section of the journal
Frontiers in Physiology

Received: 15 April 2021

Accepted: 14 June 2021

Published: 30 July 2021

Citation:

Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S,
Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M,
Knechtle B and Mamcarz A (2021) HR
Max Prediction Based on Age, Body
Composition, Fitness Level, Testing
Modality and Sex in Physically Active
Population.
Front. Physiol. 12:695950.
doi: 10.3389/fphys.2021.695950

Maximal heart rate (HRmax) is associated mostly with age, but age alone explains the variance in HRmax to a limited degree and may not be adequate to predict HRmax in certain groups. The present study was carried out on 3374 healthy Caucasian, Polish men and women, clients of a sports clinic, mostly sportspeople, with a mean age of 36.57 years, body mass 74.54 kg, maximum oxygen uptake (VO_2max , $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) 50.07. Cardiopulmonary exercise tests (CPET) were carried out on treadmills or cycle ergometers to evaluate HRmax and VO_2max . Linear, multiple linear, stepwise, Ridge and LASSO regression modeling were applied to establish the relationship between HRmax, age, fitness level, VO_2max , body mass, age, testing modality and body mass index (BMI). Mean HRmax predictions calculated with 5 previously published formulae were evaluated in subgroups created according to all variables. HRmax was univariately explained by a $202.5-0.53\cdot\text{age}$ formula ($R^2 = 19.18$). The weak relationship may be explained by the similar age with small standard deviation (SD). Multiple linear regression, stepwise and LASSO yielded an R^2 of 0.224, while Ridge yielded R^2 0.20. Previously published formulae were less precise in the more outlying groups of the studied population, overestimating HRmax in older age groups and underestimating in younger. The $202.5-0.53\cdot\text{age}$ formula developed in the present study was the best in the studied population, yielding lowest mean errors in most groups, suggesting it could be used in more active individuals. Tanaka's formula offers the second best overall prediction, while the 220-age formula yields remarkably high mean errors of up to 9 bpm. In conclusion, adding the studied variables in multiple regression models improves the accuracy of prediction only slightly over age alone and is unlikely to be useful in clinical practice.

Keywords: hrmax, 220-age, cardiopulmonary testing, formulae, body composition, aerobic performance, treadmill ambulation, cycle ergometer

INTRODUCTION

Heart rate (HR) is a commonly measured parameter, often used in clinical practice, sports and scientific research; it is easy to reliably measure with very little equipment (Robergs and Landwehr, 2002). HR increases in a linear way with increasing physical exertion, until a maximum (HRmax) is reached by the individual at maximal workload (Kostis et al., 1982). HRmax is useful to prescribe exertion levels in sports training, or to carry out electrocardiogram (ECG) or ECHO exercise stress tests (Robergs and Landwehr, 2002). HRmax is measured in a graded exercise test, often along with other parameters like maximum oxygen uptake (VO_2max) or respiratory exchange ratio (RER), usually with a treadmill or cycle ergometry, until maximum exertion is achieved (Pescatello et al., 2006; Beltz et al., 2016). Several test protocols exist which are commonly used, depending on the clinic's experience, or the type of patient (e.g., sportspeople or patients with cardiovascular disease). These tests may use a stepwise increase in speed/Watts, or a ramped increase and they may also vary in length. All of these differences make accurate comparison of the results of different studies on maximum exertion parameters difficult (Beltz et al., 2016). Since determining an individual's actual HRmax (with the use of a maximal exercise test) is difficult and not always possible or advisable, it is usually estimated with the use of several formulae (Robergs and Landwehr, 2002).

The most simple and widely used is the 220-age formula, the origin of which is unclear, but first appeared in scientific writing in a review by Fox and Haskell (1970). The downside to its simplicity is the high standard error of estimate (SEE) of $\sim 7\text{--}12$ beats per minute (bpm) (Robergs and Landwehr, 2002). Tanaka et al. (2001) described a new formula ($208 - 0.7 \cdot \text{age}$) in 2002, calculated from a meta-analysis of 351 studies involving 18,712 subjects, which was then validated on a group of over 500 subjects. This new formula had a SEE of ~ 10 bpm. The Tanaka equation is currently quite often applied, alone or with the Fox equation (Nikolaidis et al., 2018). There are also less frequently used equations, including Inbar's formula (Inbar et al., 1994), or the Londeree and Moeschberger formula (Londeree and Moeschberger, 1982). One of the more recent formulae is that published by Nes et al. (2013).

The HRmax is difficult to predict exactly (Robergs and Landwehr, 2002). This is partly due to the fact that the rate of decline of HRmax is non-linear, as demonstrated by Zhu et al. (2010) the rate of decline is significantly different in various age groups, lower in the younger population, and higher in the older population, actually being curvilinear. Londeree and Moeschberger (1982) conducted a meta-analysis and established with the use of multivariate analysis that age accounts for 70–75% of the HRmax variance, the other factors being sex, level of fitness, type of ergometer used, continent of residence and race. The study did not, however, take body composition or BMI into account and the fitness level was not a continuous variable based on experimental protocols, but simply a categorization as sedentary, active, or athlete. The accuracy of commonly used HRmax prediction equations varies strongly in different groups, often yielding errors higher than 10 bpm, which then impact on

the adequacy of training and clinical stress tests (Robergs and Landwehr, 2002; Nes et al., 2013).

Few studies evaluate the accuracy of currently available formulae for HR max calculation in physically active individuals. Also, many factors other than age have very rarely been considered, for example training modality or body composition. The aim of this study was to compare the accuracy of currently used equations and assess how the addition of other variables, such as BMI, body composition or maximum oxygen uptake (VO_2max) impacts the precision of the calculations. We also set out to design an optimal formula using multiple linear regression. We also attempted to verify the accuracy of commonly used formulae in a physically active population. We had the following hypotheses:

Body composition could perhaps impact HRmax due to differences in fat/muscle proportions, as recent studies demonstrated for VO_2max and respiratory compensation point (Maciejczyk et al., 2014a,b).

- Higher aerobic capacity may impact HRmax, perhaps due to adaptations in the heart muscle to training (Whyte et al., 2008).
- The accuracy of certain tests could be worse in more active, younger individuals according to a recent study (Shookster et al., 2020).

MATERIALS AND METHODS

Participants

Participants included clients of the Sportslab clinic¹ in years 2013–2019 who had commercial cardiopulmonary exercise tests (CPET) performed. They were recruited via internet and social media advertisements, or via recommendation from trainers or other clients. The tests were carried out on personal request of the participants as part of training optimization and diagnostics. Most participants were runners, cyclists or triathletes of various levels. A detailed breakdown of sports disciplines trained and the level of performance are not available. Inclusion criteria for the database were age over 18 years, training for at least 3 months and meeting the maximum exertion criteria described below. Exclusion criteria were any chronic or acute medical conditions (including musculoskeletal system disorders like new fractures and sprains, as well as addiction to nicotine, alcohol or other substances) or ongoing intake of any medication. Over 4,000 tests were performed, out of which $N = 3374$ met the inclusion criteria for the study. During the entire period, the same methods and procedures were used. Participants received information via e-mail on how to prepare for the test. Participants received information via e-mail on how to prepare for the test. Participants were advised to prepare for the test by avoiding any exercises 48 h prior to the test, as well as eating a light carbohydrate meal 2–3 h before the test and keeping good hydration by drinking isotonic beverages. They were also instructed to avoid medicines, caffeine and cigarettes before the test.

¹www.sportslab.pl

Populational data was calculated as means for men, women and the entire population. There was a total of $n = 2,816$ treadmill tests ($n = 510$ female) and $n = 958$ cycle ergometer tests ($n = 110$ female). Basic anthropometric data as well as VO_2max are presented in **Table 1**.

Incremental Exercise Test

Body mass and fat mass were determined with a body composition analyzer (Tanita, MC 718, Japan) before every test using the method of multifrequency 5 kHz/50 kHz/250 kHz electrical bioimpedance. The body composition tests were conducted directly prior to exercise testing. All measurements (body composition and CPET) took place under similar conditions in the medical clinic Sportslab (Warsaw, Poland). The conditions were: 40 m² of indoor, air-conditioned space, altitude 100 m, MSL temperature 20–22 degrees Centigrade, 40–60% humidity. The cardiopulmonary exercise tests (CPET) were a part of commercial endurance testing offered in the clinic. Apart from medical contraindications, there were no other exclusion criteria to perform tests.

Exercise tests were performed on a cycle ergometer Cyclus-2 (RBM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Germany) or on a mechanical treadmill (h/p/Cosmos quasar, Germany), depending on the dominant physical activity of each individual (running or cycling). During all tests cardio-pulmonary indices like HR and oxygen uptake (VO_2) were recorded using a Cosmed Quark CPET device (Rome, Italy), calibrated before each test according to the manufacturer's instructions. HR was measured using the ANT + chest strap which is part of the Cosmed Quark CPET device (declared accuracy to ECG, ± 1 bpm.).

For each person, the initial power (Watt) or speed (km/h) were determined based on an interview carried out before the test. The initial power for cycle ergometer tests was the lowest power at which the participant subjectively felt resistance. For treadmill tests the start speed was a slow running pace, also based on subjective experience, between 5 and 12 km/h based on interview. The test began after 5 min warm up (walking or pedaling with no resistance). The speed was increased by 1 km/h or the power was increased by 20–30 W every 2 min. For treadmill tests, 1% incline was applied.

