

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Kingi Rębiś pt: *Ocena użyteczności pomiarów utlenowania mięśni do monitorowania odpowiedzi wysiłkowej wysoko wytrenowanych zawodników i osób nietrenujących.*

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska mgr Kingi Rębiś pt. „Ocena użyteczności pomiarów utlenowania mięśni do monitorowania odpowiedzi wysiłkowej wysoko wytrenowanych zawodników i osób nietrenujących”, przygotowana w Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie. Rozprawa została przedstawiona w formie cyklu powiązanych tematycznie, recenzowanych publikacji naukowych, mieszczących się w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej.

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój metod monitorowania reakcji organizmu na wysiłek fizyczny, szczególnie w sporcie wyczynowym, w którym precyzyjna kontrola obciążeń treningowych ma kluczowe znaczenie dla optymalizacji adaptacji, zapobiegania przeciążeniom oraz indywidualizacji procesu treningowego. W tym kontekście technologie nieinwazyjne, umożliwiające bieżącą ocenę lokalnych zmian metabolicznych w pracujących mięśniach, stają się ważnym obszarem badań w fizjologii wysiłku fizycznego i diagnostyce sportowej. Do takich metod należy spektroskopia w bliskiej podczerwieni, czyli NIRS, pozwalająca na ocenę utlenowania mięśni, najczęściej wyrażanego wskaźnikiem SmO_2 .

Tematyka podjęta przez Doktorantkę, dotycząca zastosowania spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIRS) do oceny utlenowania mięśni oraz monitorowania odpowiedzi wysiłkowej u osób o różnym poziomie wytrenowania, jest aktualna i ma szansę wspomóc praktykę treningu sportowego. Dotyczy problemu, który łączy wymiar poznawczy z aplikacyjnym: pozwala lepiej zrozumieć lokalną odpowiedź mięśni na różne rodzaje wysiłków testowych, a zarazem może wspierać trenerów i zawodników w doborze oraz kontroli intensywności treningu. Wartość pracy zwiększa fakt, że badania obejmują zarówno osoby wysoko wytrenowane, w tym zawodników reprezentujących wysoki poziom sportowy, jak i osoby nietrenujące. Taki dobór grup daje możliwość porównania

odpowiedzi wysiłkowej w populacjach różniących się poziomem adaptacji treningowej oraz wpisuje się w aktualne potrzeby diagnostyki wysiłkowej, w której coraz większego znaczenia nabierają metody nieinwazyjne, mobilne i możliwe do zastosowania nie tylko w laboratorium, ale również w praktyce treningowej.

Wybór problematyki badawczej oceniam zatem pozytywnie. Doktorantka podjęła temat ważny zarówno z punktu widzenia badawczo- poznawczego, jak i praktycznego. W sporcie wyczynowym precyzyjne monitorowanie intensywności wysiłku, zmęczenia i adaptacji treningowej ma bezpośrednie znaczenie dla optymalizacji procesu szkolenia. Jednocześnie klasyczne wskaźniki, takie jak częstość skurczów serca, stężenie mleczanu we krwi czy maksymalny pobór tlenu, mają swoje ograniczenia. W tym kontekście próba oceny użyteczności pomiarów SmO_2 jako wskaźnika lokalnej odpowiedzi mięśniowej jest zasadna i poznawczo wartościowa.

Już na wstępie należy podkreślić, że rozprawa nie ma charakteru wyłącznie opisowego. Doktorantka nie ogranicza się do wykazania, że pomiary NIRS są nowoczesnym narzędziem diagnostycznym, lecz podejmuje próbę określenia, w jakich warunkach wskaźniki utlenowania mięśni są przydatne, a w jakich ich wartość diagnostyczna pozostaje ograniczona. Taka konstrukcja problemu badawczego świadczy o dojrzałości naukowej i krytycznym podejściu do analizowanej technologii.

Charakterystyka formalna rozprawy

Rozprawa doktorska została przygotowana w oparciu o cykl czterech publikacji naukowych objętych wspólnym tytułem. Trzy z nich mają charakter monotematyczny, a Doktorantka jest w nich pierwszą autorką. W jednej pracy Doktorantka występuje jako kolejna autorka, jednak publikacja ta tematycznie pozostaje związana z zasadniczym problemem rozprawy.

