


Jak prawidłowo wyliczyć tętno maksymalne?

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

¹III Klinika Chorób Wewnętrznych i Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny

²Public Health School, Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego, Warszawa

³Wydział Wychowania Fizycznego i Zdrowia w Białej Podlaskiej,

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Biała Podlaska

Artykuł jest tłumaczeniem pracy: Lach J, Śliż D, Wiecha S et al. How to calculate the maximum heart rate correctly? 2022; 17(5): 289–292.

DOI: 10.5603/FC.2022.0057. Należy cytować wersję pierwotną

Streszczenie

Tętno maksymalne (HR_{max}) zwykle określane jest jako najwyższe tętno osiągane podczas maksymalnego wysiłku fizycznego i jest uzależnione przede wszystkim od wieku, ale również, w mniejszym stopniu, od innych parametrów takich jak: wskaźnik masy ciała, skład ciała, wydolność fizyczna, wiek, płeć oraz rodzaj badania wysiłkowego. Dokonywanie pomiaru HR_{max} ma miejsce zarówno w kardiologii, jak i w sporcie podczas badań wysiłkowych. W wielu sytuacjach nie udaje się wyznaczyć tętna maksymalnego podczas badania i konieczne staje się estymowanie HR_{max} na podstawie znajomości wyżej wymienionych czynników mających wpływ na jego wysokość. W niniejszej pracy przedstawione zostały również sposoby przeprowadzania badań wysiłkowych oraz wpływ farmakoterapii na uzyskane wyniki.

Słowa kluczowe: tętno maksymalne, węzeł zatokowy, wysiłek fizyczny, elektrokardiogram, pochylenie tleny

Folia Cardiologica 2022; 17, 5: 293–296

Wstęp

Tętno maksymalne (HR_{max}) zwykle określane jest jako najwyższe tętno osiągane podczas maksymalnego wysiłku fizycznego. Jego wysokość jest w głównej mierze uzależniona od wieku [1]. Nie można jednak pominąć różnic osobniczych oraz arytmii. Maksymalna częstość serca ograniczona jest długością okresu refrakcji łącza przedsionkowo-komorowego i może sięgać wartości około 300/min. Najszybszy udokumentowany i przedstawiony w literaturze medycznej rytm komór o częstości 480/min związany był z tachyarytmią nadkomorową, najprawdopodobniej migotaniem przedsionków przewodzonym za pośrednictwem dróg dodatkowych do komór [2].

W warunkach fizjologicznych częstość serca determinowana jest funkcją węzła zatokowego, którego odkrycie przez Martina Flecka oraz Arthura Keitha miało miejsce

w 1906 roku. Od tego czasu przeprowadzono wiele badań nad budową i fizjologicznymi procesami zachodzącymi w jego obrębie, a mimo to do dzisiaj nieznanne są wszystkie procesy zachodzące w tej niewielkiej strukturze [3].

Anatomia i fizjologia węzła zatokowego

W ostatnich czasach opisano złożoność budowy węzła zatokowego znajdującego się w okolicy ujścia żyły głównej górnej do prawego przedsionka oraz jego połączeń z tkanką mięśniową przedsionków [4]. Jest on zbudowany z komórek o właściwościach bodźcotwórczych, ale również miocytów przedsionkowych, adipocytów i fibroblastów [5]. Węzeł zatokowy jest funkcjonalnie odizolowany od pozostałych komórek przedsionka, poza dobrze zdefiniowanymi połączeniami. Wykazano wielośrodkowość aktywacji węzła zatokowego oraz przekazywania potencjału do przedsionków

zarówno bezpośrednio w miejscu ujścia żyły głównej górnej, jak i w odległości sięgającej nawet 41 mm od tego miejsca, co wskazuje na złożoność jego struktury, czego potwierdzeniem jest występowanie spontanicznej zmienności załamka P w zapisach elektrokardiograficznych [4].

Węzeł zatokowy unerwiony jest zarówno przez powodujące hiperpolaryzację błony komórkowej włókna cholinergiczne, co skutkuje efektem chronotropowo ujemnym, jak i przez pozazwojowe włókna adrenergiczne powodujące przyspieszenie spoczynkowej depolaryzacji, co ma dodatni wpływ na chronotropizm [3].

Istnieją dowody na remodeling węzła zatokowego związany z wiekiem, ale również w przebiegu innych sytuacji klinicznych, jak niewydolność serca, arytmie przedsionkowe, asynchroniczna stymulacja komorowa czy ubytek przegrody międzyprzedsionkowej [6].