In order to assess the maximum level of aerobic fitness, participants were instructed to keep the effort as long as possible. They could terminate the test at any moment if they felt they had reached their limit of exertion. Participants were under cardiopulmonary monitoring during the test. The test was terminated by the operator if either VO_2 or HR showed no further increase with increasing speed/power.

The results of the body composition analysis and CPET were saved as an Excel (Microsoft corporation, Washington, United States) spreadsheet. The raw data were anonymized and processed with the use of a custom program created in Python in order to identify data like VO_2max , HRmax, or anaerobic threshold. CPET data were recorded breath by breath and then averaged across 10-s intervals to limit file sizes. The highest HR in the interval was recorded and HR values were not averaged.

For statistical evaluation we included only cases where 3 of 4 following criteria were met: respiratory exchange ratio (RER) during test reaching > 1.10 , VO_2 plateau (an increase in VO_2 with increasing speed/power lower than 100 ml/min), respiratory frequency over 45/min, perceived exertion over 18 in Borg scale (Kaminsky et al., 2015).

Data Analysis

Statistical analysis was carried out with the use of R language in Rstudio (Rstudio, PBC, United States). All obtained data were cleaned using Rstudio. Entries with erroneously high or low results were removed based on the following adopted range constraints: age (years)—18–100; body mass (kg)—40–200; VO_2max (ml/min)—1,000–8,000; BMI—10–50; body fat percentage—4–60%; HRmax—30–250; VO_2max (ml·kg⁻¹·min⁻¹)—10–100; finally, results were also manually verified.

Apart from the measured variables, an additional variable was created, which was labeled as fitness level and was calculated as follows. The population was divided into four age groups according to age percentiles (0–10, 10–50, 50–90, 90–100), separately for males and females, yielding eight groups. The distribution of VO_2max in each group was analyzed and the difference of the VO_2max result from the average for the given age group was defined as fitness level (**Figures 1, 2**). The results were smoothed using the generalized additive model method. The higher the fitness level, the higher the VO_2max in relation to the age group's average.

Several regression models (multiple linear regression, stepwise regression, LASSO regression and Ridge regression) were applied to establish the relation between HRmax and six variables which were considered: age, VO_2max , body mass, body mass index (BMI), body fat and fitness level. Two data subsets were randomly created: a training subset of 70% for building the regression model and a test subset of 30% in order to avoid overfit and provide test data and unseen data for the model. Normality of residuals was tested, and the residuals were normally distributed.

Previously published formulae by Fox and Haskell (1970), Tanaka et al., Nes et al., Londeree et al., and Inbar et al. were evaluated by calculating the mean error of the equations on the training data subset. The training subset was then further divided

TABLE 1 | Basic anthropometric data, VO_2max , and protocol start-end speed/power.

	Male	SD	Female	SD	All	SD
BMI	23.98	2.55	21.51	2.23	23.57	2.56
Body fat (%)	15.96	4.54	21.54	5.28	16.87	4.54
Body mass (kg)	77.46	9.76	60.02	7.52	74.54	10.29
Age (years)	37.03	8.43	34.29	7.60	36.57	8.43
VO_2max (ml/min/kg)	50.93	7.01	45.83	6.27	50.07	7.01
HRmax	183.03	10.29	183.77	9.51	183.16	10.29
Starting speed (km/h)	8.8	1.20	7.8	1.12	8.7	1.3
End speed (km/h)	16.4	1.95	14.5	1.85	16.1	2.1
Start power (Watt)	110	21.58	93	16.58	108	21.7
End power (Watt)	329	46.30	247	42.84	321	52.1

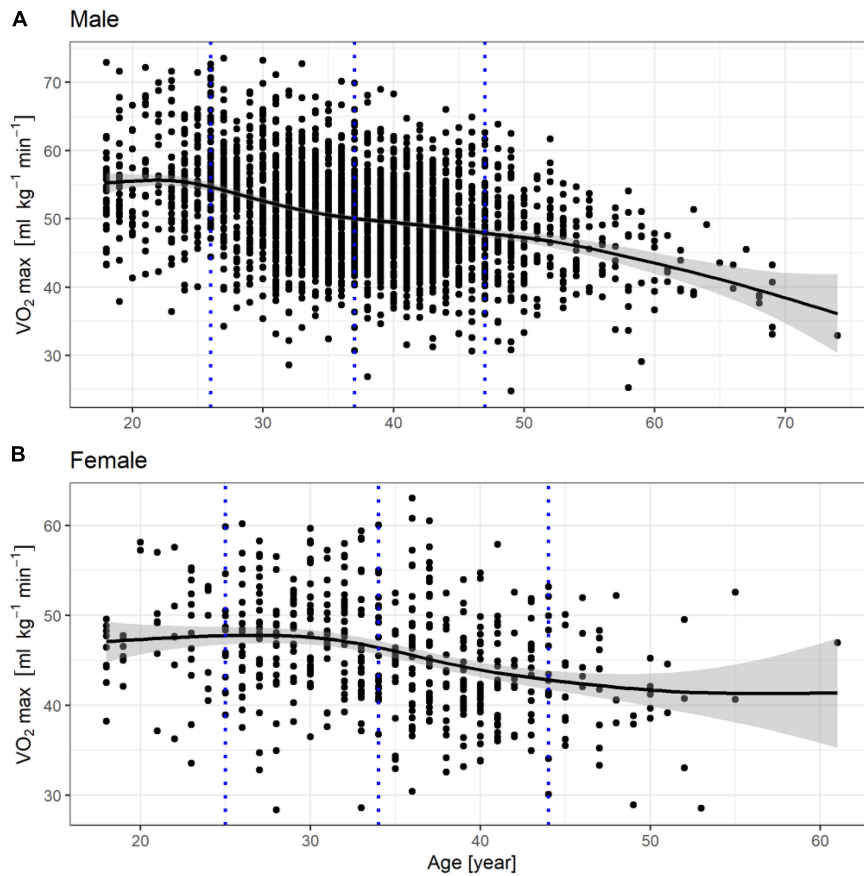


FIGURE 1 | Fitness level distribution in males (A) and females (B), the gray dotted lines represent the 10th, 50th, and 90th quantile in the population.

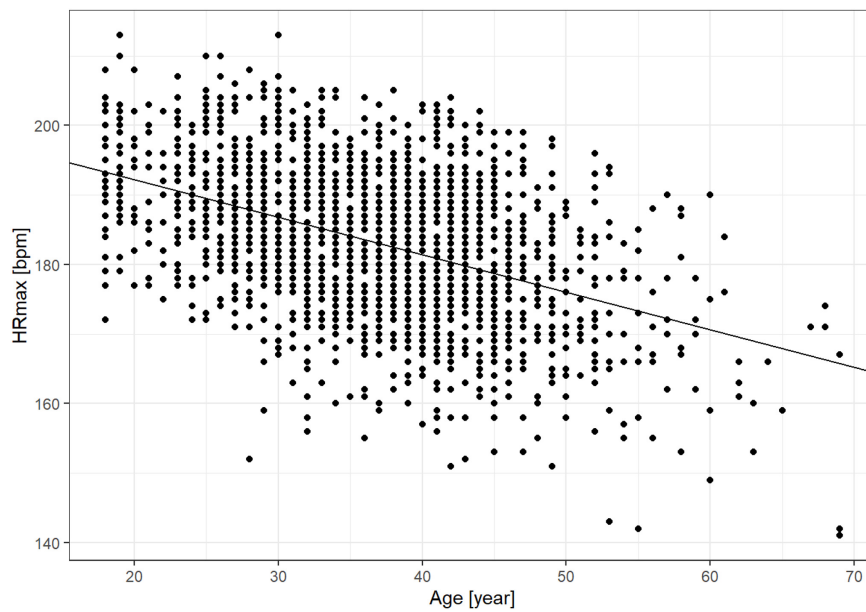


FIGURE 2 | Univariate linear regression of maximum heart rate (HRmax) and age ($202.5 - 0.53 \cdot \text{age}$; $R^2 = 0.198$).

according to age (every 10 years), sex, fitness level (3 equally sized groups selected with the use of a histogram), test used (cycle ergometer or treadmill), BMI (<20, 20–25, >25) and body fat percentage separately for males and females according to normal ranges (American Council on Exercise [ACE], n.d.).

RESULTS

The fitness levels in males and females are presented in the form of graphs in **Figure 1**. The gray dotted lines represent the 10th, 50th, and 90th quantile in the population.

Starting speeds and power are shown in **Table 1**.

HRmax was linearly and inversely related to age and explained by the regression formula $202.5 - 0.53 \cdot \text{age}$ (**Figure 2**). This formula's R^2 was 19.18, thus explaining 19.18% of the observed variability. Results of the multiple regression models are presented in **Table 2**. In the multivariate formulae, body mass was significantly ($p < 0.01$) inversely linked with HRmax but contributed only 0.01 to the R^2 . Body fat percentage and fitness level were positively and significantly ($p < 0.05$) related to HRmax, contributing 0.00003 and 0.02 to the overall R^2 , accordingly. Sex and testing device were also significantly related to HRmax contributed to the R^2 (0.01, $p < 0.01$ and 0.002, $p = 0.01$, accordingly). BMI and VO_2max were not related to HRmax. The multivariate formula was:

$$229 - 0.64 \cdot \text{age} - 0.23 \cdot \text{body mass} + 0.02 \cdot \text{BMI} - 0.38 \cdot \text{VO}_2\text{max} + 0.33 \cdot \text{body fat} + 0.02 \cdot \text{fitness level} + 8.74 \cdot \text{sex} + 0.97 \cdot \text{testing modality}.$$

Where VO_2max is expressed in $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, age in years, body mass in kg, sex is a binary variable: 1 for male, 0 for female and testing modality is binary: 1 for treadmill, 0 for cycle ergometer. The R^2 for the formula was 0.224, MAE = 7.04, ME = 0.22.

