

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

Warszawa, 6 lipca 2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Kingi Rębiś pod tytułem:

„Ocena użyteczności pomiarów utlenowania mięśni do monitorowania odpowiedzi wysiłkowej wysoko wytrenowanych zawodników i osób nietrenujących.”

Promotorem rozprawy jest Dr hab. Andrzej Klusiewicz, prof. AWF;
Promotorem pomocniczym jest Dr Michał Starczewski.

Rozprawa doktorska w oparciu o cykl publikacji naukowych w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej

I. Przedmiot rozprawy

Przedmiotem rozprawy jest ocena użyteczności nieinwazyjnych pomiarów utlenowania mięśni (SmO_2), wykonywanych techniką spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIRS), w monitorowaniu odpowiedzi wysiłkowej organizmu u wysoko wytrenowanych zawodników oraz osób nietrenujących. Punktem wyjścia jest spostrzeżenie, że klasyczne wskaźniki wykorzystywane do kontroli treningu takie jak maksymalny pobór tlenu (VO_2max), stężenie mleczanu we krwi (LA) oraz częstość skurczów serca (HR) mają ograniczenia praktyczne, na przykład inwazyjność związana z pobieraniem krwi i konieczność udziału wyspecjalizowanego personelu. Na tym tle pomiar SmO_2 - lokalny, nieinwazyjny, prowadzony w czasie rzeczywistym za pomocą przenośnej i stosunkowo taniej aparatury - jawi się jako obiecujące narzędzie uzupełniające. Doktorantka trafnie identyfikuje lukę w piśmiennictwie. Mimo rosnącego zainteresowania technologią NIRS brakuje badań prowadzonych w reprezentatywnych grupach elitarnych sportowców różnych dyscyplin, uwzględniających jednocześnie różnice płciowe, wpływ poziomu wytrenowania oraz zachowanie wskaźnika utlenowanie mięśni w zmiennych warunkach dostępności tlenu.

II. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska, opierająca się na spójnym i monotematycznym cyklu oryginalnych artykułów, zawiera streszczenie w języku polskim i w języku angielskim, wstęp, cel i pytania badawcze, materiał i metody, zbiorcze wyniki, dyskusję, wnioski, wykaz piśmiennictwa oraz spis tabel i rycin. Układ pracy i struktura podziału treści są prawidłowe. Strona formalno-językowa, stylistyczna i interpunkcyjna rozprawy jest poprawna. Cykl na którym opiera się rozprawa stanowią cztery prace:

1. Klusiewicz A., Rębiś K., Ozimek M., Czaplicki A. The use of muscle near-infrared spectroscopy (NIRS) to assess the aerobic training loads of world-class rowers. *Biol Sport*. 2021;38(4):713–719.
2. Rębiś K., Sadowska D., Starczewski M., Klusiewicz A. Usefulness of portable device to establish differences in muscle oxygenation between the Wingate test and graded exercise test: effect of gender on anaerobic and aerobic capacity in speed skaters. *Front Physiol*. 2022;13:809864.
3. Rębiś K., Klusiewicz A., Długolecka B., Róžański P., Kowieski K., Kowalski T. Estimation of Lactate Thresholds, Aerobic Capacity and Recovery Rate from Muscle Oxygen Saturation in Highly Trained Speed Skaters and Healthy Untrained Individuals. *J Clin Med*. 2024;13(17):5340.
4. Rębiś K., Kowalski T., Michalik K., Klusiewicz A. Transferability of exercise intensity based on muscle oxygenation from normoxia to hypoxia in ski-mountaineering athletes – exploratory study. *Sports*. 2024;12:351.

Sumaryczny wskaźnik oddziaływania cyklu wynosi $IF = 13,172$, a punktacja MNiSW = 360. Cykl tworzy narastającą problemowo całość, w której kolejne prace odpowiadają na następujące po sobie pytania badawcze - od wysiłku o stałej intensywności, przez wysiłki supramaksymalne i maksymalne, aż po weryfikację czy strefy intensywności wyznaczone w normoksji są wiarygodne w hipoksji. W trzech pracach Doktorantka jest pierwszym autorem z decydującym (powyżej 50%) wkładem na każdym etapie ich powstawania, w tworzeniu koncepcji, prowadzeniu badań, analizie i redakcji; w jednej zaś jest współautorem. Wkład wszystkich współautorów przedstawiono w zestawieniu zamieszczonym w rozprawie. Taki udział uzasadnia uznanie rozprawy za samodzielne rozwiązanie problemu naukowego. Włączenie do rozprawy danych dotychczas niepublikowanych (estymacja stężenia mleczanu na podstawie SmO_2) wzbogaca syntezę, choć dotyczące ich wnioski nie były przedmiotem recenzji naukowej.