Kistler i wsp. [7] przedstawili różnice w czasie regeneracji węzła zatokowego u osób powyżej 60 r.ż. w porównaniu z osobami poniżej 30 r.ż. Jak wykazano w innych badaniach histologicznych, nie miało to związku z procesem włóknienia (badano zawartość włókien kolagenowych), ale ze zmianami zdolności przewodnictwa związanego ze zmniejszeniem ekspresji koneksyny-43 i ilości kanałów wapniowych typu L [8]. Zmiany te prowadzą do stopniowego obniżania się zdolności adaptacji chronotropowej serca, a w nasilonej postaci mogą być przyczyną wystąpienia choroby węzła zatokowego. Również w niewydolności serca oraz w arytmii nadkomorowych, jak na przykład w przebiegu migotania przedsionków dochodzi do tak zwanego remodelingu elektrycznego powodującego zmniejszenie prądu I(f) oraz zjawisko *down-regulation* prądu I(f) doprowadzające do stopniowego zmniejszania się zdolności do generowania wyższych częstości serca przez węzeł zatokowy [6]. Poza tym do spadku częstości serca przyczynia się postępujące z wiekiem obniżenie odpowiedzi komórek węzła zatokowego na stymulację beta-adrenergiczną, a ostatecznie przyczynia się do spadku wartości tętna maksymalnego [4].

Znaczenie HR_{max}

Przeprowadzanie badania wysiłkowego, a tym samym ocena maksymalnego tętna, wykonywane jest u osób zdrowych bezobjawowych w celu wykrywania ukrytych chorób, minimalizowania ryzyka związanego z wysiłkiem fizycznym, a także oceny wydolności fizycznej. Jego wartość jest również potrzebna do ustalania obciążeń treningowych (wyznaczanie na jego podstawie stref treningowych), monitorowania intensywności treningu i jego efektów [9]. Wiele planów treningowych opracowywanych jest na podstawie tętna maksymalnego. Ocena HR_{max} podczas testu wysiłkowego wykonywana jest również u pacjentów z chorobami układu krążenia, oddechowego oraz w ramach diagnostyki duszności, bólów w klatce piersiowej, zaburzeń rytmu serca

czy omdleń. Powodem wyznaczania tętna maksymalnego jest między innymi ocena wydolności pacjenta, sprawności krążenia wieńcowego, a tym samym diagnostyka w kierunku choroby niedokrwiennej serca. Badanie to ma na celu również ocenę reakcji ciśnienia tętniczego na wysiłek fizyczny oraz poszukiwanie zaburzeń rytmu serca indukowanych aktywnością fizyczną [10].

Metody wyznaczania HR_{max}

Obecnie najdokładniejszym sposobem na wyznaczenie HR_{max} jest przeprowadzenie badania wysiłkowego, najczęściej wykonywanego na bieżni lub cykloergometrze rowerowym. Wyznaczenie HR_{max} wymaga jednak osiągnięcia maksymalnego wysiłku, co w wielu przypadkach jest trudne, a niekiedy niemożliwe. Decydują o tym między innymi motywacja pacjenta, ograniczenia związane z aparatem ruchu, dobór metody badania i jego protokołu [11].

W wielu pracowniach badań wysiłkowych wykonuje się testy w oparciu o estymowane wartości HR_{max} .

W trakcie zwiększającego się obciążenia wzrost częstości serca ma charakter liniowy. W końcowej fazie, podobnie jak w przypadku pochłaniania tlenu (VO_2), ma miejsce stopniowe zwolnienie szybkości jego narastania do osiągnięcia plateau w fazie końcowej badania przy osiągnięciu maksymalnego wysiłku [12]. Jej wartość maksymalna wykazuje znaczne międzysobnicze różnice sięgające nawet 10–15 uderzeń/min. Głównym czynnikiem mającym wpływ na HR_{max} , jak już wspomniano wcześniej, jest wiek [11]. Fakt ten oraz prostota zastosowania wzoru: $220 - \text{wiek}$ badanego w latach, sprawiają, iż jest to najczęściej rutynowo stosowany wzór na obliczanie HR_{max} . Jednakże nie tylko wiek, ale i rodzaj wysiłku przyczynia się do osiąganych wartości tętna na szczycie wysiłku [13]. Maksymalne wartości osiągane są podczas aktywności angażujących większą masę mięśniową, jak to ma miejsce podczas biegu czy wiosłowania. Nieco niższe wartości tętna na szczycie wysiłku HR_{peak} osiągane są podczas jazdy rowerem, dlatego podczas badań przeprowadzanych na ergometrze rowerowym osiągane są inne wartości HR_{max} niż podczas prób wykonywanych na bieżni [13]. Podobnie, jak w przypadku określania maksymalnego pochłaniania tlenu VO_{2max} i VO_{2peak} , HR_{peak} oznacza tętno maksymalne osiągnięte podczas aktywności nieangażujących dużej masy mięśniowej i dlatego w ich trakcie wcześniej dochodzi do zmęczenia i dyskomfortu mięśni niż obciążenia układu krążenia. Jeszcze niższe wartości HR_{peak} osiągane są w trakcie pływania. W horyzontalnej pozycji zwiększa się powrót żylny i napełnianie komór w fazie rozkurczu, a w konsekwencji tego wzrasta objętość wyrzutowa, która w większym stopniu niż wzrost częstości serca przyczynia się do zwiększonego rzutu serca. Ponadto podczas zanurzenia w wodzie dochodzi do odruchowej reakcji nerwu błędnego powodującej zmniejszenie częstości serca.