Stepwise regression yielded a formula with 7 variables, excluding only BMI. The formula was:

$$229 - 0.64 \cdot \text{age} - 0.23 \cdot \text{body mass} - 0.38 \cdot \text{VO}_2\text{max} + 0.33 \cdot \text{body fat} + 0.44 \cdot \text{fitness level} + 8.74 \cdot \text{sex} + 0.97 \cdot \text{testing modality}.$$

The R^2 for the formula was also 0.2224, ME = 0.22 and MAE = 7.04, while using 1 variable fewer, therefore this model was selected as the most adequate and further discussed. Results of the regression are presented in **Table 2**. A graph illustrating the accuracy of prediction using this formula is presented in **Figure 3**.

The LASSO regression formula was:

$$225 - 0.62 \cdot \text{age} - 0.23 \cdot \text{body mass} + 0.02 \cdot \text{BMI} - 0.32 \cdot \text{VO}_2\text{max} + 0.33 \cdot \text{body fat} + 0.37 \cdot \text{fitness level} + 8.32 \cdot \text{sex} + 0.97 \cdot \text{testing modality}.$$

$R^2 = 0.22$ and $\lambda = 0.002$, MAE = 7.04, ME = 0.22.

The Ridge regression formula was:

$$202 - 0.46 \cdot \text{age} - 0.05 \cdot \text{body mass} + 0.03 \cdot \text{VO}_2\text{max}.$$

$R^2 = 0.20$ and $\lambda = 0.45$, MAE = 7.11, ME = 0.21.

The results of the comparison of different formulae in several subgroups are presented in **Table 3**. Fitness levels 1, 2, and 3 correspond to three equally sized groups divided according to a histogram, where level 1 is the lowest tertile.

DISCUSSION

The results of this paper demonstrate that adding additional variables other than age to HRmax prediction formulae brings only a very small (although statistically significant) improvement in R^2 .

The studied population represents healthy males and females, including sportspeople of various levels, due to the activity profile of the Sportslab clinic. Despite no activity level questionnaire having been recorded, the relatively high fitness level can be observed by comparing VO_2max in the present study with Kaminsky et al.'s (2015) reference ranges. Few other studies analyzed VO_2max as a factor potentially influencing HR max (Nes et al., 2013). Nes et al. analyzed VO_2max as two separate variables, one continuous and the other expressed as VO_2max tertiles in the studied population and neither was found to significantly impact the HRmax estimation formula's accuracy. In the present study a variable labeled fitness level was created based on VO_2max adjusted for average VO_2max in the participant's age group. VO_2max is known to decrease with age and therefore is not sufficient to express an individual's fitness level relative to people of different age (Betik and Hepple, 2008). For example an older athlete who is very fit relative to his peers would have a VO_2max which may be no higher than the average in a younger population. The new variable expresses the fitness level of the individual independent of age and in a continuous way. To the best of our knowledge, such a variable has not been used in previous studies and therefore direct comparison is impossible at present, but we believe it is more useful for the assessment of fitness than VO_2max alone or self-assessed fitness.

The R^2 of the $202.5 - 0.53 \cdot \text{age}$ formula was 19.18, thus explaining 19.18% of the observed variability. This is considerably lower than values recorded in the studies of Tanaka et al. (80%) or Londeree et al. (70–75%) (Londeree and Moeschberger, 1982;

TABLE 2 | Multiple regression results.

Variables	Regression model				
	Stepwise		Linear	Lasso	Ridge
	Std β	t	Std β	Std β	Std β
Age	-0.64	-11.77	-0.64	-0.62	-0.46
Body mass	-0.23	-8.46	-0.23	-0.23	-0.05
Body fat	0.33	5.70	0.33	0.33	
VO_2max ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	-0.38	-1.96	-0.38	-0.32	0.03
Fitness level	0.44	2.28	0.02	0.37	
Sex	8.74	6.13	8.74	8.32	
Test modality	0.97	2.16	0.97	0.97	
BMI			0.02	0.02	
Regression parameters					
Intercept	229		229	225	202
R^2	0.22		0.22	0.22	0.20
MAE	7.04		7.04	7.04	7.11
Lambda				0.0002	0.45

BMI, body mass index, VO_2max , maximum oxygen uptake; Std β , standardized β coefficient; MAE, mean absolute error.

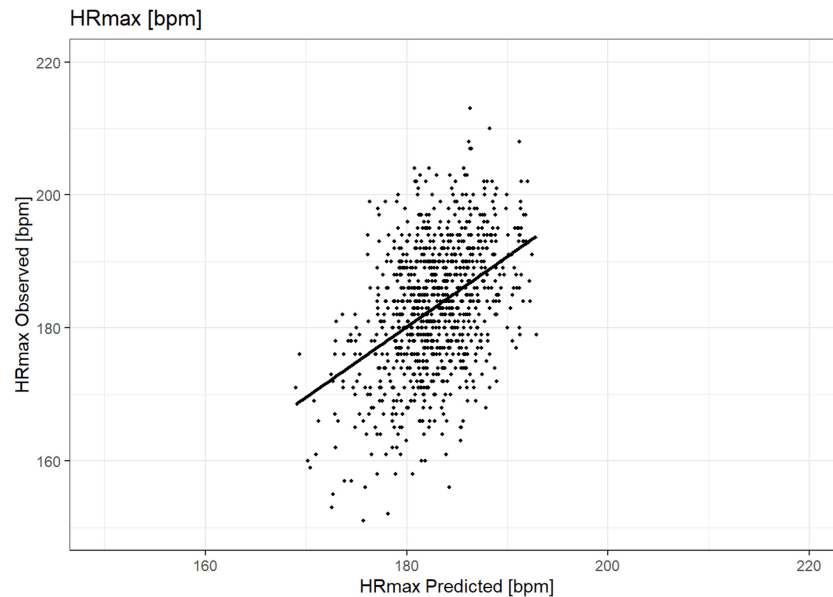


FIGURE 3 | Graph of observed (y-axis) vs. predicted (x-axis) HRmax (bpm) in the stepwise regression model.

Tanaka et al., 2001). The main factor influencing this difference is most likely the narrower age distribution in our group, the SD being only 8.43. Neither Londeree nor Tanaka published the average age and its standard deviation in their papers, but the age range was 5–81 in Londeree’s paper and 18–81 in that of Tanaka et al. and 18–74 in this paper. The average age was 36 (± 8) years, therefore only approximately 5% of the population were over 52, representing a rather young group with small age variance. In this case, age naturally explains much less of the variation, as it is more similar across the studied population. Nes et al. studied a group ($N = 3320$) with a mean age of 46 (± 13) years, a standard deviation still much higher than in the present study and explained 36% of the variability with their regression formula, supporting this line of thought. The more similar the age is in the group, the lower the proportion of the variance that can be explained by age. Therefore, studies with a normal age distribution across a wide age range demonstrate a high correlation of age and maximum heart rate, but do not address the issue of differences in maximum heart rate in individuals of the same age. These differences must be explained by other factors, which remain largely unknown, as demonstrated by the low R^2 in studies on populations with a narrow age range. Another factor influencing the lower R^2 might be that the more fit one is, the slower the HRmax decline with age, which further limits the amount of variance explained by age alone. It is difficult to otherwise explain the above-mentioned high values demonstrated by Tanaka et al. and Londeree et al. due to the little data they offer on the statistical methods and results, and little population data. This lack of sufficient detail was also noted by Robergs and Landwehr in their hallmark review (Robergs and Landwehr, 2002).

The multivariate models revealed only a small rise in R^2 after adding body weight, BMI, body fat percentage, fitness level,

sex and testing modality into the equations. Most of the added variables apart from BMI affected the model significantly, but to a small extent, together explaining approximately only additional 3% of the observed variance. This does not seem to justify practical usage of a much more complex multivariate formula. These observations are similar to those of previous researchers who attempted to provide a multivariate model (Londeree and Moeschberger, 1982; Nes et al., 2013), but the impact of body composition and fitness level on HRmax had not previously been properly studied. It has been observed in several studies that HRmax decreases with aerobic training and increases with detraining in endurance athletes (Zavorsky, 2000). However, these studies had a mean of only 10 participants (ranging from 5 to 24) and results were not consistent. The present study shows that fitness level is responsible for only a small part of the variance in HRmax. Few other papers exist which would explain the variance in HRmax with any other variables than age. Graettinger et al. found that relative wall thickness in echocardiography explained 9% of the variance in hypertensive individuals, but not in healthy ones (Graettinger et al., 1995). Londeree and Moeschberger (1982) concluded that race is not an important factor, but their paper lacks demographic data and the number of people of different races is unknown.

