

Dr hab. n. med. Hubert Kryštofiak
Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej
im. M. Mossakowskiego PAN

Warszawa, 23 Maja 2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej lekarza Jacka Lacha pod tytułem:

„Analiza czynników wpływających na wskaźniki wydolności fizycznej oraz maksymalne tętno (HR_{max}) w populacji aktywnej fizycznie.”

Promotorem rozprawy jest Prof. dr. hab. n. med. Artur Mamcarz;
Promotorem pomocniczym jest Dr n. med. Daniel Śliż.

I.

Test wysiłkowy sercowo-płucny (test ergospirometryczny, *cardiopulmonary exercise test*, CPET) jest standardowym badaniem, mającym zastosowanie w diagnostyce klinicznej i w ocenie odpowiedzi organizmu na wysiłek fizyczny u ludzi zdrowych, w szczególności sportowców.

W teście tym, podczas wysiłku, w sposób ciągły, rejestruje się pobieranie tlenu (VO_2), produkcję dwutlenku węgla, wielkość wentylacji minutowej (V_E) i częstość skurczów serca (HR); W warunkach klinicznych w sposób ciągły rejestruje się zapis elektrokardiograficzny (EKG). Celem testu jest ocena zmian tych rejestrowanych parametrów w czasie wysiłku – (i) ocena kinetyki zmian tych parametrów wraz ze zmianą obciążenia, (ii) ocena zmian kinetyki wybranych parametrów względem siebie wraz ze zmianą obciążenia oraz (iii) ocena osiągniętych wartości maksymalnych dla tych parametrów.

Wysiłek może być wykonywany na cykloergometrze, bieżni elektrycznej lub specjalistycznych ergometrach, na przykład ergometrze wiosłarskim. Większość standardowych testów wysiłkowych wykonuje się do momentu, kiedy spełnione są kryteria testu maksymalnego, takie jak brak wzrostu VO_2 , HR i V_E pomimo wzrostu obciążenia lub do odmowy kontynuowania testu przez badanego z powodu zmęczenia. Przyczyną przerwania testu mogą być nieprawidłowe objawy, takie jak ból w klatce piersiowej lub duszność lub nieprawidłowa reakcja na wysiłek zobrazowana w ocenianych parametrach, w szczególności zapisie EKG.

Brak wzrostu VO_2 i HR, pomimo wzrostu obciążenia, przy dużej intensywności wysiłku – na szczycie wysiłku, wskazuje, że badana osoba osiągnęła pułap tlenowy (VO_{2max}) i maksymalną częstość skurczów serca (HR_{max}). Bardzo często w trakcie testów wysiłkowych nie udaje się osiągnąć takich kryteriów. Dlatego ważne jest, aby już przed rozpoczęciem testu spróbować

ustalić podstawowe kryterium testu maksymalnego. Ponieważ pułap tlenowy zmienia się istotnie w procesie adaptacji do wysiłku fizycznego, uniwersalnym i obiektywnym wskaźnikiem testu maksymalnego jest osiągnięcie w czasie wysiłku testowego częstości skurczów serca odpowiadającej wartości przewidywanej HR_{max} . W warunkach fizjologicznych częstość skurczów serca zależy od funkcji węzła zatokowego i o ile adaptacja treningowa ma istotny wpływ na częstość skurczów serca w czasie wysiłku fizycznego przy obciążeniach submaksymalnych (zmiana kinetyki wzrostu HR wraz ze wzrostem obciążenia) to dotychczasowe badania nie potwierdziły istotnego, bezpośredniego wpływu treningu fizycznego na HR_{max} . Badania potwierdzają jednak, że HR_{max} obniża się z wiekiem. Taka cecha tego wskaźnika pozwala na przewidywanie maksymalnej częstości skurczów serca i proste wzory do wyznaczania HR_{max} stosowane są w codziennej praktyce klinicznej i sportowej.

Maksymalna częstość skurczów serca ma zastosowanie nie tylko w planowaniu i monitorowaniu testów wysiłkowych, ale także w planowaniu i monitorowaniu wysiłku treningowego, zarówno w sporcie jak i rehabilitacji – HR_{max} daje podstawę do obliczania rezerwy częstości skurczów serca, rozumianej jako różnica pomiędzy maksymalną i spoczynkową HR. W oparciu o rezerwę częstości skurczów serca ustalane są obciążenia treningowe.