Kryteria przerwania testu wysiłkowego

Test wysiłkowy trwa najczęściej do osiągnięcia przez pacjenta maksymalnego zmęczenia według skali Borga [14]. Biorąc pod uwagę duże różnice międzyosobnicze, osiągnięcie estymowanego HR_{max} w trakcie badania nie powinno być powodem jego zakończenia. Przerwanie próby przed osiągnięciem maksymalnego wysiłku następuje w przypadku wystąpienia istotnych objawów (subiektywnych) jak zawroty głowy, zaburzenia koordynacji, nasilona dławica piersiowa lub duszność, bladeść powłok, sinica, objawy wegetatywne (zlewne zimne poty), jak również z przyczyn obiektywnych, jak pojawienie się groźnych arytmii, świeżego bloku lewej odnogi pęczka Hisa czy postępującego spadku ciśnienia tętniczego [13].

Metody estymowania HR_{max} . Wpływ różnych czynników na HR_{max}

W praktyce klinicznej tętno maksymalne jest najczęściej wykorzystywanym parametrem służącym do wyznaczenia maksymalnego wysiłku, ze względu na dużą dostępność urządzeń służących do jego pomiaru (pulsometry, elektrokardiogram). Niekiedy wykonuje się badania pozwalające na dokładniejszą ocenę parametrów metabolicznych, jak badanie spiroergometryczne lub oznaczanie poziomu laktatu w trakcie badania wysiłkowego. Są to jednak metody o mniejszej dostępności lub/i metody inwazyjne. Wartość tętna maksymalnego ma znaczną zmienność międzyosobniczą. Najczęściej stosowaną metodą wyznaczania (estymowania) HR_{max} , szczególnie w badaniach przeprowadzanych na bieżni wysiłkowej, jest formuła 220 – wiek (w badaniach na cykloergometrze rowerowym stosuje się niekiedy wzór 200 – wiek). Stosowanie przedstawionych wzorów nie znajduje poparcia w badaniach naukowych, a opiera się na wieloletnich obserwacjach. Po raz pierwszy formuła 220 – wiek pojawiła się w piśmiennictwie medycznym w 1971 roku. Często używa się również metody Tanaki ($208 - 0,7 \times \text{wiek}$) [15], ale również formuły Londeree ($206,3 - 0,711 \times \text{wiek}$) [16], Inbar ($205,8 - 0,685 \times \text{wiek}$) [17], Nes ($211 - 0,64 \times \text{wiek}$) [18]. Na podstawie niedawno przeprowadzonej analizy wykonanych badań spiroergometrycznych na dużej populacji osób aktywnych fizycznie [11] porównano dokładność najczęściej stosowanych formuł do estymowania maksymalnych wartości tętna wysiłkowego. Stwierdzono znaczne odchylenia, sięgające 10–12 uderzeń/minutę pomiędzy wartościami estymowanymi, a rzeczywiście osiągniętymi. Wszystkie te formuły charakteryzowały się zbliżonym błędem bezwzględnym (ME, *mean error*). Najniższy błąd zaobserwowano w formule Tanaki (ME wynosi około 7 uderzeń/minutę). Najczęściej stosowana metoda 220 – wiek jest względnie dokładna w grupie 30–40 lat, natomiast nieprecyzyjna zarówno u osób starszych, jak i młodszych. Dlatego niewskazane jest

powszechne używanie tej formuły (niedokładność wyników, podczas planowania treningów niedopasowane obciążenie). Pozostałe formuły charakteryzują się zbliżonymi ME wynoszącymi około 10 uderzeń serca/minutę.