We found that the apart from the presently developed formula, the second most accurate formula in terms of lower ME across the subgroups was Tanaka’s. These observations support the results of previous smaller studies on highly active individuals such as amateur marathon runners or physically active young males, which also revealed that HRmax predicted with Tanaka’s formula was similar to observed HRmax (Barboza et al., 2016; Nikolaidis et al., 2018). Previously authors observed that the 220-age formula tends to overestimate the HRmax in the younger population and underestimate it in the older population

TABLE 3 | Comparison of Mean Error (ME, bpm) for selected HRmax prediction formulae in subgroups.

	Previous studies					Present study	
	Tanaka 208-0.7* age	Haskell 220-age	Londeree 206.3-0.711*age	Inbar 205.8-0.685 *age	Nes 211-0.64 *age	Simple regression 202.5-0.53*age	Stepwise regression formula
All	0.89	-0.01	3.00	2.53	-4.32	0.25	0.22
BMI < 20	-1.66	-3.91	0.39	0.05	-6.61	-1.55	-1.84
BMI 20-25	1.13	-0.08	3.23	2.79	-4.03	0.66	0.36
BMI > 25	0.77	0.82	2.91	2.36	-4.65	-0.40	0.23
Fitness level 1	0.52	-0.23	2.63	2.16	-4.73	-0.21	0.36
Fitness level 2	1.22	0.30	3.33	2.87	-4.00	0.60	0.50
Fitness level 3	0.95	-0.10	3.05	2.61	-4.24	0.39	-0.21
Male	1.14	0.34	3.25	7.78	-4.11	0.44	0.30
Female	-0.39	-1.90	1.69	1.28	-5.49	-0.69	-0.24
Treadmill	1.30	0.32	3.40	2.95	-3.91	0.70	0.36
Cycle ergometer	-0.35	-1.03	1.77	1.29	-5.61	-1.11	-0.22
Age							
<20	-2.44	-8.90	-0.53	-0.51	-6.54	0.01	0.30
20-29	-1.70	-5.94	0.29	0.12	-6.25	-0.48	-0.39
30-39	0.45	-1.09	2.54	2.13	-4.64	0.17	0.09
40-49	3.15	4.15	5.33	4.70	-2.45	1.46	1.33
50-59	0.55	4.61	2.84	1.95	-5.66	-2.84	-2.66
60	-0.07	7.00	2.33	1.18	-6.88	-5.12	-4.65
Female body fat							
<14%	-3.10	-5.08	-1.04	-1.41	-8.11	-3.15	-0.64
14-20%	-0.26	-2.03	1.81	1.43	-5.31	-0.42	0.20
21-24%	0.62	-0.81	2.70	2.29	-4.50	0.27	0.17
≥25%	-0.91	-2.06	1.18	0.74	-6.09	-1.42	-1.38
Male body fat							
<6%	-0.79	-2.17	1.30	0.88	-5.92	-1.17	-1.92
6-14%	0.07	-1.37	2.16	1.74	-5.04	-0.27	-0.34
15-18%	2.03	1.09	4.13	3.67	-3.19	1.41	1.07
19-25%	1.85	1.87	3.99	3.44	-3.56	0.69	0.60
≥25%	-3.60	-3.04	-1.44	-2.03	-9.12	-5.06	-3.55

(Londeree and Moeschberger, 1982; Nes et al., 2013). This is also visible in the present study, where the 220-age formula underestimates HRmax by a mean of 7 bpm in the oldest group, and underestimates by a mean of 9 bpm in the youngest group, while being relatively accurate only in the age group 30-39 years. This is a serious consideration especially when prescribing exercise stress tests in older individuals based on their HRmax, as such large errors may lead to invalid results or excessive cardiac stress (Lauer et al., 2005). Also when prescribing exercise intensity to young sportspeople, training with a significantly underestimated HRmax may be inefficient (Jain et al., 2011). We observed that many well established organizations still recommend the use of the 220-age formula, despite a significant body of work advising its discontinuation and replacement with Tanaka's formula (Tanaka et al., 2001; Robergs and Landwehr, 2002; Nes et al., 2013; Roy and McCrory, 2015; Nikolaidis et al., 2018). When searching the phrase "maximum heart rate training" in the Google search engine (as of 16.11.2020), the first two results are from mayoclinic.com and heart.org (the American Heart Association's website) and both suggest the use of 220-age (Mayo Clinic Staff [MCS], 2019; Target Heart Rates Chart

[THRC], n.d.). We observed that Tanaka's formula (and all the other formulae except that of Nes et al.) also overestimated the maximum heart rate in the 40-49 age group by several bpm, perhaps due to the population in this paper being relatively fit, and thus demonstrating a lower maximum heart rate (Zavorsky, 2000). The 202.5-0.53*age formula displayed a lower mean error than Tanaka's and other formulae in most subgroups, especially in the 30-49 age range, but its accuracy was lower in older subgroups, probably due to the low number of subjects aged 50 or above. The formula developed by Nes et al. underestimated the results by a ME of 4.32 in the entire group (Nes et al., 2013). This discrepancy is difficult to explain. The population studied by Nes et al. does not seem to be physically more active than the one in the present study. Criteria for a maximal heart rate test were also well defined in their study, therefore the possibility of their subjects not reaching HRmax in unlikely.

Robergs et al. described Inbar's formula to be the most precise. However, this conclusion was based entirely on the error described by the authors from their study on 1,424 healthy subjects (Inbar et al., 1994). In our study group, Inbar's formula tended to overestimate HRmax in most subgroups and was

overall less precise than Tanaka's formula (Inbar et al., 1994; Tanaka et al., 2001).

Tanaka's formula also appears to slightly overestimate HRmax in males, while slightly underestimating in females, but the differences are approximately 1 bpm, therefore using targeted male or female equations is likely to be unnecessary (Tanaka et al., 2001). Tanaka, Haskell and Nes underestimate the HRmax in individuals with low BMI (<20). It has previously been shown that the Tanaka formula is accurate in overweight individuals (BMI > 25), but little data exists on HRmax in individuals with lower BMI (Franckowiak et al., 2011).

Study Limitations

The study was carried out in a single center. Activity level questionnaires were not available, but the activity profile of the group was analyzed based on VO₂max comparison with reference ranges relative to age. Two different modes of testing were used. The initial loads were selected subjectively. Bioimpedance was used for body composition measurements, which may be influenced by the hydration status. Due to the demographics in Poland, the study does not present racial differences. The group included mostly endurance athletes with little representation of other sports. However, a more homogenous group allows for drawing more valid conclusions for this group.

CONCLUSION

The present study demonstrates that factors other than age, including body composition, gender, fitness level, VO₂max, BMI, or testing modality, add little to the accuracy of HRmax estimation. We demonstrated that multiple regression is only slightly superior to linear regression, which does probably not justify the use of multiple regression in practice.

Clinical Implications

The 202.5–0.53*age formula developed in the present study was the best in the studied population, yielding lowest mean errors in most groups, suggesting it could be used in more active individuals.

A simple formula predicting HRmax based on age only may be used when the exact HRmax is not needed or is difficult to obtain.

REFERENCES

- American Council on Exercise [ACE]. (n.d.). *Percent Body Fat Norms for Men and Women*. Retrieved December 1, 2020, from <https://www.acefitness.org/education-and-resources/lifestyle/tools-calculators/percent-body-fat-calculator/>
- Barboza, J., Nogueira, F. S., Paulucio, D., and Pompeu, F. (2016). The validity of maximum heart rate predictions based on age for young men. *Gazz. Med. Ital.* 175, 154–157.
- Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., and Dalleck, L. C. (2016). Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO(2)max: historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *J. Sports Med.* 2016:3968393. doi: 10.1155/2016/3968393

Tanaka's formula proved to be fairly accurate in the studied population, although slightly underperforming the calculated formulae. All the formulae have a MAE of approximately 7–8 bpm and when possible, HRmax should be tested for precise results.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

ETHICS STATEMENT

The studies involving human participants were reviewed and approved by the Komisja Bioetyczna przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym. The patients/participants provided their written informed consent to participate in this study.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

JL and SW: conceptualization and resources. JL, SW, DŚ, and AM: investigation. MZ, SP, SW, and IC: statistical analysis. SP: writing—original draft preparation. JL, SW, DŚ, BK, and MZ: writing—review and editing. MP, BK, and AM: supervision. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

FUNDING

The study was funded by the affiliated university (Medical University of Warsaw).

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank Katarzyna Wiecha and Paweł Witecki for their help in creating the database for this study. We also thank I. Cieśliński for his assistance in reviewing the paper.