To zapotrzebowanie pokazuje jak ważne jest, aby przewidywana HR_{max} była wiarygodna. Powszechnie stosowany wzór, $HR_{max} = 220 - \text{wiek}$, od wielu lat budzi wątpliwości; Badania pokazują, że zaniża HR_{max} u osób starszych, a zawyża u osób młodych. Jednak wciąż jest stosowany i rekomendowany przez wiodące ośrodki kliniczne. Alternatywą dla tego historycznego wzoru jest inny, zaproponowany w 2001 roku przez Hirofumi Tanakę i współpracowników, w oparciu o meta-analizę 351 badań (18712 badanych), wzór $HR_{max} = 208 - 0,7 \times \text{wiek}$.

W 2013 roku, Bjarne Martens Nes i współpracownicy, zaprezentowali wyniki badania, w którym badali relację pomiędzy HR_{max} i wiekiem w grupie 3320 zdrowych kobiet i mężczyzn w wieku od 19 do 89 lat. Badani wykonywali test ergospirometryczny na bieżni. Celem tego badania było opracowanie nowego wzoru predykcyjnego dla HR_{max} i porównanie wyników stosowania tego wzoru z innymi stosowanymi wzorami predykcyjnymi. Ponadto badacze analizowali związek między HR_{max} a płcią, deklarowanym poziomem aktywności fizycznej, BMI i VO_{2max} . Nes i współpracownicy nie znaleźli dowodów na istotną relację HR_{max} z ocenianymi wskaźnikami. Badacze zasugerowali i zwalidowali nowy wzór: $HR_{max} = 211 - 0,64 \times \text{wiek}$. Jego trafność była jednak zbliżona do wzoru Tanaki.

Temat jest wciąż aktualny i w tym kontekście rozprawa doktorska lekarza Jacka Lacha uzupełnia naszą wiedzę, podejmując wyzwanie optymalizacji predykcji HR_{max} dla grupy osób aktywnych fizycznie. Podobnie jak Bjarne Martens Nes i współpracownicy analizuje wpływ na HR_{max} czynników innych niż wiek.

II.

Podstawą merytoryczną przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej są dwie publikacje w języku angielskim, tworzące spójny cykl. Obie publikacje dotyczą metod wyznaczania przewidywanego HR_{max} i wpływu na ten wskaźnik takich czynników jak płeć, masa i skład ciała, BMI i poziom wydolności fizycznej. Praca pogładowa w istotnej części odwołuje się do wyników pracy oryginalnej. Pierwsza publikacja to artykuł oryginalny, opublikowany w czasopiśmie *Frontiers in Physiology* (IF=4,755, MNiSW=100 pkt). Druga publikacja to artykuł pogładowy, opublikowany w czasopiśmie *Folia Cardiologica* (MNiSW=40 pkt.).

1. 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
2. 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

W obu pracach doktorant jest pierwszym autorem. Zgodnie z oświadczeniami współautorów udział doktoranta wynosił 50% w pierwszej pracy i 75% w drugiej pracy. Publikacje w ich formacie wydawniczym są włączone do dokumentu rozprawy doktorskiej.

Celem pierwszej, oryginalnej pracy było porównanie dokładności – trafności wzorów do wyznaczania przewidywanego HR_{max} w populacji osób aktywnych fizycznie. Porównaniu miały być poddane już stosowane wzory oraz nowe wzory opracowane w wyniku modelowania w ramach bieżącego badania. Autorzy postawili hipotezy, że odpowiednio skład ciała i poziom wydolność tlenowej może wpływać na HR_{max} .

W badaniu przeanalizowano wyniki testów wysiłkowych 3374 zdrowych kobiet i mężczyzn, w większości sportowców, o średniej wieku 37 lat (odchylenie standardowe 9 lat). Wykonano testy wysiłkowe (CPET) na bieżni lub ergometrze rowerowym w celu oceny HR_{max} i VO_{2max} . Testy wysiłkowe spełniały kryteria testów maksymalnych.

