

prof. dr hab. Jarosław Marusiak,
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Al. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

Wrocław, 19.10.2024

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Macieja Jurasza

pt. „Reakcje fizjologiczne organizmu i czynność elektryczna mięśnia prostego uda podczas wysiłku o umiarkowanej intensywności u osób o różnym poziomie wydolności”

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest klasyczną pracą eksperymentalną, obejmującą zagadnienia z neurofizjologii, kinezylogii oraz fizjologii wysiłku fizycznego. Generalna idea niniejszej rozprawy polega na zbadaniu mechanizmów aktywacji mięśnia prostego uda (RF – rectus femoris) w odniesieniu do wybranych wskaźników fizjologicznych oraz wskaźników metabolizmu mięśnia w trakcie wykonywania progresywnego, submaksymalnego wysiłku fizycznego na cykloergometrze rowerowym w dwóch grupach sportowców o odmiennej specyfice uprawianych dyscyplin sportowych (triathloniści - sport wytrzymałościowy i kulturyści - sport siłowy) oraz w grupie aktywnych rekreacyjnie studentów. Problematyka niniejszej rozprawy doktorskiej jest bardzo interesująca, o dużym znaczeniu poznawczym oraz aplikacyjnym dla sportu i fizjoterapii, oraz wpisuje się doskonale w aktualny nurt badań naukowych w powyższej tematyce, co jest istotne dla rozwoju dyscypliny nauk o kulturze fizycznej, w której to dyscyplinie Kandydat wnioskuje o nadanie stopnia naukowego doktora.

Rozprawa obejmuje 160 stron maszynopisu i ma klasyczny układ, stosowny do charakteru pracy eksperymentalnej: wstęp, materiał i metody, wyniki oraz dyskusja. Na zakończenie przedstawione są główne wnioski wypływające z wyników i dyskusji. Piśmiennictwo cytowane w pracy obejmuje 169 pozycje, z których większość (150 pozycji) to artykuły z renomowanych czasopism naukowych, a 44 z nich pochodzi z ostatnich 6 lat (2018-2024), co dowodzi staranności Doktoranta w doborze i przeglądzie literatury. Na końcu manuskryptu Autor umieścił: (i) 26 załączników, w tym dwie tabele oraz 24 raporty z rejestracji sygnałów EMG i wyliczonych wartości parametrów elektromiograficznych, a następnie (ii) spis tabel i rycin.

Wstęp rozprawy zawiera przegląd literatury dotyczącej adaptacji fizjologicznych w kontekście treningu siłowego i wytrzymałościowego, jednocześnie wyraźnie wskazując na istniejącą lukę badawczą dotyczącą powiązań między bioelektryczną aktywnością mięśni a zmianami fizjologicznymi w odpowiedzi na różne rodzaje treningu. Przegląd ten stanowi dobre wprowadzenie do naukowej problematyki rozprawy, w większości umożliwiając czytelnikowi zrozumienie przesłanki pracy i będąc cennym elementem całości. W ostatniej części wstępu określono cel pracy oraz sformułowano pytania badawcze i hipotezy.

Pomimo wymienionych wyżej pozytywnych aspektów, należy zwrócić uwagę na brak omówienia we wstępie istotnych zagadnień związanych z mechanizmami aktywacji jednostek motorycznych, które są badane w pracy za pomocą elektromiografii (EMG). Praca koncentruje się na rejestracji czynności bioelektrycznej mięśnia prostego uda (RF) podczas wysiłku fizycznego, analizując różnice w procesach sterowania ruchem pomiędzy trzema grupami badanych (triathloniści, kulturyści oraz osoby nietreningujące, stanowiące grupę kontrolną). Z tego względu zasadne wydaje się omówienie następujących kwestii: budowy i funkcji mięśnia prostego uda z uwzględnieniem jego typu (toniczny/fazowy), pojęcia jednostki motorycznej, typologii jednostek motorycznych i rodzajów włókien mięśniowych należących do poszczególnych typów jednostek motorycznych, a także podstawowych mechanizmów aktywacji jednostek motorycznych (rekrutacja jednostek motorycznych, częstotliwość pobudzeń oraz wzorce pobudzeń jednostek motorycznych). Omówienie powyższych zagadnień pozwoliłoby czytelnikowi lepiej zrozumieć zarówno przesłankę, cele i hipotezy pracy, jak również wyniki oraz ich późniejszą interpretację i dyskusję.