- Betik, A. C., and Hepple, R. T. (2008). Determinants of VO₂ max decline with aging: an integrated perspective. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33, 130–140. doi: 10.1139/H07-174
- Fox, S. M., and Haskell, W. L. (1970). "The exercise stress test: needs for standardization," In *Cardiology: Current topics and progress*, eds M. Eliakim and H. N. Neufeld (New York, NY: Academic Press), 6, 149–154.
- Franckowiak, S. C., Dobrosielski, D. A., Reilley, S. M., Walston, J. D., and Andersen, R. E. (2011). Maximal heart rate prediction in adults that are overweight or obese. *J. Strength Cond. Res.* 25, 1407–1412. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d682d2
- Graettinger, W. F., Smith, D. H., Neutel, J. M., Myers, J., Froelicher, V. F., and Weber, M. A. (1995). Relationship of left ventricular structure to maximal heart rate during exercise. *Chest* 107, 341–345. doi: 10.1378/chest.107.2.341

- Inbar, O., Oren, A., Scheinowitz, M., Rotstein, A., Dlin, R., and Casaburi, R. (1994). Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20- to 70-yr-old men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26, 538–546.
- Jain, M., Nkonde, C., Lin, B. A., Walker, A., and Wackers, F. J. T. (2011). 85% of maximal age-predicted heart rate is not a valid endpoint for exercise treadmill testing. *J. Nucl. Cardiol.* 18, 1026–1035. doi: 10.1007/s12350-011-9454-0
- Kaminsky, L. A., Arena, R., and Myers, J. (2015). Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clin. Proc.* 90, 1515–1523. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.07.026
- Kostis, J. B., Moreyra, A. E., Amendo, M. T., Di Pietro, J., Cosgrove, N., and Kuo, P. T. (1982). The effect of age on heart rate in subjects free of heart disease. Studies by ambulatory electrocardiography and maximal exercise stress test. *Circulation* 65, 141–145. doi: 10.1161/01.cir.65.1.141
- Lauer, M., Froelicher, E. S., Williams, M., and Kligfield, P. (2005). Exercise testing in asymptomatic adults: a statement for professionals from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention. *Circulation* 112, 771–776. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.166543
- Londeree, B. R., and Moeschberger, M. L. (1982). Effect of Age and Other Factors on Maximal Heart Rate. *Res. Q. Exerc. Sport* 53, 297–304. doi: 10.1080/02701367.1982.10605252
- Maciejczyk, M., Wiecek, M., Szymura, J., Cempla, J., Wiecha, S., Szygula, Z., et al. (2014a). Effect of body composition on respiratory compensation point during an incremental test. *J. Strength Cond. Res.* 28, 2071–2077. doi: 10.1519/JSC.0000000000000347
- Maciejczyk, M., Wiecek, M., Szymura, J., Szygula, Z., Wiecha, S., and Cempla, J. (2014b). The influence of increased body fat or lean body mass on aerobic performance. *PLoS One* 9:e95797. doi: 10.1371/journal.pone.0095797
- Mayo Clinic Staff [MCS]. (2019). *Exercise Intensity: How to Measure it*. Retrieved November 16, 2020, from Mayo Clinic website: Available online at: [https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/in-depth/exercise-intensity/art-20046887#:~:text=You can calculate your maximum, beat per minute during exercise \(accessed April 11, 2021\).](https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/in-depth/exercise-intensity/art-20046887#:~:text=You can calculate your maximum, beat per minute during exercise (accessed April 11, 2021).)
- Nes, B. M., Janszky, I., Wisløff, U., Støylen, A., and Karlsen, T. (2013). Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: the HUNT fitness study. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 23, 697–704. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x
- Nikolaidis, P. T., Rosemann, T., and Knechtle, B. (2018). Age-Predicted Maximal Heart Rate in Recreational Marathon Runners: a Cross-Sectional Study on Fox's and Tanaka's Equations. *Front. Physiol.* 9:226. doi: 10.3389/fphys.2018.00226
- Pescatello, L., Arena, R., Riebe, D., and Thompson, P. D. (2006). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 60–113.
- Robergs, R., and Landwehr, R. (2002). The surprising history of the “HRmax=220-age” equation. *J. Exerc. Physiol.* 5, 1–10.
- Roy, S., and McCrory, J. (2015). Validation of Maximal Heart Rate Prediction Equations Based on Sex and Physical Activity Status. *Int. J. Exerc. Sci.* 8, 318–330.
- Shookster, D., Lindsey, B., Cortes, N., and Martin, J. R. (2020). Accuracy of Commonly Used Age-Predicted Maximal Heart Rate Equations. *Int. J. Exerc. Sci.* 13, 1242–1250.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., and Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *J. Am. Coll. Cardiol.* 37, 153–156. doi: 10.1016/s0735-1097(00)01054-8
- Target Heart Rates Chart [THRC]. (n.d.). *Target Heart Rates Chart*. Retrieved November 16, 2020, from Heart.org website: <https://www.heart.org/en/healthy-living/fitness/fitness-basics/target-heart-rates>
- Whyte, G. P., George, K., Shave, R., Middleton, N., and Nevill, A. M. (2008). Training induced changes in maximum heart rate. *Int. J. Sports Med.* 29, 129–133. doi: 10.1055/s-2007-965783
- Zavorsky, G. S. (2000). Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med.* 29, 13–26. doi: 10.2165/00007256-200029010-00002
- Zhu, N., Suarez-Lopez, J. R., Sidney, S., Sternfeld, B., Schreiner, P. J., Carnethon, M. R., et al. (2010). Longitudinal examination of age-predicted symptom-limited exercise maximum HR. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42, 1519–1527. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181cf8242


Conflict of Interest: SW was the owner of the Sportslab clinic.

The remaining authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Copyright © 2021 Lach, Wiecha, Śliż, Price, Zaborski, Cieśliński, Postuła, Knechtle and Mamcarz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

How to calculate a maximum heart rate correctly?

Jacek Lach¹ , Daniel Śliż^{1,2}, Szczepan Wiecha³, Szymon Price¹,
Arkadiusz Brzozowski¹, Artur Mamcarz¹

¹III Clinic of Internal Diseases and Cardiology, Medical University of Warsaw, Warszawa, Poland

²Public Health School, Centre of Postgraduate Medical Education, Warszawa, Poland

³Department of Physical Education and Health in Biała Podlaska, Jozef Pilsudski University of Physical Education in Warsaw, Biała Podlaska, Poland

Abstract

Maximum heart rate (HR_{max}) is usually defined as the highest heart rate achieved during maximum physical exertion and depends mainly on age, but also to a lesser extent on other parameters such as: body mass index, body composition, physical capacity, age, gender and the type of exercise test. Measurement of HR_{max} takes place both in cardiology and in sports during exercise testing. In many situations, it is difficult to determine the maximum heart rate during the test and it becomes necessary to estimate HR_{max} based on the knowledge of the above-mentioned factor. This paper also presents the methods of carrying out exercise tests and the influence of pharmacotherapy on the results obtained.

Key words: maximum heart rate, sinus node, physical exertion, electrocardiogram, oxygen intake

Folia Cardiologica 2022; 17, 5: 289–292

Introduction

Maximum heart rate (HR_{max}) is usually defined as the highest heart rate reached during maximal exertion. HR_{max} is mainly age-dependent [1]. However, individual differences and arrhythmias cannot be ignored. The maximum heart rate is limited by the length of the refractory period of the atrioventricular node and can reach values of approximately 300/min. The earliest documented and reported ventricular rhythm of 480/min in the medical literature was associated with supraventricular tachyarrhythmia, most likely atrial fibrillation conducted by accessory pathways to the ventricles [2].

Under physiological conditions, heart rate is determined by the function of the sinus node, whose discovery by Martin Fleck and Arthur Keith took place in 1906. Since then, a great deal of research has been conducted regarding its structure and physiological processes. Nevertheless, to this day, all the processes involved in this small structure are still unknown [3].

Anatomy and physiology of the sinus node

More recently, the complexity of the structure of the sinus node located near the superior vena cava junction to the right atrium has been described as well as its connections to atrial (muscle) tissue [4]. The sinus node is made up of cells with stimulatory properties, but also of atrial myocytes, adipocytes and fibroblasts [5]. The sinus node is functionally isolated from other atrial cells, except for well-defined connections. Multicentric activation of the sinus node was found as well as transmission of a potential to the atria both directly in the area of the superior vena cava junction and at a distance of up to 41 mm from this area, indicating the complexity of the sinus node structure, which is confirmed by the occurrence of spontaneous P-wave variability in electrocardiographic recordings [4].

The sinus node is innervated both by cholinergic fibres causing cell membrane hyperpolarisation, resulting in a chronotropic negative effect, and by adrenergic postganglionic fibres causing an acceleration of resting

Address for correspondence: Jacek Lach MD, III Klinika Chorób Wewnętrznych i Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny, ul. Bursztynowa 2, 04–749 Warszawa, Poland, e-mail: jlach@op.pl

This article is available in open access under Creative Commons Attribution-Non-Commercial-No Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) license, allowing to download articles and share them with others as long as they credit the authors and the publisher, but without permission to change them in any way or use them commercially.

depolarisation, which has a positive effect on chronotropism [3].

There is evidence of age-related remodelling of the sinus node, but also in the course of other clinical situations, such as heart failure, atrial arrhythmias, asynchronous ventricular pacing or atrial septal defect [6].

Kistler et al. [7] reported differences in terms of the time of sinus node regeneration in persons over 60 years of age compared with those under 30 years of age. As shown in other histological studies, this was not related to fibrosis (collagen fibre content was studied) but to changes in conductance capacity associated with a decrease in the expression of connexin-43 and the number of L-type calcium channels [8]. These changes lead to a progressive decrease in cardiac chronotropic adaptation and, in their exacerbated form, can be the cause of sinus node disease. Also in heart failure and in supraventricular arrhythmias, such as in the course of atrial fibrillation, there is electrical remodelling causing a reduction in the I(f) current and down-regulation of the I(f) current that leads to a gradual decrease in the ability of the sinus node to generate higher heart rates [6]. Moreover, an age-related progressive reduction in the response of sinus node cells to beta-adrenergic stimulation contributes to the decrease in heart rate and ultimately to the decrease in maximum heart rate [4].