III. Celowość i znaczenie podjętej tematyki

Celem głównym rozprawy jest ocena przydatności pomiarów SmO_2 do określania fizjologicznej odpowiedzi organizmu na wysiłki testowe o różnym charakterze. Zagadnienie to Doktorantka rozwija w sposób systematyczny, obejmując wysiłek submaksymalny o stałej intensywności (odpowiadający stanowi maksymalnej równowagi mleczanowej, MLSS), supramaksymalny (test Wingate) oraz maksymalny o stopniowanej intensywności, a przedmiotem analizy czyni deoksygenację mięśni, tempo ich reoksygenacji w okresie restytucji oraz zmiany całkowitej hemoglobiny (THb). Odrębnie podejmuje pytanie o możliwość przenoszenia stref intensywności wyznaczonych w normoksji na warunki hipoksji normobarycznej oraz o zasadność szacowania stężenia mleczanu we krwi na podstawie SmO_2 . Tak sformułowany problem badawczy rozpisano na siedem pytań badawczych, konsekwentnie przypisanych do poszczególnych publikacji cyklu (oraz w jednym przypadku do danych niepublikowanych). Materiał badawczy stanowiło łącznie 79 osób o zróżnicowanym poziomie wytrenowania, w tym liczna grupa elitarnych zawodników i zawodniczek - członków Kadry

Narodowej (wioślarze, łyżwiarze szybcy, narciarze wysokogórscy) oraz grupa odniesienia zdrowych osób nietreningujących.

IV. Ocena strony metodologicznej

Stronę metodyczną oceniam pozytywnie. Procedury testowe są opisane szczegółowo i zgodnie z dobrą praktyką laboratoryjną. Aparatura jest adekwatna, a protokoły testów odpowiadają standardom stosowanym w sporcie wyczynowym i procedurach badawczych. Analiza statystyczna jest poprawna i dostosowana do charakteru danych. Wielkości efektu raportowano i interpretowano. Badania uzyskały zgodę właściwej komisji etycznej.

Jako ograniczenie, częściowo sygnalizowane w publikacjach wchodzących w skład cyklu, wskazuję niewielkie liczebności w niektórych podgrupach (np. $n = 8$ wioślarzy, $n = 15$ narciarzy w pracy o charakterze eksploracyjnym). Nie podważa ono wartości metodologicznej cyklu, lecz wyznacza kierunek dalszych badań na większych grupach. Odnotowuję przy tym, że w samej rozprawie brakuje osobnego omówienia ograniczeń badań.

V. Ocena wyników, dyskusji i wniosków

Wyniki przedstawiono czytelnie, a dyskusja rzetelnie osadza je w aktualnym piśmiennictwie. Na podkreślenie zasługuje wyważony, krytyczny charakter wnioskowania. Obok wykazania użyteczności SmO_2 (m.in. w kontroli obciążeń o stałej intensywności, w wyznaczaniu deoksygenacji progowej oraz w przenoszeniu intensywności do warunków hipoksji), Doktorantka jasno wskazuje granice metody - małą wartość diagnostyczną wskaźnika THb, ograniczoną przydatność SmO_2 w teście Wingate, brak istotnych różnic w zależności od płci oraz niemożność dokładnego szacowania stężenia mleczanu na podstawie SmO_2 . Taka kalibracja twierdzeń świadczy o dojrzałości badawczej. Dziesięć wniosków jest logicznie powiązanych z pytaniami badawczymi i poszczególnymi publikacjami, a język wniosków jest generalnie adekwatny do siły dowodów.

VI. Uwagi i komentarze recenzenta

Czas połowicznego powrotu utlenowania (SmO_2HTR) był u studentek i łyżwiarzek praktycznie identyczny (ok. 32 s), podczas gdy tempo reoksygenacji (%/s) różniło się między nimi statystycznie istotnie (0,76 vs 1,08 %/s). Ponieważ obie miary opisują ten sam proces restytucji (w zasadzie są ze sobą powiązane), warto w tekście wyjaśnić mechanizm tej rozbieżności.

Wniosek 9, że wyznaczona intensywność wysiłku w oparciu o wartości SmO_2 (zblizona do progu beztlenowego), wykazała zgodność zarówno w warunkach normoksji jak i hipoksji normobarycznej, wydaje się zbyt kategoriyczny. Publikacja 4 ma charakter eksploracyjny, a wskaźniki zgodności były niskie do umiarkowanych (ICC 0,56 i 0,40, z 95% przedziałami ufności obejmującymi zero), przy czym kryterium MLSS spełniło 11 z 15 zawodników (73%). Sformułowanie wniosku 9 o „wykazanej zgodności” warto złagodzić, na przykład wskazując na akceptowalną praktycznie możliwość przenoszenia intensywności wyznaczonej w

normoksji na warunki hipoksji normobarycznej, z zastrzeżeniem dużej zmienności osobniczej. Dobrze uzasadniony pozostaje natomiast przekaz porównawczy, że SmO_2 jest przy zmianie wysokości wskaźnikiem stabilniejszym niż HR.