Dla opracowania nowych wzorów do wyznaczania przewidywanego HR_{max} zastosowano modelowanie przy wykorzystaniu regresji liniowej – jednoczynnikowej, z wiekiem jako zmienną niezależną, oraz wieloczynnikowej z ośmioma zmiennymi niezależnymi – wiekiem, masą ciała, procentowym udziałem tkanki tłuszczowej, maksymalnym pobieraniem tlenu, wskaźnikiem wydolności fizycznej zdefiniowanym i wyliczonym przez autorów pracy, płcią (kobieta lub mężczyzna) i trybem testu (bieżnia lub cykloergometr) – obie zmienne zakodowane binarnie (0 i 1) oraz wskaźnikiem masy ciała (BMI). W przypadku regresji wieloczynnikowej zastosowano cztery sposoby wybierania zmiennych objaśniających do modelu – wprowadzenie bloku zmiennych (wszystkie zmienne wprowadzone jednocześnie), metodę krokową z włączaniem zmiennych w kolejnych krokach, celem wyłonienia tylko

zmiennych istotnych oraz dwie metody regresji z regularyzacją – regresja grzbietowa (*Ridge*) i Lasso (*Least Absolute Shrinkage and Selection Operator*).

Dla każdej badanej osoby, wyliczono przewidywane wartości maksymalnej częstości skurczów serca na podstawie wcześniej opublikowanych wzorów oraz nowych wzorów i porównano z HR_{max} osiągniętym w teście wysiłkowym. Błędy dla pojedynczych obserwacji zsumowano podzielono przez liczbę obserwacji – wyznaczono błąd średni estymacji. Tak wyznaczono błędy dla wszystkich wzorów dla całej grupy badanej oraz dla podgrup, wytworzonych w oparciu o BMI, poziom wydolności fizycznej, płeć, rodzaj ergometru, wiek i zawartość tkanki tłuszczowej.

Wyniki badania pokazały, że dotychczas stosowane wzory są mniej precyzyjne u osób młodszych i starszych - zawyżają HR_{max} w starszych grupach wiekowych i niedoszacowują w młodszych. Nowy wzór jednoczynnikowy, opracowany w niniejszym badaniu, $HR_{max} = 202,5 - 0,53 \times \text{wiek}$, był najlepszy w badanej populacji, dając najniższe średnie błędy w większości grup. Dodanie takich zmiennych jak BMI, poziom wydolności fizycznej, płeć, rodzaj ergometru i zawartość tkanki tłuszczowej w modelach regresji wieloczynnikowej poprawiło dokładność prognoz tylko nieznacznie w porównaniu do samego wieku.

Druga praca w cyklu to praca poglądowa w której doktorant opisuje stosowane metody wyznaczania i szacowania HR_{max} i wpływu różnych czynników na maksymalną częstość skurczów serca. W artykule opisana jest anatomia i fizjologia węzła zatokowego, który jest podstawowym, fizjologicznym rozrusznikiem serca i który determinuje częstość skurczów serca. Artykuł zawiera opis metodyki i bezpieczeństwa wykonywania testów wysiłkowych. Odnosi się też pokrótce do kwestii wpływu leków na HR_{max} . W tym poglądowym artykule doktorant odnosi się także do wyników własnych badań zaprezentowanych w opisaney powyżej pracy oryginalnej.

III.

Rozprawa doktorska lekarza Jacka Lacha to 47 stronicowy dokument. W części merytorycznej dokument zawiera:

1. Słowa kluczowe, wykaz publikacji stanowiących pracę doktorską, spis treści i wykaz stosowanych skrótów na stronie na stronach odpowiednio 2, 4, 5 i 6.
2. Streszczenia rozprawy w języku polskim i angielskim na stronach 7 i 8.
3. Wstęp na stronach 9 i 10.
4. Uzasadnienie połączenia prac w cykl publikacji od 11 do 13.
5. Cel pracy oraz spodziewane wyniki na stronie 14.
6. Odniesienie do nowatorskiego aspektu badań na stronie 15.
7. Materiał i metody na stronie 16.
8. Pierwszy artykuł z cyklu (artykuł oryginalny) w formacie wydawniczym na stronach od 17 do 25.

9. Drugi artykuł z cyklu (artykuł poglądowy) w formacie wydawniczym na stronach od 26 do 29.
10. Podsumowanie i wnioski na stronach 30 i 31.

Do dokumentu włączone są:

1. Oświadczenie Komisji Bioetycznej przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym na stronie 32.
2. Oświadczenia współautorów udziału w publikacjach na stronach od 33 do 47.