Importance of HR_{max}

Exercise tests, and thus the assessment of maximum heart rate, are performed in asymptomatic healthy individuals to detect hidden diseases, minimise the risks associated with exercise, and assess physical performance. HR_{max} value is also needed for setting training loads (determining training zones based on it), monitoring training intensity and its effects [9]. Many training plans are developed based on maximum heart rate. HR_{max} assessment during an exercise test is also performed in patients with cardiovascular and respiratory diseases and as part of the diagnosis of dyspnoea, chest pain, cardiac arrhythmias or syncope. The reason for determining the maximum heart rate is, among other things, to assess the patient's functional performance, the efficiency of the coronary circulation and thus to diagnose ischaemic heart disease. This study also aims to both assess the blood pressure response to exercise and search for activity-induced cardiac arrhythmias [10].

Methods for determining HR_{max}

Currently, the most accurate way to determine HR_{max} is to perform an exercise test that is usually performed on a treadmill or cycle ergometer. However, determination of HR_{max} requires reaching maximal exertion, which in many cases is difficult and sometimes impossible. This is

determined, among other things, by the patient's motivation, musculoskeletal limitations, choice of test method and test protocol [11].

In many exercise testing laboratories, tests are performed based on estimated HR_{max} values.

When load is increased, the increase in heart rate is linear. In the final phase, as in oxygen uptake (VO_2), there is a gradual slowing down of its rate of increase until it reaches a *plateau* in the final phase of the test when maximal exertion is reached [12]. Its maximum value shows significant inter-individual differences of up to 10–15 beats/min. The main factor that affects HR_{max} , as mentioned before, is age [11]. This fact and simplicity of applying the 220 – age of subject in years formula make this the most routinely used formula for calculating HR_{max} . However, it is not only age but also the type of exercise that contribute to achieved heart rate values at peak exercise [13]. Maximal values are reached during physical activities that involve greater muscle mass, such as running or rowing. Slightly lower heart rate values at peak exercise (HR_{peak}) are achieved during cycling. Therefore, different HR_{max} values are reached during tests performed on a cycle ergometer than during treadmill tests [13]. Like in determination of maximal oxygen uptake (VO_{2max}) and VO_{2peak} , HR_{peak} refers to the maximum heart rate reached during physical activities that do not involve a large amount of muscle mass. Therefore, muscle fatigue and discomfort occur sooner during these activities compared to cardiovascular loading. In cyclists, these differences can blur. Even lower HR_{peak} values are achieved during swimming, which is due to a horizontal position and thus increased venous return and increased ventricular filling during the diastolic phase. This results in an increased stroke volume, which makes a greater than the increase in heart rate per cardiac output. In addition, during immersion in water, there is a reflex reaction of the vagus nerve that causes a reduction in heart rate.

Criteria for discontinuation of an exercise test

The exercise test usually lasts until the patient reaches maximal exertion according to the Borg scale [14]. Given the large inter-individual differences, reaching the estimated HR_{max} during the test should not be a reason to terminate the test. The trial is discontinued before maximal exertion is reached if there is a presence of significant (subjective) symptoms, such as dizziness, impaired coordination, severe angina or dyspnoea, pale skin, cyanosis, vegetative symptoms (drenching cold sweats), or a presence of objective reasons, such as dangerous arrhythmias, acute left bundle branch block or a progressive drop in blood pressure [13].

Methods for estimating HR_{max} . Effect of various factors on HR_{max}

In clinical practice, maximum heart rate is the most commonly used parameter for determining maximal exertion, as a result of the wide availability of devices to measure it (pulse oximeters, electrocardiogram). Occasionally, tests such as spiroergometry or lactate testing (blood lactate measurements and analysis during exercise) are performed to assess metabolic parameters more accurately. However, these are less accessible and/or invasive methods. The value of maximum heart rate has significant inter-individual variability. The most commonly used method for determining (estimating) HR_{max} , especially in tests performed on an exercise treadmill, is the $220 - \text{age}$ formula (in tests performed on a cycle ergometer, the $200 - \text{age}$ formula is sometimes used). The use of the above-mentioned formulas is not supported by scientific research and is based on many years of observation. The $220 - \text{age}$ formula first appeared in the medical literature in 1971. The Tanaka's formula ($208 - 0.7 \times \text{age}$) [15], Londeree formula ($206.3 - 0.711 \times \text{age}$) [16], Inbar formula ($205.8 - 0.685 \times \text{age}$) [17] and Nes formula ($211 - 0.64 \times \text{age}$) [18] are also frequently used. Based on a recent analysis of spiroergometric tests performed on a large population of physically active individuals [11], the accuracy of the most commonly used formulas for estimating maximum values for exercise heart rate was compared. There were substantial deviations of up to 10–12 beats/minute between estimated values and those actually achieved. All these formulas had similar mean absolute error (MAE). The lowest error was observed in the Tanaka's formula (MAE is approximately 7 beats/minute). The $220 - \text{age}$ method, which is most commonly used formula, is relatively accurate in 30–40 age group but imprecise in both older and younger individuals. Therefore, the widespread use of this formula is not advisable (inaccuracy of results, mismatched load during training planning). Other formulas have similar MAEs of approximately 10 heartbeats/minute.

This study also analysed the effect of various factors on HR_{max} [11]. Parameters such as body mass index (BMI), body composition, physical performance, age, sex, and type of an exercise test were taken into consideration. Multivariate models slightly reduced the degree of error in the estimation of maximum heart rate (HR_{max}). However, given the specificity of the study group and the potential use of this formula in physically active individuals, including elite athletes, these slight differences between the age-only model and the multivariate model may have important implications for training planning and performance in sport disciplines trained. A formula for estimating HR_{max} in physically active individuals was determined [11]:

$$202.5 - 0.53 \times \text{age}$$

and in the multivariate model [11]:

$$229 - 0.64 \times \text{age} - 0.23 \times \text{body mass} + 0.02 \times \text{BMI} - 0.38 \times \text{VO}_{2max} + 0.33 \times \text{body fat} + 0.02 \times \text{fitness level} + 8.74 \times \text{sex} + 0.97 \times \text{testing modality}$$

VO_{2max} in $\text{mL} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$, age in years, body weight in kg, sex: 1 male, 0 female; test type: 1 treadmill, 0 cycle ergometer

The formulas in question had the smallest error among the aforementioned methods for estimating HR_{max} (MAE 7.04) [11]. However, the characteristics of the study group should be noted. The study group consisted of mostly young, physically active individuals. For such a group, the use of the developed formulas could contribute to improved training planning, better training monitoring and evaluation of effects. However, it should not be overlooked that a direct measurement of HR_{max} , as opposed to an estimation of HR_{max} , will not be burdened with an error and determination of this measurement should be ensured in a person tested.

Effect of medications on HR_{max}

When assessing the heart rate during an exercise test, it is necessary to take into account medications that a tested person is taking. Beta blockers and ivabradine reduce both resting heart rate and HR_{max} by approximately 10–15 beats/minute. Digitalis glycosides and negative chronotropic calcium channel antagonists primarily affect resting heart rate values. Ivabradine lowers both resting and exercise heart rates by approximately 10–15 beats/min without significantly altering heart rate reserve [19].

Conclusions

Maximum heart rate is used in both cardiology and sports medicine as a criterion for achieving maximal exertion. HR_{max} is usually determined during tests in exercise testing laboratories. Usually, the test is discontinued before maximal exertion is reached. In such situations, HR_{max} estimation methods enable an assessment of functional performance (HR achieved as a percentage of HR_{max} during a trial terminated prematurely) and the development of appropriate training. Previous formulas for determining HR_{max} were based mainly on age. The most commonly used $220 - \text{age}$ method is still one of the basic methods. Recently, however, this method has been increasingly replaced by the more accurate Tanaka's formula ($208 - 0.7 \times \text{age}$). The HR Max Prediction Based on Age, Body Composition,

Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population study analysed the effects of other factors on HR_{max} in physically active individuals. In such individuals, the application of the 202.5 – 0.53 × age formula has a slightly smaller (mean) absolute error. The multivariate method, which takes into account other parameters such as BMI, body composition, degree of training or type of test, enables slightly greater accuracy in estimating HR_{max}, which may be important in the case of elite athletes. However, the basis for determining HR_{max} remains direct measurement during maximal exertion, as this is the only way to obtain an error-free result. Therefore, in the absence of objective indications to discontinue the test, it should be continued until maximal exertion is achieved.

Conflict of interest

None declared.

Funding

None.