Cykl publikacji obejmuje następujące 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”, opublikowaną w czasopiśmie *Biology of Sport*. Punkty MNiSW: 100; IF: 4,566.
2. Rębiś K., Sadowska D., Starczewski M., Klusiewicz A. „Differences in muscle oxygenation between the Wingate test and graded exercise test: effect of gender on

anaerobic and aerobic capacity in speed skaters", opublikowaną w *Frontiers in Physiology*. Punkty MNiSW: 100; IF: 2,806.

3. Rębiś K., Klusiewicz A., Długolecka B., Rózański P., Kowieski K., Kowalski T. „Estimation of lactate thresholds for muscle oxygenation in high-trained speed skaters, and healthy, non-training individuals”, opublikowaną w *Journal of Clinical Medicine*. Punkty MNiSW: 140; IF: 2,900.
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”, opublikowaną w czasopiśmie *Sports*. Punkty MNiSW: 20; IF: 2,900.

Przechodząc do oceny treści rozprawy, należy zaznaczyć, że poszczególne publikacje zostały wcześniej poddane recenzji wydawniczej w renomowanych czasopiśmie naukowych. Ocenę rozprawy doktorskiej należy jednak odnieść nie tylko do poziomu poszczególnych artykułów, ale także do spójności całego cyklu, autoreferatu oraz spełnienia wymogów formalnych przewidzianych dla rozpraw opartych na publikacjach.

W dalszej części recenzji oceniam zatem, czy autoreferat oraz całość przedstawionego cyklu są spójne tematycznie, czy rozwiązują oryginalny problem badawczy oraz czy spełniają wymogi ustawowe dotyczące rozpraw doktorskich opartych na cyklu artykułów naukowych.

Zgodnie z art. 187 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce rozprawę doktorską może stanowić zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, opatrzonej autoreferatem. Z taką sytuacją mamy do czynienia w przypadku ocenianej dysertacji. Rozprawa doktorska w formie cyklu publikacji powinna mieć formę zwartej opracowania, do którego dołączone są publikacje wchodzące w jej skład.

Przedstawiony do recenzji Autoreferat, zawiera:

- tytuł, który jest najkrótszym streszczeniem pracy i w pełni oddaje treści zawarte w dysertacji,
- wprowadzenie, w którym autorka przedstawiła problem badawczy, cel badań, obszar badań, metody badawcze oraz listę publikacji włączonych w skład rozprawy doktorskiej, wraz uzasadnieniem spójności serii artykułów. Taki sposób prezentacji umiejętnie

wprowadza w tematykę rozprawy. Dokonując przeglądu literatury Doktorantka starała się wskazać istotne luki badawcze, które uzasadniają podjęcie tematu,

- omówienie wyników badań, stanowiące zwięzłe podsumowanie treści zawartych w cyklu publikacji,
- podsumowywanie w formie listy wniosków o charakterze teoretycznym, poznawczym i aplikacyjnym,
- zestawienie wykorzystanych w opracowaniu pozycji literatury.

Struktura jest zatem prawidłowa.

Do autoreferatu załączono wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej wraz z właściwym opisem bibliograficznym. Jest to zbiór artykułów naukowych powiązanych tematycznie i podporządkowanych wspólnemu problemowi badawczemu. Przy każdej publikacji podano punktację ministerialną oraz współczynnik wpływu (IF).

W świetle wskazanych przepisów oraz charakteru przedstawionych publikacji można stwierdzić, że wymogi formalne zostały spełnione. Prace składające się na cykl mają charakter recenzowanych artykułów naukowych, zostały opublikowane w międzynarodowych czasopismach, są opatrzone właściwym aparatem naukowym i dotyczą spójnego problemu badawczego. Wszystkie publikacje ukazały się w czasopismach indeksowanych oraz posiadających współczynnik wpływu (IF).

Publikacje wykorzystane w dysertacji są spójne tematycznie i wnoszą istotny wkład w rozwój nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w szczególności w obszarze fizjologii wysiłku fizycznego oraz diagnostyki sportowej. Całość cyklu została poprzedzona syntetycznym wprowadzeniem, prezentującym założenia teoretyczne, cele badań oraz ich znaczenie w kontekście aktualnego stanu wiedzy, a także zakończona wnioskami integrującymi uzyskane rezultaty.

