

Dr hab. Magdalena Sobieska  
Zakład Fizjoterapii,  
Katedra Rehabilitacji i Fizjoterapii  
Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego  
w Poznaniu

Poznań, dnia 17 maja. 2023 roku

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Jurasza,  
pt.: „Ocena rozwoju zmęczenia mięśniowego i czynność elektryczna mięśni  
szkieletowych rejestrowana metodą elektromiografii powierzchniowej (SEMG) u osób  
uprawiających różne dyscypliny sportu”**

W związku z powołaniem mnie przez Radę Naukową (Uchwała numer 312/X/2022) na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Jurasza przedkładam Radzie Naukowej Akademii Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu niniejszą recenzję.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest podsumowaniem dwóch publikacji, których Doktorant jest pierwszym autorem. Pierwsza przedstawiona publikacja to „Neuromuscular Fatigue Responses of Endurance- and Strength-Trained Athletes during Incremental Cycling Exercise”, opublikowana w Int. J. Environmental Health, druga to: „Acute Cardiorespiratory and Metabolic Responses to Incremental Cycling Exercise in Endurance- and Strength-Trained Athletes”, opublikowana w Biology, obie publikacje ukazały się w pierwszej połowie 2022 roku. Publikacje dotyczą możliwości oceny wysiłku fizycznego podczas jazdy na cykloergometrze z narastającym obciążeniem, za pomocą oceny elektromiograficznej, biochemicznej i subiektywnej, u osób trenujących regularnie dwie różne dyscypliny sportowe i u osób ćwiczących rekreacyjnie (amatorów). Założeniem przedstawionego opracowania, które uzasadnia przedłożenie tych dwóch publikacji jako cyklu, stanowiącego rozprawę doktorską jest zatem zestawienie wyników badań z dwóch obszarów, które na różne sposoby opisują ten sam proces narastającego zmęczenia mięśni, poddanych testowi wysiłkowemu. Należy uznać, że to założenie pracy jest ciekawe i istotne z punktu widzenia planowania treningu, co do jego rodzaju, stosowanych obciążeń i efektów metabolicznych.

Obie publikacje przedstawiają wyniki badań, wykonanych u tej samej grupy, domyślnie w trakcie tego samego eksperymentu, choć prace nie odwołują się do siebie nawzajem. Nieco innego skrót dla grupy kontrolnej używa Autor w obu publikacjach i w opracowaniu, niemniej dane demograficzne są tożsame, wydaje się zatem, że jest to ta sama grupa i ten sam eksperyment. Chronologicznie pierwsza ukazała się publikacja dotycząca badania parametrów biochemicznych, opisujących odpowiedź metaboliczną na wysiłek fizyczny, taką kolejność podaje też tytuł przedstawionej rozprawy, ale Autor zdecydował się przedstawić publikacje w odwrotnej kolejności. Nie uzasadnia tej decyzji w opracowaniu.

W recenzji odniosę się najpierw do publikacji, które Doktorant przedstawia jako cykl, a następnie do samego podsumowania.

Publikacja pierwsza opisuje zastosowanie powierzchniowej elektromiografii do oceny obciążenia wysiłkiem podczas testu wysiłkowego na cykloergometrze. W części wstępnej podano, że założeniem pracy jest porównanie narastającego zmęczenia mięśni, mierzonego parametrami sEMG i subiektywnego zmęczenia, mierzonego na skali RPE. Takiego porównania, dokonanego metodami matematycznymi (statystycznymi) jednak w publikacji nie ma. Brak go również w przedłożonym opracowaniu, podsumowujących wyniki obu publikacji, chociaż to zagadnienie jest istotą przedłożonej rozprawy.

Zmienne MF – median frequency, mediany częstotliwości (albo, jak czasem się podaje: częstotliwości medialnej) i MPF – mean power frequency, częstotliwości średniej (a który to skrót Autor przytacza jako średnią moc częstotliwości) są miarą narastającej siły mięśnia podczas rosnącego obciążenia pracą, a w pewnym momencie stają się miernikami jego zmęczenia, kiedy mimo wzrostu obciążenia siła dalej nie rośnie.

Trudno dyskutować z wynikami opublikowanej, recenzowanej pracy, chciałabym jednak zwrócić uwagę na pewną kwestię. Wyniki są przedstawione w postaci wykresów surowych danych. Nie ma zestawienia, jakie zmiany w stosunku do pierwszego pomiaru (liczbowe bądź procentowe) dokonały się w każdej z analizowanych podgrup, a wydaje się, że to ułatwiłoby analizę wyników. Podano wyniki statystyczne, wskazujące każdorazowo na znamienność porównań międzygrupowych i między poziomami obciążenia. Ogólnie na podstawie literatury, przy pomiarze zmęczenia mięśnia (mięśni) można by się spodziewać spadku parametrów mediany częstotliwości (MF) i średniej częstotliwości (MPF), a wzrostu amplitudy (AEMG). Można też oczekiwać narastania oceny odczuwanego zmęczenia (rating of perceived exertion, RPE), mierzonego skalą Borga. Potwierdziły się tylko te dwie dalsze prawidłowości. Autorzy tłumaczą rozbieżność charakterystyką mięśnia, z którego zbierano dane, jednak nie dokonali jego dogłębnej analizy, dostępnej przecież metodą elektromiografii.