W przedstawionym badaniu dokonano również analizy wpływu różnych czynników na wysokość HR_{max} [11]. Uwzględniono takie parametry jak wskaźnik masy ciała (BMI, *body mass index*), skład ciała, wydolność fizyczna, wiek, płeć oraz rodzaj badania wysiłkowego. Modele wieloczynnikowe w nieznaczny sposób zmniejszyły stopień błędu w estymacji tętna maksymalnego (HR_{max}). Biorąc jednak pod uwagę specyfikę badanej grupy oraz potencjalne wykorzystanie tej formuły u osób aktywnych fizycznie, w tym u osób z elity sportowej, te niewielkie różnice pomiędzy modelem uwzględniającym tylko wiek oraz modelem wieloczynnikowym mogą mieć istotne znaczenie dla planowania treningu oraz osiąganych wyników w trenowanych dyscyplinach. Wyznaczono formułę szacowania HR_{max} u osób aktywnych fizycznie [11]:

$$202,5 - 0,53 \times \text{wiek}$$

oraz w przypadku wykorzystania modelu wieloczynnikowego [11]:

$$229 - 0,64 \times \text{age} - 0,23 \times \text{body mass} + 0,02 \times \text{BMI} - 0,38 \times \text{VO}_{2\max} + 0,33 \times \text{body fat} + 0,02 \times \text{fitness level} + 8,74 \times \text{sex} + 0,97 \times \text{testing modality}$$

$\text{VO}_{2\max}$ w $\text{ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$, 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 wymienionych powyżej metod estymacji HR_{max} (ME 7,04) [11]. Należy zwrócić jednak uwagę na charakterystykę badanej grupy. Były to osoby przeważnie młode, aktywne fizycznie. Dla takiej grupy wykorzystanie opracowanych formuł mogłoby przyczynić się do poprawy planowania treningu, lepszego jego monitorowania i oceny efektów. Nie można jednak zapominać, że bezpośredni pomiar HR_{max} w przeciwieństwie do estymacji HR_{max} , nie będzie obciążony błędem i należy dążyć do jego wyznaczenia u osoby badanej.

Wpływ leków na wartość HR_{max}

Podczas oceny częstości serca w trakcie wykonywania badania wysiłkowego należy uwzględnić przyjmowane przez badanego leki. Betablokery oraz iwabradyna obniżają zarówno częstość serca w czasie spoczynku oraz HR_{max} o około 10–15 uderzeń/minutę. Glikozydy naparstnicy oraz chronotropowo ujemnie działający antagoniści kanału wapniowego wpływają przede wszystkim na spoczynkowe

wartości tętna. Iwabradyna obniża zarówno tętno spoczynkowe, jak i wysiłkowe o około 10–15 uderzeń/min, nie zmieniając znacząco rezerwy tętna [19].

Wnioski

Tętno maksymalne wykorzystywane jest zarówno w kardiologii, jak i medycynie sportowej jako kryterium osiągnięcia maksymalnego wysiłku. Oznaczane jest ono zwykle podczas badań w pracowniach testów wysiłkowych. Często badanie przerywane jest przed osiągnięciem maksymalnego wysiłku. W takich sytuacjach metody estymacji HR_{max} pozwalają na dokonanie oceny wydolności (HR osiągnięte jako procent HR_{max} w trakcie próby zakończony przedwcześnie) oraz na opracowanie odpowiedniego treningu. Dotychczasowe formuły wyznaczania HR_{max} opierały się głównie na wieku. Najczęściej stosowana metoda 220 – wiek jest nadal jedną z podstawowych metod, ostatnio często wypierana przez dokładniejszą formułę Tanaki ($208 - 0,7 \times \text{wiek}$). W badaniu *HR Max Prediction Based on Age, Body Composition, Fitness Level, Testing Modality and Sex in Physically Active Population* dokonano analizy wpływu innych czynników na HR_{max} u osób aktywnych fizycznie. U takich osób zastosowanie formuły $202,5 - 0,53 \times \text{wiek}$ cechuje się nieco mniejszym błędem bezwzględnym. Metoda wieloczynnikowa, uwzględniająca inne parametry, jak BMI, skład ciała, stopień wytrenowania czy rodzaj testu pozwala na nieznacznie większą dokładność w estymowaniu HR_{max} , co w przypadku elity sportowej może mieć istotne znaczenie. Podstawą wyznaczania HR_{max} pozostaje jednak bezpośredni pomiar podczas maksymalnego wysiłku, ponieważ tylko taki sposób pozwala uzyskać wynik pozbawiony błędu. Dlatego w przypadku braku obiektywnych wskazań do przerwania testu należy go kontynuować do uzyskania maksymalnego wysiłku.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

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.pbiomolbio.2015.12.011](https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.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, Šliž 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/).