Dodatkowo, zgodnie z wymogami, załączono streszczenia w języku polskim i angielskim. Ponieważ artykuły naukowe wykorzystane w rozprawie doktorskiej mają więcej niż jednego autora, dołączono zestawienie określające wkład merytoryczny współautorów w powstanie publikacji. Wykazany wkład Doktorantki w poszczególne publikacje jest znaczący. Jak wskazano wcześniej, w trzech publikacjach Doktorantka jest pierwszą autorką; w publikacji wymienionej jako pierwsza w wykazie występuje jako druga autorka, jednak jej udział obejmuje istotne elementy procesu badawczego. Szczególnie wysoko należy ocenić jej zaangażowanie w gromadzenie danych, analizę i

interpretację wyników oraz przygotowanie tekstów publikacji. Wskazuje to, że przedłożony cykl nie jest jedynie zbiorem współautorskich prac, ale stanowi rzeczywisty dorobek naukowy Doktorantki.

Rozprawa została przygotowana również zgodnie z obowiązującymi wymogami formalnymi określonymi w przepisach dotyczących nadawania stopnia doktora. Układ treści jest logiczny i przejrzysty, a dobór publikacji uzasadniony tematycznie i metodologicznie. Poszczególne prace składające się na cykl są powiązane wspólną ideą badawczą i konsekwentnie realizują przyjęty kierunek analiz. Autorka zachowała spójność metodologiczną, a konstrukcja rozprawy umożliwia śledzenie procesu badawczego od poziomu teoretycznych założeń po interpretację wyników. Praca jest poprawna pod względem językowym i redakcyjnym, napisana w sposób komunikatywny i rzeczowy.

Pod względem formalnym cykl spełnia zatem kryterium spójności tematycznej. Wszystkie prace dotyczą wykorzystania pomiarów utlenowania mięśni w ocenie odpowiedzi wysiłkowej. Różnią się natomiast populacją badanych, typem wysiłku oraz kontekstem aplikacyjnym. Jest to rozwiązanie korzystne, ponieważ umożliwia ocenę technologii NIRS w kilku odmiennych warunkach fizjologicznych: wysiłku submaksymalnym, maksymalnym, supramaksymalnym oraz w warunkach normoksji i hipoksji normobarycznej.

Ocena wyboru tematu i uzasadnienia badań

Temat rozprawy jest aktualny, dobrze uzasadniony i osadzony w aktualnych kierunkach rozwoju fizjologii wysiłku fizycznego oraz diagnostyki sportowej. W ostatnich latach obserwuje się szybki rozwój mobilnych narzędzi pomiarowych, które mogą wspierać praktykę treningową poprzez dostarczanie informacji w czasie rzeczywistym. Technologia NIRS należy do tej grupy metod, jednak jej praktyczna użyteczność wymaga weryfikacji w konkretnych warunkach wysiłkowych, populacjach i dyscyplinach sportu. Doktorantka trafnie wskazuje, że klasyczne wskaźniki monitorowania wysiłku, takie jak HR, LA czy $\dot{V}O_{2max}$, mimo dużej wartości diagnostycznej nie zawsze są wystarczające. HR jest podatne na wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych, pobór tlenu wymaga kosztownej aparatury i warunków laboratoryjnych, natomiast pomiar mleczanu wymaga pobierania krwi. W tym kontekście poszukiwanie metod nieinwazyjnych, łatwiejszych do zastosowania w praktyce treningowej, jest w pełni uzasadnione.

Istotnym elementem rozprawy jest także to, że Doktorantka nie traktuje technologii NIRS bezkrytycznie. Już w założeniach pracy pojawia się pytanie nie tylko o możliwość zastosowania pomiarów SmO_2 , lecz także o ich ograniczenia. Takie podejście jest szczególnie ważne, ponieważ w praktyce sportowej nowe technologie bywają szybko wdrażane, zanim zostaną wystarczająco zweryfikowane naukowo. Rozprawa mgr Kingi Rębiś wpisuje się więc w potrzebę krytycznej walidacji narzędzi diagnostycznych stosowanych w sporcie.

Ocena celu pracy i pytań badawczych

Cel główny rozprawy został sformułowany jako ocena użyteczności pomiarów utlenowania mięśni do określania fizjologicznej odpowiedzi organizmu wysoko wytrenowanych zawodników i osób nietrenujących na wysiłki testowe. Cel ten jest poprawny, logiczny i zgodny z treścią cyklu publikacji.

Na pozytywną ocenę zasługuje rozbieżność celu głównego na szczegółowe pytania badawcze. Pytania te obejmują kilka istotnych aspektów: użyteczność SmO_2 i THb w wysiłkach submaksymalnych, zależności między SmO_2 a wynikami testu Wingate, różnice w deoksygenacji i reoksygenacji mięśni w zależności od płci i poziomu wytrenowania, relacje SmO_2 z innymi wskaźnikami wysiłkowymi, przydatność progowych wartości SmO_2 oraz możliwość przenoszenia intensywności wysiłku z warunków normoksji do hipoksji.