References

- Christou DD, Seals DR. Decreased maximal heart rate with aging is related to reduced beta-adrenergic responsiveness but is largely explained by a reduction in intrinsic heart rate. *J Appl Physiol* (1985). 2008; 105(1): 24–29, doi: [10.1152/jappphysiol.90401.2008](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90401.2008), indexed in Pubmed: [18483165](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18483165/).
- Chhabra L, Goel N, Prajapat L, et al. Mouse heart rate in a human: diagnostic mystery of an extreme tachyarrhythmia. *Indian Pacing Electrophysiol J*. 2012; 12(1): 32–35, doi: [10.1016/s0972-6292\(16\)30463-6](https://doi.org/10.1016/s0972-6292(16)30463-6), indexed in Pubmed: [22368381](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22368381/).
- Csepe TA, Zhao J, Hansen BJ, et al. Human sinoatrial node structure: 3D microanatomy of sinoatrial conduction pathways. *Prog Biophys Mol Biol*. 2016; 120(1–3): 164–178, doi: [10.1016/j.pbiomol-bio.2015.12.011](https://doi.org/10.1016/j.pbiomol-bio.2015.12.011), indexed in Pubmed: [26743207](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26743207/).
- Lau DH, Roberts-Thomson KC, Sanders P. Sinus node revisited. *Curr Opin Cardiol*. 2011; 26(1): 55–59, doi: [10.1097/HCO.0b013e32834138f4](https://doi.org/10.1097/HCO.0b013e32834138f4), indexed in Pubmed: [21102315](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21102315/).
- Unudurthi SD, Wolf RM, Hund TJ. Role of sinoatrial node architecture in maintaining a balanced source-sink relationship and synchronous cardiac pacemaking. *Front Physiol*. 2014; 5: 446, doi: [10.3389/fphys.2014.00446](https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00446), indexed in Pubmed: [25505419](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25505419/).
- Du J, Deng S, Pu Di, et al. Age-dependent down-regulation of hyperpolarization-activated cyclic nucleotide-gated channel 4 causes deterioration of canine sinoatrial node function. *Acta Biochim Biophys Sin (Shanghai)*. 2017; 49(5): 400–408, doi: [10.1093/abbs/gmx026](https://doi.org/10.1093/abbs/gmx026), indexed in Pubmed: [28369243](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28369243/).
- Kistler PM, Sanders P, Fynn SP, et al. Electrophysiologic and electro-anatomic changes in the human atrium associated with age. *J Am Coll Cardiol*. 2004; 44(1): 109–116, doi: [10.1016/j.jacc.2004.03.044](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.03.044), indexed in Pubmed: [15234418](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15234418/).
- Alings AM, Abbas RF, Bouman LN. Age-related changes in structure and relative collagen content of the human and feline sinoatrial node. A comparative study. *Eur Heart J*. 1995; 16(11): 1655–1667, doi: [10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a060792](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a060792), indexed in Pubmed: [8881862](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8881862/).
- Tjelta L, Enoksen E. Training characteristics of male junior cross country and track runners on European Top Level. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2010; 5(2): 193–203, doi: [10.1260/1747-9541.5.2.193](https://doi.org/10.1260/1747-9541.5.2.193).
- Carey MG, Al-Zaiti SS, Kozik TM, et al. Exercise-Induced arrhythmias. *Am J Crit Care*. 2021; 30(4): 331–332, doi: [10.4037/ajcc2021924](https://doi.org/10.4037/ajcc2021924), indexed in Pubmed: [34195774](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34195774/).
- Lach J, Wiecha S, Śliż D, et al. HR max prediction based on age, body composition, fitness level, testing modality and sex in physically active population. *Front Physiol*. 2021; 12: 695950, doi: [10.3389/fphys.2021.695950](https://doi.org/10.3389/fphys.2021.695950), indexed in Pubmed: [34393819](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34393819/).
- Ducharme J, Gibson A, McKenna Z, et al. Does heart rate response confirm the attainment of maximal oxygen uptake in adults 45 years and older? *Eur J Appl Physiol*. 2021; 121(2): 445–452, doi: [10.1007/s00421-020-04522-2](https://doi.org/10.1007/s00421-020-04522-2), indexed in Pubmed: [33098462](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33098462/).
- Kindermann W. Ergometrie-Empfehlungen fuer die ärztliche Praxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 1987; 38(6): 244–268.
- Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982; 14(5): 377–381, indexed in Pubmed: [7154893](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7154893/).
- Tanaka H, Monahan K, Seals D. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*. 2001; 37(1): 153–156, doi: [10.1016/s0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8), indexed in Pubmed: [11153730](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11153730/).
- Londeree BR, Moeschberger ML. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res Quart Exercise Sport*. 1982; 53(4): 297–304, doi: [10.1080/02701367.1982.10605252](https://doi.org/10.1080/02701367.1982.10605252).
- Inbar O, Oren A, Scheinowitz M, et al. Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20??? to 70-yr-old men. *Med Sci Sports Exerc*. 1994; 26(5): 538–546, doi: [10.1249/00005768-199405000-00003](https://doi.org/10.1249/00005768-199405000-00003), indexed in Pubmed: [8007799](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8007799/).
- Nes BM, Janszky I, Wisløff U, et al. Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT fitness study. *Scand J Med Sci Sports*. 2013; 23(6): 697–704, doi: [10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x), indexed in Pubmed: [22376273](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22376273/).
- Godlasky E, Hoffman T, Weber-Peters S, et al. Effects of β-blockers on maximal heart rate prediction equations in a cardiac population. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2018; 38(2): 111–117, doi: [10.1097/HCR.0000000000000328](https://doi.org/10.1097/HCR.0000000000000328), indexed in Pubmed: [29465497](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29465497/).

PODSUMOWANIE I WYNIKI.

Do tej chwili niewiele jest dostępnych publikacji przedstawiających wyniki badań przeprowadzonych na dużych populacjach osób aktywnych fizycznie. Niniejszy cykl publikacji pozwala na uzyskanie wartościowych informacji o wpływie różnych czynników na wydolność fizyczną, na ważne parametry fizjologiczne wysiłku.

Częstość serca oraz maksymalne pochłanianie tlenu są powszechnie używanymi parametrami czynności układu krążenia. Znajomość ich wartości maksymalnych (HRmax i VO2max) pozwala na ocenę intensywności wysiłku. Wyznaczanie HRmax bywa w niektórych sytuacjach trudne. Dlatego możliwość szacowania jej wartości znajduje zastosowanie zarówno podczas badań u pacjentów w celu diagnostyki układu krążenia, jak i u sportowców na różnych poziomach zaawansowania. Najważniejszym czynnikiem mającym wpływ na wartość maksymalnej częstości serca pozostaje wiek. Zastosowanie opracowanego przez doktoranta wzoru $202,5 - 0,53 \times \text{wiek}$ w szerokim zakresie u osób aktywnych fizycznie pozwala na dokładniejsze oszacowanie tętna maksymalnego (HRmax), niż ma to miejsce przy wykorzystaniu dotychczas stosowanych formuł. Inne parametry, jak płeć, masa i skład ciała, BMI, stopień wytrenowania, rodzaj wykonywanego testu pozwalają na lepsze oszacowanie HRmax. Nie są to różnice istotne dla ogółu populacji, ale dla osób aktywnych fizycznie, szczególnie z elity sportowej, opracowanie wzoru, nieco dokładniejszego od dotychczasowych formuł (w tym najczęściej stosowanej metody $220 - \text{wiek}$), może odgrywać istotną rolę przy planowaniu i ocenie skuteczności treningu. W takiej sytuacji korzystne jest zastosowanie wzoru opierającego się na modelu wieloczynnikowym.

Podstawowym sposobem wyznaczania HRmax pozostaje bezpośredni pomiar podczas maksymalnego wysiłku, ponieważ tylko taki sposób pozwala uzyskać wynik pozbawiony błędu. W przypadku braku obiektywnych wskazań do przerwania testu należy go kontynuować do uzyskania maksymalnego wysiłku.

Przedstawione w publikacjach będących przedmiotem niniejszej dysertacji wyniki badań zostały uzupełnione i zaprezentowane w kolejnej pracy „*Differences between Treadmill and Cycle Ergometer Cardiopulmonary Exercise Testing Results in Triathletes and Their Association with Body Composition and Body Mass Index*”, opublikowanej w *International Journal of Environmental Research and Public Health* (doktorant jest współautorem), w której rozszerzono ocenę wpływu następujących parametrów: współczynnik masy ciała (BMI),

zawartość tkanki tłuszczowej (BF) czy masa beztłuszczowa (FFM) na procesy fizjologiczne takie jak próg beztlenowy, punkt kompensacji oddechowej i VO₂max szczególnie w grupie osób powyżej 40 roku życia .

Ponadto dokonano porównania wpływu różnych form wysiłku fizycznego na osiągnięte rezultaty (test na ergometrze rowerowym vs. na bieżni). W celu wyznaczenia maksymalnej wartości pochłaniania tlenu kluczowy jest rodzaj wykonywanego badania. Istnieją znaczne różnice w osiągniętych wynikach dla różnych dyscyplin sportowych, dlatego u osób trenujących zarówno kolarstwo jak i bieganie, jak to ma miejsce np. u triathlonistów należy wykonywać osobne badania na cykloergometrze rowerowym i na bieżni, gdyż nie istnieje bezpośrednia korelacja pomiędzy wynikami uzyskanymi w trakcie różnych rodzajów testów.



Komisja Bioetyczna przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym

Tel.: 022/ 57 - 20 -303
Fax: 022/ 57 - 20 -165

ul. Żwirki i Wigury nr 61
02-091 Warszawa

e-mail: komisja.bioetyczna@wum.edu.pl
www.komisja-bioetyczna.wum.edu.pl

Warszawa, dnia 15 marca 2021r.