We wstępie doktorant zwraca uwagę na znaczenie maksymalnej częstości skurczów serca jako parametru fizjologicznego i klinicznego; Opisuje metody wyznaczania i szacowania HR_{max} . Wspomina też o pobieraniu tlenu (VO_2 / VO_{2max}) jako istotnym parametrze stosowanym w ocenie wydolności fizycznej. We wstępie opisane są podstawowe informacje na temat testu ergospirometrycznego (CPET) – wskazania, rodzaje ergometrów, analizowane parametry. Doktorant zwraca uwagę, że w swojej pracy badał wpływ takich czynników jak masa i skład ciała, BMI, płeć i rodzaj wysiłku na HR_{max} . Wskazuje też, że dodatkowo w pracy porównywano różnice w wynikach testu wysiłkowego w zależności od zastosowanego ergometru (bieżnia lub cykloergometr) dla takich parametrów jak HR_{max} , VO_{2max} , pobieranie tlenu na progu beztlenowym i w punkcie kompensacji oddechowej oraz wpływ masy i składu ciała na osiągnięte wyniki.

W uzasadnieniu połączenia prac w cykl publikacji doktorant opisuje główne założenia i wyniki pracy oryginalnej – zamieszcza też wzory opracowane w wyniku modelowania statystycznego. Odnosi się też do elementów treści pracy poglądowej. Wykazuje, że obie prace dotyczą tego samego parametru.

Opisując cel pracy i spodziewane wyniki, w pierwszym punkcie doktorant zaznacza, że głównym celem pracy była analiza zależności pomiędzy składem ciała a wynikami badania ergospirometrycznego z uwzględnieniem takich parametrów jak HR_{max} , VO_{2max} , próg beztlenowy, punkt kompensacji oddechowej. W drugim punkcie jako cel wyznacza porównanie najczęściej stosowanych wzorów do wyznaczania przewidywanego HR_{max} w oparciu o badania przeprowadzone na licznej grupie osób aktywnych fizycznie. W kolejnych pięciu punktach jako odrębne cele wyznacza badanie zależności pomiędzy HR_{max} a odpowiednio masą ciała, płcią, składem ciała, BMI i VO_{2max} . W ostatnim punkcie jako cel stawia opracowanie własnych wzorów do wyznaczania HR_{max} w oparciu o analizę regresji jednoczynnikowej, z wiekiem jako zmienną objaśniającą oraz analizę regresji wieloczynnikowej. Nowe wzory mają pozwolić na bardziej precyzyjne wyznaczenie przewidywanego HR_{max} u osób aktywnych fizycznie.

W dalszej kolejności doktorant zwraca uwagę na nowatorski aspekt badań, wskazując w szczególności na specyficzną grupę badanych – osób aktywnych fizycznie, uprawiających sport amatorsko i profesjonalnie.

W sekcji materiał i metody w sposób ogólny doktorant opisuje grupę badawczą i tryb kwalifikacji do badania, badania antropometryczne i test wysiłkowy wraz z wyszczególnieniem zastosowanej aparatury. Na koniec tej sekcji jest informacja, że u części badanych, tych uprawiających triathlon, wykonano dwa testy – na bieżni i na cykloergometrze dla porównania osiągniętych wyników.

Część merytoryczna kończy sekcja podsumowanie i wyniki. Znajduje się ona po dwóch artykułach zadeklarowanych w cyklu, dołączonych w wersji wydawniczej. W tej sekcji doktorant podsumowuje wyniki pracy oryginalnej z cyklu, jeszcze raz zamieszczając opracowany w badaniu wzór oparty o wiek. Zaznacza jednak, że podstawowym sposobem wyznaczania HR_{max} jest bezpośredni pomiar podczas maksymalnego wysiłku. Na koniec tej sekcji i całej części merytorycznej pojawia się informacja o nowym artykule oryginalnym, którego doktorant jest współautorem. Doktorant deklaruje, że w artykule tym rozszerzono ocenę wpływu BMI, zawartość tkanki tłuszczowej, beztłuszczowej masy ciała na próg beztlenowy, punkt kompensacji oddechowej i VO_{2max} szczególnie w grupie osób powyżej 40 roku życia; Dokonano też porównania wyników uzyskanych w testach na bieżni i na cykloergometrze.

IV.

W przedstawionej do recenzji rozprawie doktorskiej lekarza Jacka Lacha jest kilka zagadnień do których chciałbym się odnieść; Niektóre wymagają dodatkowego wyjaśnienia przez doktoranta.