Tak szerokie ujęcie problemu jest zaletą pracy, ponieważ pozwala na wielostronną ocenę użyteczności pomiarów NIRS. Jednocześnie stanowi również pewne ograniczenie, ponieważ poszczególne publikacje różnią się charakterem badanych grup, rodzajem testów i szczegółowymi procedurami. W efekcie rozprawa ma charakter wielowątkowy, a jej spójność wymagała od Doktorantki starannego połączenia wyników w jedną koncepcję. Zadanie to zostało wykonane poprawnie, choć miejscami synteza wyników mogłaby być bardziej pogłębiona i bardziej jednoznacznie podporządkowana centralnej tezie pracy.

Ocena materiału badawczego

Badaniami objęto osoby o zróżnicowanym poziomie wytrenowania, w tym wysoko wytrenowanych zawodników reprezentujących różne dyscypliny sportowe oraz osoby nietrenujące. Szczególnie istotnym walorem rozprawy jest udział zawodników wysokiego poziomu sportowego, w tym przedstawicieli kadr narodowych. Dostęp do tego typu grup badawczych jest w naukach o sporcie ograniczony, dlatego należy ten fakt uznać za wartościową stronę pracy.

W badaniach uczestniczyli zawodnicy dyscyplin wytrzymałościowych i szybkościowych, między innymi wioślarze, łyżwiarze szybcy, zawodnicy short tracku oraz narciarze wysokogórscy. Tak dobrany materiał umożliwił ocenę pomiarów SmO_2 w różnych kontekstach wysiłkowych. Jest to niewątpliwie wartościowe z punktu widzenia aplikacyjnego.

Z drugiej strony, zróżnicowanie grup badanych stanowi również istotne ograniczenie interpretacyjne. Badani reprezentowali różne dyscypliny, wykonywali różne testy, a pomiary były realizowane w odmiennych warunkach. Powoduje to, że wyniki należy interpretować ostrożnie. Nie wszystkie obserwacje można bezpośrednio uogólniać na ogół sportowców, a tym bardziej na ogół osób aktywnych fizycznie. Doktorantka jest tego w dużej mierze świadoma, jednak w rozprawie warto byłoby jeszcze mocniej podkreślić, że uzyskane wyniki mają przede wszystkim znaczenie dla określonych populacji i określonych warunków testowych.

Zauważyć należy także drobną, ale istotną niekonsekwencję redakcyjną dotyczącą liczby badanych. W streszczeniu podano łącznie 79 osób, w tym 26 kobiet i 53 mężczyzn, natomiast w części metodycznej pojawia się informacja o 79 osobach, w tym 26 kobietach i 56 mężczyznach. Tego rodzaju rozbieżność wymaga korekty, ponieważ dotyczy podstawowej charakterystyki materiału badawczego. Nie wpływa ona na zasadniczą wartość naukową rozprawy, ale powinna zostać jednoznacznie wyjaśniona.

Ocena metod badawczych

Zastosowane metody badawcze są adekwatne do założonych celów. W rozprawie wykorzystano testy o różnym charakterze fizjologicznym: wysiłki submaksymalne odpowiadające stanowi maksymalnej równowagi mleczanowej, testy maksymalne o stopniowanej intensywności oraz supramaksymalny test Wingate. Taki dobór procedur pozwolił na ocenę SmO_2 w szerokim zakresie obciążeń wysiłkowych.

Na pozytywną ocenę zasługuje jednocześnie wykorzystanie kilku wskaźników fizjologicznych: SmO_2 , THb, HR, LA oraz pomiarów wymiany gazowej. Dzięki temu Doktorantka mogła odnieść lokalną odpowiedź mięśniową do wskaźników ogólnoustrojowych. Jest to szczególnie ważne, ponieważ jednym z kluczowych zagadnień pracy jest ustalenie, czy lokalne pomiary utlenowania mięśni mogą zastępować lub uzupełniać klasyczne metody kontroli wysiłku.