W dyskusji, w części omawiającej czy SmO_2 wyznaczone dla często stosowanych progów beztlenowych może stanowić przydatny wskaźnik do kontroli obciążeń treningowych (s. 51) pojawia się informacja, że u badanych o wyższej wydolności fizycznej (łyżwiarki i łyżwiarze szybcy) obserwowano większe obniżenie $\Delta\text{SmO}_2\%$ na poziomie progu beztlenowego niż u studentek i studentów. Pojawia się tu pewna sprzeczność z wynikami. Zgodnie z wynikami (s. 42), także wynikami publikacji 3, jedynie łyżwiarki szybkie wykazały istotnie większe spadki utlenowania mięśni dla progów beztlenowych. Nieprecyzyjnie zastosowano też skrót ΔSmO_2 . Spadek utlenowania oznacza obniżenie SmO_2 , czemu odpowiada zwiększenie, a nie obniżenie ΔSmO_2 . Ta nieprecyzyjność pojawia się w tym samym akapicie dwukrotnie.

Skrót ΔSmO_2 jest używany w rozprawie w dwóch znaczeniach - jako wyrażona w punktach procentowych różnica pomiędzy wartością spoczynkową i wartością minimalną w czasie wysiłku oraz jako różnica pomiędzy wartością spoczynkową i wartością progową. W rozprawie zamiennie stosowany jest skrót $\Delta\text{SmO}_2\%$. W publikacji 1, w Tabeli 2 jest też następująca informacja: ΔSmO_2 - % of baseline; to rodzi pytanie, czy to jest ten sam parametr. Wskazane byłoby uporządkowanie i ujednolicenie oznaczeń skrótów.

Pytanie badawcze 7, odpowiednie wyniki (w tym Rycina 12) oraz Wniosek 10, dotyczą estymacji stężenia mleczanu we krwi z SmO_2 , opierają się o dane niepublikowane. Warto rozważyć uwzględnienie w tekście, że wniosek ten nie przeszedł recenzji naukowej, oraz podanie informacji o planach ich publikacji.

Człon tytułu rozprawy „i osób nietreningujących” opiera się w istocie o jedną pracę (Publikacja 3), bowiem pozostałe dotyczą wyłącznie zawodników. Może podlegać dyskusji, czy tytuł proporcjonalnie odzwierciedla zawartość cyklu.

- Zgodność rozprawy z opublikowanymi artykułami

Publikacja 4 - zamienione wartości ICC. W tekście (s. 45) zgodność ICC = 0,56 przypisano stężeniu mleczanu, a ICC = 0,40 przypisano HR. W pracy opublikowanej jest odwrotnie: ICC = 0,56 (95% CI: -0,24; 0,85) dotyczy HR, a ICC = 0,40 (95% CI: -0,75; 0,80) dotyczy mleczanu. Ponadto, w rozprawie, dolną granicę CI zapisano jako +0,24 zamiast -0,24. Wymaga korekty, gdyż wpływa na interpretację stabilności wskaźników.

Publikacja 2 - odwrócone etykiety WAnT/GXT. Na s. 38 (oraz Rycina 3) wartości spoczynkowe i minimalne SmO_2 opisano jako istotnie wyższe po teście Wingate niż po GXT (WAnT: 64,7%/12,8%; GXT: 60,2%/9,2%). W pracy opublikowanej jest odwrotnie - wartości te były istotnie niższe po WAnT (60,2%/9,2%) niż po GXT (64,7%/12,8%). Liczby są poprawne, lecz przypisanie do testów i kierunek różnicy zamienione.

Publikacja 1 - SD czy SE? Tabela 1 (s. 34) opatrzona jest podpisem „średnia $\pm$ SD”, podczas gdy w oryginale tożsame wartości raportowano jako „Mean $\pm$ SE”. Przy $n = 8$ ma to istotne znaczenie. Wskazane przeliczenie na SD albo korekta podpisu.

Na stronie 3 rozprawy, tytuły publikacji 2 i 3 podano w formach skróconych, niezgodnych z wersjami opublikowanymi (m.in. brak początkowego „Usefulness of portable device to establish...” w publikacji 2 oraz członu „Aerobic Capacity and Recovery Rate...” w publikacji 3). Wskazane jest ujednolicenie z zapisem wydawniczym.