Nie ma zatem podstaw do wyciągania wniosku, co było przyczyną obserwowanych rozbieżności. Ponadto, obie zmienne, których wyniki są zgodne z danymi literaturowymi, zachowują się w sposób, jakiego można by oczekiwać przy porównaniach międzygrupowych. Nie dla każdego poziomu obciążenia różnice pomiędzy grupami były znamienne statystycznie, ale ogólna tendencja jest podobna: obie grupy trenujące wypadają lepiej niż trenujący rekreacyjnie, a grupa wytrzymałościowa lepiej niż siłowa. Przyrost AEMG wyniósł aż 70 mV w grupie odniesienia, i około 30 mV w obu grupach wytrenowanych. Największe różnice pokazało badanie oceny subiektywnego obciążenia wysiłkiem (rating of perceived exertion, RPE), i warto odnotować, na ile da się to odczytać z wykresu, że wartości przeciętne w grupie trenującej wytrzymałościowo wynosiły niewiele ponad minimum skali (od sześciu do dziewięciu w ostatnim badaniu), podczas gdy dla trenujących rekreacyjnie zmieniły się od 13 do 19, czyli niemal do maksimum na skali. W związku z tym dane wynikające z mierzonych parametrów nie są zbieżne: albo należy uznać (na podstawie pierwszych dwóch parametrów), że zmęczenie pojawia się dopiero przy obciążeniu 200 watów, albo – w oparciu o AEMG i RPE – narasta od początku.

W opracowaniu Autor przytacza liczne publikacje wskazujące spadek zmiennych MF i MPF jako wykładników postępującego zmęczenia mięśni, w tym mięśni uda i ściśle mięśnia prostego uda. Opisuje także, że w publikacji własnej opartej na badaniach EMG ta prawidłowość się potwierdziła, co nie do końca zgadza się z wynikami opisanymi w pracy. Widoczne jest narastanie obu parametrów aż do obciążenia 150 watów (co można uznać za narastanie siły mięśnia, potrzebnej do wykonania pracy pod rosnącym obciążeniem) i niewielki spadek dopiero przy obciążeniu 200 watów, i to nie dla wszystkich grup badanych. Dane te nie zgadzają się w żaden sposób z ich interpretacją podaną w opracowaniu (str. 26, pierwszy akapit). Największego zmęczenia można by oczekiwać w grupie trenujących rekreacyjnie, i to dla nich widać największe narastanie wartości MF i MPF, co stoi w sprzeczności z danymi z literatury. Opracowanie nie podejmuje kwestii, dlaczego uzyskano wyniki inne od spodziewanych, i czy retrospektywna analiza danych pozwoliłaby wskazać na powody takiej rozbieżności.

W drugiej publikacji uzyskano wyniki zgodne z przewidzianymi, już opisywanymi w literaturze: trening wytrzymałościowy lepiej dostosowuje układ krążeniowo – oddechowy do narastającego wysiłku niż trening siłowy. W gruncie rzeczy kierunek zmian jest podobny we wszystkich analizowanych podgrupach, ale w sposób jednoznaczny najlepiej wytrenowaną grupą są zawodnicy dyscypliny wytrzymałościowej, z wyraźnie odstającymi w niektórych parametrach badanymi trenującymi tylko rekreacyjnie. Zostało to szczegółowo omówione w

opracowaniu i nie budzi zastrzeżeń. Zamierzona, znamienna różnica pomiędzy różnymi rodzajami regularnego treningu sportowego ujawniła się dla dwóch badanych parametrów: stężenia mleczanów ( $Bla^-$ ) i wskaźnika wymiany oddechowej (RER). Autor poprawnie wyciąga wniosek, że te dwa parametry najlepiej opisują adaptację do wysiłku u zawodników trenujących wytrzymałościowo.