Pomiary SmO_2 wykonywano przy użyciu urządzeń Moxy, umieszczanych na mięśniu obszernym bocznym. Opis procedury lokalizacji i stabilizacji urządzenia jest zasadniczo poprawny. Doktorantka uwzględniła również znaczenie tkanki tłuszczowej podskórnej, co w badaniach NIRS ma istotne znaczenie metodologiczne. Pewne zastrzeżenie budzi jednak fakt, że pomiar grubości fałdu skórno-tłuszczowego wykonano u studentów, ale nie wykonano go u łóżniarzy szybkich, uzasadniając to prawidłowym zakresem BMI. BMI nie jest jednak bezpośrednią miarą lokalnej grubości tkanki tłuszczowej w miejscu pomiaru NIRS. Z punktu widzenia metodologicznego bardziej spójne byłoby wykonanie takiego pomiaru u wszystkich badanych grup.

Kolejną kwestią wymagającą komentarza jest lokalny charakter pomiaru NIRS. SmO_2 oceniano w jednym miejscu, na mięśniu obszernym bocznym. Jest to rozwiązanie standardowe i uzasadnione w testach na cykloergometrze oraz w wielu aktywnościach angażujących kończyny dolne. Należy jednak pamiętać, że wynik SmO_2 odzwierciedla odpowiedź lokalną, a nie całościową odpowiedź organizmu. Doktorantka dostrzega ten problem w dyskusji, jednak w części syntetycznej rozprawy można było jeszcze wyraźniej zaakcentować, że lokalizacja monitora NIRS może istotnie wpływać na interpretację wyników, zwłaszcza w dyscyplinach o złożonej strukturze ruchu.

Pozytywnie oceniam natomiast dobór analiz statystycznych. Wykorzystano testy normalności rozkładu, analizę wariancji dla powtarzanych pomiarów, testy parametryczne i nieparametryczne, analizę korelacji oraz współczynniki efektu. Dobór metod jest zasadniczo adekwatny do charakteru danych i pytań badawczych. Wartością dodaną jest wykorzystanie analiz zgodności, szczególnie w publikacji dotyczącej przenoszenia intensywności wysiłku z normoksji do hipoksji. Tego typu analiza jest bardziej informacyjna niż samo porównanie średnich.

Ocena wyników badań

Wyniki badań przedstawione w rozprawie są wartościowe i mają znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne. W pierwszej publikacji wykazano, że pomiary SmO_2 mogą być przydatne w ocenie odpowiedzi wysiłkowej podczas wysiłków o stałej intensywności, odpowiadających intensywnemu treningowi tlenowemu. U elity wioślarzy zaobserwowano charakterystyczne zmiany SmO_2 podczas testu MLSS, co wskazuje na możliwość wykorzystania tej metody do kontroli obciążeń treningowych. Jednocześnie wykazano ograniczoną wartość diagnostyczną THb w tym kontekście. Jest to istotny

wynik, ponieważ pozwala rozróżnić wskaźniki NIRS o większej i mniejszej przydatności praktycznej.

W drugiej publikacji, dotyczącej łyżwiarek i łyżwiarzy szybkich, uzyskano ważne wyniki wskazujące na niewielką przydatność pomiarów SmO_2 w ocenie wydolności beztlenowej mierzonej testem Wingate. Brak istotnych korelacji między wskaźnikami utlenowania mięśni a mocą maksymalną czy pracą w teście Wingate jest ważnym, choć z punktu widzenia entuzjastów technologii NIRS być może mniej spektakularnym wynikiem. Należy jednak podkreślić, że właśnie takie rezultaty zwiększają wiarygodność rozprawy, ponieważ pokazują, że Doktorantka nie interpretuje technologii NIRS w sposób jednostronny.

Istotną wartość ma również wykazanie braku różnic międzypłciowych w zakresie deoksygenacji i tempa reoksygenacji mięśni w badanych testach. Wprawdzie mężczyźni uzyskiwali wyższe wartości wskaźników wydolnościowych, jednak nie przekładało się to na istotne różnice w analizowanych parametrach SmO_2 . Jest to wynik interesujący i wart dalszych badań, szczególnie w większych grupach i przy uwzględnieniu dodatkowych czynników, takich jak skład ciała, masa hemoglobiny, kapilaryzacja mięśni czy profil włókien mięśniowych.

W trzeciej publikacji szczególnie wartościowa jest próba wyznaczenia wartości SmO_2 odpowiadających progom mleczanowym. Wyniki wskazują, że progowe wartości SmO_2 mogą być pomocne w kontroli obciążeń treningowych, choć nie należy ich traktować jako prostego zamiennika pomiaru mleczanu. Bardzo cenne jest rozróżnienie między wartościami bezwzględnymi SmO_2 a zmianą wyrażoną jako ΔSmO_2 . Doktorantka trafnie wskazuje, że ze względu na indywidualne zróżnicowanie wartości spoczynkowych większą wartość interpretacyjną może mieć analiza zmiany względem wartości wyjściowych.