W pracy oryginalnej dla zbadania relacji pomiędzy HR_{max} a ośmioma zmiennymi – wiekiem, masą ciała, procentową zawartością tkanki tłuszczowej, maksymalnym pobieraniem tlenu, wskaźnikiem wydolności fizycznej zdefiniowanym i wyliczonym przez autorów pracy, płcią, trybem testu i wskaźnikiem masy ciała (BMI), przeprowadzono modelowanie przy wykorzystaniu regresji liniowej wieloczynnikowej. Zastosowano cztery sposoby wybierania i dopasowywania zmiennych objaśniających do modelu – (1) wprowadzenie wszystkich zmiennych jednocześnie (w pracy *Linear*), (2) metodę krokową (*Stepwise*) oraz dwie metody regresji z regularyzacją – (3) regresja grzbietowa (*Ridge*) i (4) Lasso. Mam kilka komentarzy i pytań dotyczących tej analizy i jej wyników:

Zestaw 8 zmiennych objaśniających zawiera zmienne, które najprawdopodobniej korelują ze sobą - masa ciała, zawartość tkanki tłuszczowej i BMI oraz VO_{2max} i wskaźnik wydolności fizycznej.

1. Czy doktorant i współautorzy analizowali problem współliniowości lub jakie kroki podjęli, żeby problem ten nie wpłynął na wyniki modelowania?

Doktorant i współautorzy zaznaczyli w opisie analizy danych, że dla celów modelowania, zbiór danych został podzielony na podzbiory - uczący (*training*) i testowy (*test*).

2. Jak w czasie analizy został wykorzystany podział zbioru danych na podzbiory uczący (*training*) i testowy (*test*)?

Metoda krokowa wprowadzania zmiennych do modelu w analizie regresji nie powinna być w zasadzie procesem automatycznym, opartym wyłącznie na wskaźnikach statystycznych. Zautomatyzowane podejście prowadzi między innymi do błędu nadmiernego dopasowania do danych uczących.

3. Jaką procedurę regresji krokowej zastosowano i jakie kryteria przyjęto przy wprowadzaniu lub usuwaniu zmiennych do/z modelu?

Przeprowadzono modelowanie przy zastosowaniu dwóch metod z regularyzacją współczynników – regresja *Ridge* i *Lasso*. Doktorant i współautorzy nie wyjaśnili, dlaczego wykonali takie modelowanie; Nie odnoszą się też głębiej do wyników tego modelowania.

4. Dlaczego doktorant i współautorzy pracy oryginalnej uznali arbitralnie, że model z regresji krokowej jest najbardziej odpowiedni w konfrontacji z pozostałymi modelami, w szczególności z modelem, który dał wzór trzy-czynnikowy?

Wyniki przeprowadzonego modelowania zostały zaprezentowane w tabeli (tabela 2 w pracy oryginalnej) – pokazane są wartości współczynników i parametry regresji. W prezentacji wyników prawdopodobnie wkradły się błędy. (1) Regularyzacja stosowana w regresji *Lasso* (L1) może skutkować tym, że niektóre współczynniki mogą być zredukowane do zera i wyeliminowane z modelu. Regularyzacja stosowana w regresji grzbietowej (L2) może redukować współczynniki do wartości bliskiej zero, ale nie do zera; nie powoduje eliminacji współczynników z modelu. (2) Współczynniki w modelu opisane są jako *standardized β* (Std β). Standaryzowany współczynnik przyjmuje wartości od -1 do 1. Takiego współczynnika nie można zastosować we wzorze predykcyjnym.

5. Czy doktorant może zweryfikować, czy prezentacja wyników w tabeli *Multiple regression results* jest prawidłowa?

W pracy oryginalnej doktorant i współautorzy zdecydowali, że to regresja krokowa, z siedmioma zmiennymi – bez BMI, jest najbardziej odpowiednia i wzór z tego modelu zastosowano do wyznaczenia przewidywanego HR_{max} . W pracy oryginalnej opracowano też wzór jednoczynnikowy z wiekiem jako zmienną objaśniającą. Dokładność maksymalnej częstości skurczów serca wyznaczonej tymi nowymi wzorami porównywano z dokładnością dotychczas stosowanych wzorów.

W rozprawie, w sekcji z uzasadnieniem połączenia prac w cykl publikacji (strona 12), doktorant prezentuje wzory opracowane w pracy oryginalnej z cyklu. Wzór wieloczynnikowy jest wynikiem analizy regresji, której zmienne objaśniające wprowadzono blokowo – wszystkie zmienne jednocześnie (w tabeli wyników oznaczonej jako *Linear*). Te same wzory są też zaprezentowane w drugiej pracy z cyklu – pracy poglądowej.