Pozostaje pewien niedosyt co do retrospektywnego opisu samego eksperymentu – dlaczego ostatecznie nie udało się wykazać większych różnic. Mogło to wynikać i ze sposobu rekrutacji do grup badanych, i zgadzam się, że czas pandemii to zadanie utrudnił; a także z doboru samego testu wysiłkowego, do którego zawodnicy trenujący triathlon mogli być lepiej zaadaptowani – ale z kolei wtedy można by się spodziewać większych różnic, być może również z decyzji o prowadzeniu eksperymentu przez zaplanowany czas, a nie do momentu odmowy czy zastosowania innych (większych) obciążeń. Niektóre elementy takiej retrospektywnej refleksji nad wynikami z obu publikacji pojawiają się w opracowaniu, ale nie są doprowadzone do końca.

Pobranie krwi do badań biochemicznych inaczej opisano w publikacji nr 2 (cewnik w żyłę główną, pobierana krew żylna) i w opracowaniu – pierwsza próbka z cewnika – krew żylna, kolejne z opuszki palca, krew włosniczkowa. Inaczej też podano objętość próbek, i metodyka opisana w opracowaniu jest nieściśła: nie da się uzyskać do deproteinizacji dwóch próbek po 100 mikrolitrów z pobrania 50 mikrolitrów krwi włosniczkowej.

Moją podstawową wątpliwością dotyczącą przedłożenia omówionych publikacji i opracowania jako rozprawy doktorskiej jest brak zestawienia wyników obu grup badań, tj. badań elektromiograficznych i biochemicznych, a także subiektywnie odczuwanego obciążenia wysiłkiem. Uważam, że dopiero uzupełnienie cyklu trzecią publikacją, opartą na analizie zależności pomiędzy badanymi parametrami pozwoliłoby uzupełnić zamierzenie Autora o porównaniu tych danych i dało odpowiedź na pytanie, które Autor opracowania stawia: zależności pomiędzy stymulacją mięśni szkieletowych, mierzoną metodą elektromiografii powierzchniowej, a procesami zmęczenia, mierzonymi parametrami biochemicznymi, w kontekście osiągnięć sportowych (pierwszy akapit wstępu, str. 11). Wydaje się, że taka publikacja miałaby duże znaczenie, bo przebadane grupy są homogenne, zebrane dane są spójne, a zakres badań jest szeroki.

Ponadto, Autor opiera się na kilku publikacjach, pokazujących przydatność powierzchniowej EMG do oceny progu zmęczenia nerwowo-mięśniowego, a nie odnosi się do metaanalizy z 2018 roku, autorstwa Matta McCrary, [EMG amplitude, fatigue threshold, and time to task failure: A meta-analysis. *J Sci Med Sport* 2018 Jul;21(7):736-741.

DOI: [10.1016/j.jsams.2017.11.005](https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.005) które to podsumowanie na podstawie analizy wyników 43 artykułów, opisujących badania przeprowadzone na 837 zdrowych dorosłych, taką przydatność stawia pod znakiem zapytania.

W streszczeniu zamieszczonym na stronie 8 Autor omawia stawia jako cele pracy tylko wpływ submaksymalnego wysiłku na zmiany reakcji nerwowo-mięśniowych i percepcji zmęczenia. Nie wspomniano w celach o badaniach biochemicznych, natomiast pojawiają się one w metodach, wynikach i wnioskach.

Wreszcie uwaga końcowa: skoro najbardziej miarodajnym, a zarazem najmniej inwazyjnym i najtańszym zbadanym parametrem pozostaje skala Borga (ocena odczuwanego wysiłku), to należałoby ją zalecać do szerokiego stosowania w ocenie obciążenia wysiłkiem treningowym, zarówno amatorom, jak zawodnikom. Ale to już tylko drobna złośliwość.

Ostatecznie stwierdzam, że przedstawione przez Autora podsumowanie dwóch publikacji nie jest dostateczną podstawą rozprawy doktorskiej. Brakuje w takim kształcie właśnie zestawienia wyników badań i matematycznej analizy, czy parametry biochemiczne świadczące o narastającym zmęczeniu mięśni szkieletowych wiążą się ze zmianami przewodnictwa nerwowo-mięśniowego, mierzonymi powierzchniową elektromiografią w wybranym mięśniu, zaangażowanym w test wysiłkowy na cykloergometrze. A ponieważ Autor założył, że podstawą opracowania jest właśnie to zestawienie, to należy uznać, że swojego zamierzenia nie spełnił. W związku z czym **wnioskuję o odmowę nadania stopnia doktora** w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej.

Niemniej uważam, że przedłożone dwie publikacje, uzupełnione o trzecią, będącą badaniem zależności pomiędzy wynikami z obu obszarów objętych badaniami i wynikiem oceny subiektywnej, nawet w czasopiśmie o niższej punktacji, mogłoby zostać ponownie przedstawione jako podstawa ubiegania się o stopień doktora w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej.

Z wyrazami szacunku i zachęty dla Promotora i Doktoranta

  
dr hab. n. med.  
Magdalena Sobieśka