Czwarta publikacja, dotycząca narciarzy wysokogórskich i przenoszenia intensywności wysiłku z normoksji do hipoksji normobarycznej, ma wyraźny walor nowatorski i praktyczny. Wykazanie, że u większości zawodników możliwe było utrzymanie warunków zbliżonych do MLSS w hipoksji przy kontroli intensywności opartej na SmO_2 , stanowi interesujący wkład w dyskusję nad monitorowaniem treningu wysokościowego. Należy jednak podkreślić eksploracyjny charakter tej części badań.

Wyniki są obiecujące, ale wymagają potwierdzenia w większych grupach oraz w warunkach naturalnej hipoksji hipobarycznej.

Na uwagę zasługuje również część dotycząca danych niepublikowanych, w której oceniono możliwość szacowania stężenia mleczanu we krwi na podstawie pomiarów SmO_2 . Wykazanie ograniczonej dokładności takiego szacowania ma duże znaczenie praktyczne. Wynik ten chroni przed nadmiernie uproszczoną interpretacją pomiarów NIRS i wskazuje, że SmO_2 może być użytecznym wskaźnikiem wspomagającym kontrolę treningu, ale nie powinno być traktowane jako bezpośredni zamiennik oznaczeń mleczanu.

Ocena dyskusji

Dyskusja została przygotowana poprawnie i świadczy o dobrej orientacji Doktorantki w literaturze przedmiotu. Autorka odnosi uzyskane wyniki do badań innych autorów, wskazuje na zgodności i rozbieżności oraz próbuje wyjaśnić mechanizmy obserwowanych zmian. Na pozytywną ocenę zasługuje szczególnie to, że w dyskusji nie pominięto wyników niejednoznacznych ani ograniczających praktyczne zastosowanie NIRS.

Znaczącą wartością dyskusji jest krytyczne odniesienie do lokalnego charakteru pomiaru SmO_2 i odróżnienie go od wskaźników ogólnoustrojowych, takich jak VO_{2max} czy HR. Autorka trafnie wskazuje, że brak prostych zależności między SmO_2 a VO_{2max} nie oznacza braku wartości pomiarów NIRS, lecz podkreśla ich odmienny charakter fizjologiczny.

Pewnym ograniczeniem dyskusji jest to, że miejscami ma ona charakter podsumowania wyników poszczególnych publikacji, a mniej pogłębionej syntezy całego cyklu. W rozprawach opartych na publikacjach szczególnie ważne jest, aby autoreferat nie był jedynie streszczeniem artykułów, ale tworzył nadrzędną, spójną interpretację. W recenzowanej pracy ten warunek jest zasadniczo spełniony, jednak niektóre fragmenty można byłoby rozwinąć w kierunku bardziej syntetycznego modelu użyteczności NIRS: kiedy metoda jest przydatna, kiedy pomocnicza, a kiedy diagnostycznie niewystarczająca.

Ocena wniosków

Wnioski odpowiadają uzyskanym wynikom i są sformułowane w sposób ostrożny. Jest to ważna zaleta rozprawy. Doktorantka nie przecenia możliwości technologii NIRS, lecz wskazuje jej konkretne zastosowania i ograniczenia.

Za najważniejsze ustalenia rozprawy uznaje następujące:

1. Pomiary SmO_2 są użyteczne w ocenie odpowiedzi wysiłkowej na wysiłki o stałej intensywności, szczególnie w kontekście kontroli intensywnego treningu tlenowego.
2. THb ma ograniczoną wartość diagnostyczną w ocenie odpowiedzi organizmu w teście MLSS.
3. Pomiary deoksygenacji mięśni mają niewielką przydatność w ocenie wydolności beztlenowej mierzonej testem Wingate.
4. Wysiłkowe wskaźniki SmO_2 nie są bezpośrednim odpowiednikiem klasycznych wskaźników ogólnoustrojowych, takich jak VO_{2max} czy maksymalna moc tlenowa.
5. Wyznaczanie SmO_2 dla progów mleczanowych może być pomocne w kontroli obciążeń treningowych, ale wymaga ostrożnej interpretacji.
6. SmO_2 może być potencjalnie użytecznym wskaźnikiem w monitorowaniu intensywności wysiłku w warunkach hipoksji normobarycznej.
7. Na obecnym etapie technologicznym SmO_2 nie pozwala na dokładne szacowanie stężenia mleczanu we krwi.