- Uwagi redakcyjne i edytorskie dotyczące rozprawy doktorskiej

Na stronie 26 rozprawy podano liczebność grupy „79 osób (26 kobiet i 56 mężczyzn)”, co daje 82. Poprawnie 53 mężczyzn ($8 + 14 + 16 + 15$) - zgodnie z informacją zawartą w sekcjach metodyki poszczególnych artykułów.

We wzorze na SmO_2 (s. 31) w liczniku powinno być $HbO_2 + MbO_2$, a w mianowniku hemoglobina i mioglobina całkowita; występuje też literówka „moglobina”.

W wykazie skrótów jest „lacid acid” powinno być „lactic acid”; „lactatic threshold” powinno być „lactate threshold”; „graded excercise test” powinno być „... exercise ...”.

Na stronie 22 rozprawy brak nazwiska pierwszego autora przy cytowaniu („...pozostawało stabilne i in., 2022;”).

W Tabeli 5 (s. 38), w przedziale ufności przy $r = 0,03$ brak znaku minus przy dolnej granicy - „(0,35 - 0,41)” powinno być „(-0,35 - 0,41)” (przedział ufności musi obejmować wartość współczynnika). Błąd przeniesiony wiernie z Publikacji 2 (Tabela 4); warto to skorygować w rozprawie dla poprawności zapisu.

Podpis pod Ryciną 9 (s. 45) jest niejednoznaczny. Powinno raczej być: Tempo reoksygenacji utlenowania mięśni (SmO_2) w grupach studentów i studentek oraz łyżwiarzy i łyżwiarek. * - różnica istotna statystycznie ($p < 0,05$) między studentkami i łyżwiarkami.

Zalecam sprawdzenie kompletności piśmiennictwa (zgodność cytowań w tekście z wykazem piśmiennictwa, np. pozycja Xu & Rhodes, 1999 – brak cytowania w tekście rozprawy).

VII. Pytania do Doktorantki

W grupie kobiet czas połowicznego powrotu utlenowania (SmO_2HTR) był praktycznie identyczny u studentek i łyżwiarek (ok. 32 s), podczas gdy tempo reoksygenacji różniło się istotnie (0,76 vs 1,08 %/s). Ponieważ obie miary opisują ten sam proces restytucji, jak wytłumaczyć tę rozbieżność?

U 4 z 15 zawodników (27%) intensywność zadana progiem SmO_2 z normoksji nie pozwoliła spełnić kryterium MLSS w hipoksji. Czy osoby te miały jakieś cechy wspólne (np. poziom wytrenowania, indywidualna wartość SmO_2 na progu), a jeśli tak, to jak wpływa to na praktyczną rekomendację SmO_2 do doboru i kontroli obciążeń na wysokości?

Rozprawa sugeruje, że progowe ΔSmO_2 jest diagnostycznie lepsze od progowego SmO_2 ze względu na duże indywidualne zróżnicowanie wartości spoczynkowych. Ponieważ jednak ΔSmO_2 wyznacza się jako różnicę pomiędzy wartością spoczynkową i minimalną lub progową, jej rozrzut przenosi się na ΔSmO_2 co widać w szerokich odchyleniach progowego ΔSmO_2 . Czy odejmowanie od wartości spoczynkowej rzeczywiście redukuje ten problem? Czy przy takiej zmienności progowe ΔSmO_2 może być wiarygodnym wskaźnikiem do indywidualnego sterowania obciążeniem treningowym?

VIII. Ocena rozprawy doktorskiej

Podjętą tematykę oceniam jako aktualną, o wyraźnym walorze zarówno poznawczym, jak i aplikacyjnym. Wobec znanych ograniczeń tradycyjnych metod kontroli obciążeń treningowych, rozpoznanie realnej przydatności SmO_2 , w tym określenie granic tej przydatności, stanowi zagadnienie istotne dla teorii i praktyki treningu sportowego. Na szczególne podkreślenie zasługuje dobór unikatowego materiału badawczego. Udział elitarnych zawodniczek i zawodników z różnych dyscyplin sprawia, że uzyskane wyniki mogą stanowić cenny punkt odniesienia dla trenerów oraz wartościowy wkład do piśmiennictwa, w którym badania z udziałem elity sportowej są nieliczne. Systematyczne ujęcie problemu dodatkowo wzmacnia spójność i znaczenie podjętego zagadnienia.

IX. Wniosek końcowy

Całościowo recenzowaną rozprawę oceniam wysoko. Zgłoszone uwagi mają charakter porządkujący oraz redakcyjny i nie podważają jej merytorycznej wartości. Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Kingi Rębiś spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668; tekst jednolity dla aktu Dz. U. 2024 poz. 1571). Wnioskuje zatem do Rady Nauk o Kulturze Fizycznej AWF Warszawa o dopuszczenie mgr Kingi Rębiś do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Dr hab. n.

iak, prof. IMDiK PAN