AKBE/ 32 / 2021

Lek. Jacek Lech,
III Klinika Chorób wewnętrznych i Kardiologii,
ul. Bursztynowa 2,
04-749 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Niniejszym oświadczam, że Komisja Bioetyczna przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym w dniu 15 marca 2021 r. przyjęła do wiadomości informację na temat badania pt.: "Analiza czynników mających wpływ na maksymalną częstość serca (HRmax). Ocena formuł pozwalająca na przewidywanie maksymalnej częstości serca u osób aktywnych fizycznie. (Analysis of factors influencing HRmax. Evaluation of HRmax prediction formulae in a physically active population)". Przedstawione badanie nie stanowi eksperymentu medycznego w rozumieniu art. 21 ust. 1 ustawy z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentystry (Dz.U. z 2018 r. poz. 617) i nie wymaga uzyskania opinii Komisji Bioetycznej przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym, o której mowa w art. 29 ust. 1 ww. ustawy.

Przewodnicząca Komisji Bioetycznej


Prof. dr hab. n. med. Magdalena Kuźma-Kozakiewicz

*niepotrzebne skreślić

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Imię i nazwisko współautora: Jacek Lach

Udział autora:

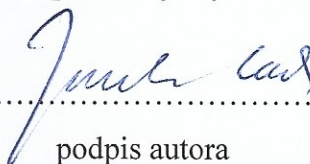
x	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
---	--	--	----------------------	--	-------------------------

	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań	x	Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
--	--	---	--	--	----------------------

x	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
---	-------------------	--	---------------	--	---

x	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych
---	------------------	--	-------------------------------------	--	-----------------------------------

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 50%


.....
podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Imię i nazwisko współautora: Szczepan Wiecha

Udział autora:

x	Koncepcja pracy Postawienie hipotez	x	Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań	x	Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
x	Prowadzenie badań	x	Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
x	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 10%

.....

podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Imię i nazwisko współautora: Daniel Śliż

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań	x	Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
x	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%



podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

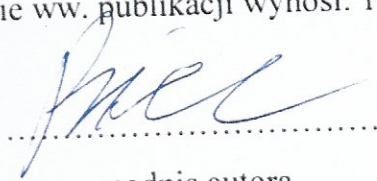
2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Imię i nazwisko współautora: Szymon Price

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez	x	Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
	Prowadzenie badań	x	Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 10%



 podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B. A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Imię i nazwisko współautora: Mateusz Zaborski

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez	X	Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
--	--	---	----------------------	--	-------------------------

	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
--	--	--	--	--	----------------------

	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
--	-------------------	--	---------------	--	---

	Zbieranie danych	X	Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych
--	------------------	---	-------------------------------------	--	-----------------------------------

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%

Mateusz Zaborski.....

podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Imię i nazwisko współautora: Igor Cieśliński

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez	x	Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
--	--	---	----------------------	--	-------------------------

	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
--	--	--	--	--	----------------------

	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
--	-------------------	--	---------------	--	---

	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych
--	------------------	--	-------------------------------------	--	-----------------------------------

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%

Igor Cieśliński

.....
podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

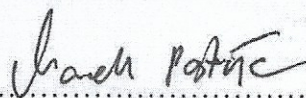
2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Imię i nazwisko współautora: Marek Postuła

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy	x	Konsultacja i opieka
	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%



.....
podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publication: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

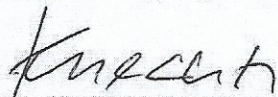
2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Name surname of the co-author: Beat Knechtle

Udział autora:

	Concept. Hypothesis	x	Statistical analysis		Bibliography collection
	Study design Metodology		Results interpretation Conclusions.		Supervision
	Study conducting		Writing		Text correction
	Data collection		Graphical results		

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%


.....

podpis autora

Prof. Dr. med. Beat Knechtle
 Facharzt FMH für Allgemeinmedizin
 Säntisstr. 8
 CH-9306 Freidorf TG

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja: HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population.

Author: Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, A.Mamcarz

Journal: Frontiers in Physiology

ISSN 1664-042X

2021 Jul 30; 12:695950. doi: 10.3389/fphys.2021.695950. eCollection 2021.PMID: 34393819

Imię i nazwisko współautora: prof. dr hab. n. med. Artur Mamcarz

Udział autora:

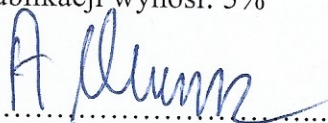
	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
--	--	--	----------------------	--	-------------------------

	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy	x	Konsultacja i opieka
--	--	--	--	---	----------------------

x	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
---	-------------------	--	---------------	--	---

	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych
--	------------------	--	-------------------------------------	--	-----------------------------------

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%



podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja:

VM235377602022.88916

Jak prawidłowo wyliczyć tętno maksymalne? (article)

Author: Jacek Lach and Daniel Śliż and Szczepan Wiecha and Szymon Price and Arkadiusz Brzozowski and Artur Mamcarz;

Journal: Folia Cardiologica, Year: 2022, Volume 17, Number 5, Pages 293 - 296

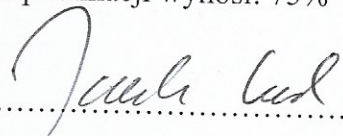
Issn 2353-7760

Imię i nazwisko współautora: Jacek Lach

Udział autora:

x	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna	x	Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań	x	Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
x	Prowadzenie badań	x	Pisanie pracy	x	Korekta pracy przed złożeniem do druku
	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 75%



 podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja:

VM235377602022.88916

Jak prawidłowo wyliczyć tętno maksymalne? (article)

Author: Jacek Lach and Daniel Śliż and Szczepan Wiecha and Szymon Price and Arkadiusz Brzozowski and Artur Mamcarz;

Journal: Folia Cardiologica, Year: 2022, Volume 17, Number 5, Pages 293 - 296

Issn 2353-7760

Imię i nazwisko współautora: Daniel Śliż

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
	Prowadzenie badań		Pisanie pracy	X	Korekta pracy przed złożeniem do druku
	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%



.....
podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja:

VM235377602022.88916

Jak prawidłowo wyliczyć tętno maksymalne? (article)

Author: Jacek Lach and Daniel Śliż and Szczepan Wiecha and Szymon Price and Arkadiusz Brzozowski and Artur Mamcarz;

Journal: Folia Cardiologica, Year: 2022, Volume 17, Number 5, Pages 293 - 296

Issn 2353-7760

Imię i nazwisko współautora: Szczepan Wiecha

Udział autora:

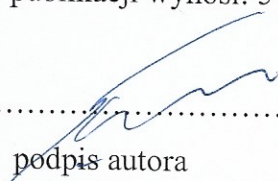
	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
--	--	--	----------------------	--	-------------------------

	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
--	--	--	--	--	----------------------

x	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
---	-------------------	--	---------------	--	---

	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych
--	------------------	--	-------------------------------------	--	-----------------------------------

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%

.....

podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja:

VM235377602022.88916

Jak prawidłowo wyliczyć tętno maksymalne? (article)

Author: Jacek Lach and Daniel Śliż and Szczepan Wiecha and Szymon Price and Arkadiusz Brzozowski and Artur Mamcarz;

Journal: Folia Cardiologica, Year: 2022, Volume 17, Number 5, Pages 293 - 296

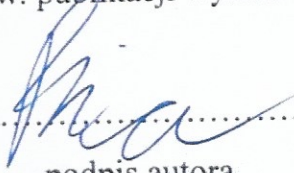
Issn 2353-7760

Imię i nazwisko współautora: Szymon Price

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna	x	Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%



 podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja:

VM235377602022.88916

Jak prawidłowo wyliczyć tętno maksymalne? (article)

Author: Jacek Lach and Daniel Śliż and Szczepan Wiecha and Szymon Price and Arkadiusz Brzozowski and Artur Mamcarz;

Journal: Folia Cardiologica, Year: 2022, Volume 17, Number 5, Pages 293 - 296

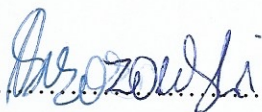
Issn 2353-7760

Imię i nazwisko współautora: Arkadiusz Brzozowski

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy		Konsultacja i opieka
	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
x	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%

.....


podpis autora

FORMULARZ OŚWIADCZENIA AUTORÓW O UDZIALE W PUBLIKACJI

Publikacja:

VM235377602022.88916

Jak prawidłowo wyliczyć tętno maksymalne? (article)

Author: Jacek Lach and Daniel Śliż and Szczepan Wiecha and Szymon Price and Arkadiusz Brzozowski and Artur Mamcarz;

Journal: Folia Cardiologica, Year: 2022, Volume 17, Number 5, Pages 293 - 296

Issn 2353-7760

Imię i nazwisko współautora: prof. dr hab. n. med. Artur Mamcarz

Udział autora:

	Koncepcja pracy Postawienie hipotez		Analiza statystyczna		Zbieranie piśmiennictwa
	Zaplanowanie badań Wybór metodyki badań		Interpretacja wyników Wnioski z pracy	x	Konsultacja i opieka
	Prowadzenie badań		Pisanie pracy		Korekta pracy przed złożeniem do druku
	Zbieranie danych		Graficzne przedstawienie wyników		Zdobywanie środków finansowych

Oświadczam, że mój wkład procentowy w powstanie ww. publikacji wynosi: 5%



.....
podpis autora