Wnioski są spójne z materiałem badawczym i nie wykraczają nadmiernie poza uzyskane wyniki. Szczególnie pozytywnie oceniam wniosek dotyczący ograniczonej wartości SmO_2 w szacowaniu mleczanu, ponieważ ma on duże znaczenie praktyczne i przeciwdziała nadmiernej komercyjnej interpretacji urządzeń NIRS jako prostego zamiennika pomiarów biochemicznych.

Uwagi krytyczne

Ponieważ recenzja ma pełnić funkcję nie tylko oceniającą, ale również dydaktyczną należy wskazywać błędy oraz nieścisłości, które zawsze można poprawić dla podniesienia jakości dzieła. Pomimo wysokiej wartości naukowej i poprawności metodologicznej rozprawy, należy wskazać kilka uwag krytycznych, których uwzględnienie mogłoby dodatkowo podnieść jakość prowadzonych analiz i wzmocnić spójność całego cyklu publikacji.

Po pierwsze, rozprawa opiera się na badaniach prowadzonych w zróżnicowanych grupach sportowców i osób nietrenujących, przy użyciu różnych protokołów wysiłkowych. Z jednej strony zwiększa to wartość aplikacyjną pracy, z drugiej jednak utrudnia bezpośrednie porównywanie wyników i formułowanie uogólnionych wniosków. W

autoreferacie warto byłoby jeszcze wyraźniej uzasadnić, dlaczego właśnie te grupy i te protokoły razem tworzą spójny program badawczy, oraz zaakcentować, że wyniki odnoszą się do określonych warunków pomiarowych, dyscyplin sportu i lokalizacji czujnika NIRS. Po drugie, w pracy występuje wspomniana wcześniej niekonsekwencja dotycząca liczności badanych mężczyzn. W streszczeniu wskazano 53 mężczyzn, natomiast w części metodycznej 56 mężczyzn przy tej samej liczbie całkowitej 79 osób. Jest to błąd wymagający korekty, ponieważ dotyczy podstawowych danych opisujących materiał badawczy.

Po trzecie, nie w pełni jednolicie potraktowano kwestię kontroli grubości tkanki tłuszczowej w miejscu pomiaru NIRS. Wpływ tkanki tłuszczowej na sygnał NIRS jest dobrze znany, a BMI nie jest bezpośrednią miarą lokalnej grubości tkanki podskórnej. Z metodologicznego punktu widzenia korzystniejsze byłoby wykonanie takiego pomiaru u wszystkich grup badanych.

Po czwarte, w rozprawie można było szerzej omówić konsekwencje lokalnego charakteru pomiaru SmO_2 . W przypadku sportów takich jak wioślarstwo, łyżwiarstwo szybkie czy narciarstwo wysokogórskie odpowiedź wysiłkowa jest wynikiem pracy wielu grup mięśniowych, a pomiar z mięśnia obseznego bocznego nie zawsze musi odzwierciedlać całościowe obciążenie układu mięśniowego. Z tego względu SmO_2 należy ostrożnie odnosić do ogólnoustrojowej odpowiedzi wysiłkowej.

Po piąte, w części dotyczącej hipoksji normobarycznej należy zachować ostrożność w formułowaniu wniosków praktycznych. Badanie ma charakter eksploracyjny, a warunki normobaryczne nie są tożsame z naturalną hipoksją hipobaryczną. Z tego względu wyniki są bardzo interesujące, ale powinny być traktowane jako punkt wyjścia do dalszych badań, a nie jako ostateczne rozstrzygnięcie dotyczące monitorowania treningu wysokościowego.

Po szóste, część integrująca wyniki cyklu mogłaby być bardziej analityczna. W pracy doktorskiej opartej na publikacjach szczególnie ważne jest wykazanie, jaki nowy problem naukowy został rozwiązany przez cały cykl, a nie tylko jakie wyniki uzyskano w poszczególnych artykułach. Wartościowe byłoby także syntetyczne przedstawienie praktycznego modelu wykorzystania SmO_2 w treningu, wskazującego, kiedy metoda ma największą wartość diagnostyczną, kiedy pełni funkcję pomocniczą, a kiedy jej zastosowanie jest ograniczone.