6. Dlaczego doktorant prezentuje ten wzór wieloczynnikowy, chociaż w pracy oryginalnej jako najbardziej odpowiedni został uznany wzór opracowany w analizie regresji krokowej?

Warto jeszcze raz zwrócić uwagę, że dobór zmiennych do modelu regresji i ich utrzymanie w modelu zawsze powinno mieć uzasadnienie merytoryczne i funkcjonalne. W prezentowanym wzorze współczynniki dla zmiennych, które prawdopodobnie są pozytywnie skorelowane mają przeciwne znaki – wydaje się, że korygują się wzajemnie. Współczynniki dla poziomu wydolności fizycznej i BMI przyjęły wartość 0,02 co funkcjonalnie oznacza, że zwiększając przewidywaną częstość skurczów serca o odpowiednio 0,06 dla maksymalnej wartości wskaźnika wydolności i 0,6 dla hipotetycznego BMI = 30. Zresztą w prezentowanym modelu BMI nie osiągnęło przyjętego poziomu istotności (także VO_{2max}).

Przewidywane HR_{max} , wyliczone w oparciu o nowe wzory porównano z dotychczas stosowanymi wzorami. Dla porównania analizowano różnice pomiędzy HR_{max} wyliczonym z wzorów i HR_{max} osiągniętym w teście wysiłkowym. W tej analizie wykorzystano dane z podzbioru uczącego. Jako miarę dokładności doktorant i współautorzy pracy oryginalnej przyjęli średni błąd (*mean error*, ME). Średni błąd zwykle daje liczbę, w której wartości dodatnie i ujemne wzajemnie się znoszą - na przykład dwa błędy +6 i -6 dałyby średni błąd równy zero. Średni błąd bezwzględny (MAE) i pierwiastek błędów średniokwadratowych (RMSE) to dwie najczęstsze miary używane do pomiaru dokładności zmiennych ciągłych. W pracy poglądowej z cyklu przy odniesieniu do dokładności nowych wzorów doktorant podaje wartość średniego błęd bezwzględnego (MAE).

7. Dlaczego doktorant i współautorzy pracy oryginalnej wybrali średni błąd jako miarę dokładności do porównania nowych i dotychczasowych wzorów?

W polskim piśmiennictwie specjalistycznym „heart rate” (HR) tłumaczone jest najczęściej jako „częstość rytmu serca” lub „częstość skurczów serca”. W wykazie stosowanych skrótów doktorant rozszyfrowuje skróty HR i HR_{max} odpowiednio jako częstość serca i maksymalna częstość serca, jednak już w tytule dysertacji HR_{max} pojawia się w nawiasie po wyrażeniu „maksymalne tętno”. Z definicji, tętno to faliści ruch tętnic powstający zależnie od skurczów serca i elastyczności ścian naczyń. Opis metodyki badania w pracy opublikowanej we *Frontiers in Physiology* wskazuje na pomiar częstości skurczów serca przy zastosowaniu techniki elektrokardiograficznej (pas z elektrodą z przekaźnikiem bezprzewodowym ANT+). W procedurze badawczej nie badano tętna.

Jest pewna niespójność pomiędzy tytułem rozprawy doktorskiej i celami opisanym w rozprawie a zaprezentowanymi wynikami. Tytuł dysertacji i cele pracy sugerują szerszy zakres analiz niż faktycznie zaprezentowane i wykazane w prezentowanych pracach. Całość dokonania skupia się w zasadzie na czynnikach wpływających na maksymalną częstość skurczów serca. W rozprawie doktorant deklaruje, że w kolejnych opublikowanych artykułach rozszerzono ocenę składu ciała na parametry wydolności fizycznej oceniane w teście ergospirometrycznym.

V.

Opisane powyżej uwagi nie umniejszają wartości merytorycznej przeprowadzonych badań i publikacji naukowych z cyklu. Efekty tej pracy mają istotny walor praktyczny, otwierają też pole do dalszych interesujących badań i analiz. Rozprawa doktorska lekarza Jacka Lacha spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku, Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668). Wnioskuje do Rady Dyscypliny Nauk Medycznych Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego o dopuszczenie lekarza Jacka Lacha do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie nauki medyczne.

Dr hab. n. med. Hubert Krysztofiak, prof. IMDiK PAN