Po siódme, liczebności grup w poszczególnych częściach cyklu są ograniczone. Jest to częściowo zrozumiałe, ponieważ badania prowadzone na zawodnikach klasy mistrzowskiej lub reprezentantach kraju z natury rzeczy obejmują niewielkie próby. Nie zmienia to jednak faktu, że mała liczebność grup ogranicza moc statystyczną analiz oraz zakres generalizacji wyników. Wnioski powinny być zatem formułowane jako obiecujące i wymagające potwierdzenia, a nie jako jednoznaczne rozstrzygnięcia aplikacyjne.

Po ósme, informacje dotyczące kwestii etycznych są w rozprawie obecne, jednak w autoreferacie mogłyby zostać wyeksponowane w bardziej syntetyczny sposób w jednym miejscu. Dotyczy to zgody właściwej komisji etycznej, świadomej zgody uczestników, sposobu informowania badanych o procedurach, dobrowolności udziału, bezpieczeństwa prób maksymalnych i supramaksymalnych oraz ochrony danych.

Powyższe uwagi mają charakter krytyczny, ale nie podważają wartości naukowej rozprawy. W większości dotyczą one zakresu interpretacji, spójności prezentacji i możliwości dalszego rozwijania problematyki, a nie zasadniczych błędów koncepcyjnych czy metodologicznych.

Pytania do Doktorantki

Podczas publicznej obrony proszę Doktorantkę o odniesienie się do następujących zagadnień:

1. Czy zdaniem Doktorantki SmO_2 powinno być traktowane w praktyce treningowej jako wskaźnik samodzielny, czy raczej jako wskaźnik uzupełniający wobec HR, LA i VO_2 ?
2. W których typach wysiłku pomiary SmO_2 mają największą wartość praktyczną, a w których ich zastosowanie jest najmniej uzasadnione?
3. Jak duże znaczenie dla interpretacji wyników NIRS ma lokalizacja monitora na jednym mięśniu, zwłaszcza w dyscyplinach angażujących wiele grup mięśniowych?
1. Czy w przyszłości możliwe będzie opracowanie wiarygodnych progów treningowych opartych wyłącznie na SmO_2 , czy raczej konieczne będzie ich indywidualne kalibrowanie względem progów mleczanowych lub wentylacyjnych?
2. Jak Doktorantka interpretuje ograniczoną przydatność SmO_2 w szacowaniu stężenia mleczanu we krwi? Czy jest to ograniczenie samej technologii, lokalnego charakteru pomiaru, czy raczej złożoności metabolizmu wysiłkowego?

Podsumowanie

Rozprawa doktorska mgr Kingi Rębiś stanowi wartościowe opracowanie naukowe poświęcone aktualnemu i ważnemu problemowi wykorzystania nieinwazyjnych pomiarów utlenowania mięśni w diagnostyce wysiłkowej i kontroli treningu sportowego. Praca ma wyraźny walor poznawczy i aplikacyjny. Jej mocnymi stronami są: aktualność tematu, publikacyjny charakter rozprawy, udział wysoko wytrenowanych zawodników, wykorzystanie różnych typów testów wysiłkowych, połączenie pomiarów lokalnych i ogólnoustrojowych oraz krytyczna interpretacja możliwości i ograniczeń technologii NIRS. Doktorantka wykazała się umiejętnością planowania i realizacji badań naukowych, analizowania danych fizjologicznych, interpretacji wyników oraz publikowania ich w recenzowanych czasopismach naukowych. Przedłożony cykl publikacji potwierdza jej kompetencje badawcze i zdolność do efektywnego prowadzenia pracy naukowej.

Wskazane w recenzji uwagi krytyczne nie obniżają zasadniczej wartości rozprawy. Dotyczą głównie potrzeby ostrożniejszej interpretacji wyników, doprecyzowania wybranych kwestii metodologicznych oraz usunięcia drobnych niekonsekwencji redakcyjnych. Nie mają one charakteru dyskwalifikującego i nie podważają głównego osiągnięcia naukowego Doktorantki.

Konkluzja końcowa

Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty recenzowanej dysertacji, stwierdzam, że została ona przygotowana sumiennie i przejrzysto w przyjętym zakresie tematycznym oraz odpowiada wymaganiom określonym w art. 187 ust. 1–3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.).
Spełnia tym samym wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

Wnoszę zatem do Rady Nauk o Kulturze Fizycznej, Akademii Wychowania Fizycznego w Warszawie o dopuszczenie Pani mgr Kingi Rębiś do dalszych etapów przewodu doktorskiego.