Metodyka prowadzonych doświadczeń przez Doktoranta jest skomplikowana i wymagająca znacznego doświadczenia laboratoryjnego w łączeniu znajomości metodologii przeprowadzania fizjologicznych testów wydolnościowych wraz z rejestracją i analizą czynności bioelektrycznej mięśni szkieletowych u ludzi. Zatem, zadanie badawcze jakie postawił sobie Doktorant do wykonania w ramach niniejszej pracy jest zadaniem trudnym i ambitnym.

Badania zostały przeprowadzone na 32 mężczyznach w wieku $22,0 \pm 0,54$ lat, którzy zostali podzieleni na trzy grupy: grupę trenującą wytrzymałościowo (END), składającą się z triathlonistów ($n = 10$), grupę trenującą siłowo (STR), składającą się z kulturystów ($n = 10$), oraz grupę kontrolną (CON), składającą się z rekreacyjnie aktywnych studentów ($n = 12$). U wszystkich badanych w grupach END, STR i CON przeprowadzono identyczne badania

zgodnie z poniżej podsumowaną metodologią. Na cykloergometrze rowerowym przeprowadzono test wysiłkowy Åstrand-Ryhming w celu wyznaczenia wartości $VO_2\max$ oraz progresywny test wysiłkowy, który rozpoczął się od 3-minutowego pomiaru w spoczynku, po czym uczestnicy pedałowali z tempem 60 obrotów na minutę przez 3 minuty na każdym z następujących obciążeń: 50 W, 100 W, 150 W i 200 W. Podczas progresywnego testu wysiłkowego na każdym z powyższych obciążeń zarejestrowano wartości: częstość skurczów serca (HR) oraz stężenie mleczanu we krwi (BLa-). W ostatnich 30 sekundach każdej z czterech faz wysiłkowych (tj. przy obciążeniach 50 W, 100 W, 150 W i 200 W) zarejestrowano sygnał EMG z mięśnia RF, a następnie przeanalizowano jego parametry w dziedzinie czasu i częstotliwości. Zebrane dane poddano odpowiedniej analizie statystycznej, wykorzystując: (i) jednoczynnikowy model analizy wariancji (ANOVA) dla pomiarów powtarzanych (dla parametrów antropometrycznych oraz $VO_2\max$); oraz (ii) dwuczynnikowy model mieszany ANOVA w celu przetestowania efektów głównych i interakcji, gdzie grupa (END, STR i CON) została użyta jako czynnik stały, poziom obciążenia (50 W, 100 W, 150 W i 200 W) jako czynnik powtarzany, a parametry fizjologiczne (HR i BLa-) i elektromiograficzne stanowiły zmienne zależne.

Opis materiału badawczego oraz kryteriów włączenia i wyłączenia, jak również metodologia pomiarów i analizy parametrów fizjologicznych, jest w większości wystarczający do zrozumienia procedur i odtworzenia eksperymentu przez innych badaczy. Brakuje jednak uzasadnienia doboru tempa pedałowania na poziomie 60 obrotów na minutę oraz czasu trwania testu. Tempo to, w świetle wyników niniejszej pracy, najprawdopodobniej było zbyt niskie, natomiast czas trwania testu wysiłkowego na poszczególnych poziomach obciążeń był zbyt krótki aby wywołać różnice w odpowiedziach fizjologicznych i bioelektrycznych mięśnia RF w grupach sportowców (END vs. STR). Dlatego proszę Kandydata o przedstawienie takiego uzasadnienia. Zastanawiający jest również brak w niniejszej pracy danych dotyczących subiektywnej oceny obciążenia wysiłkowego (RPE - Rating of Perceived Exertion) za pomocą skali RPE według Borga. Dane te mogłyby być pomocne w interpretacji wyników zmian analizowanych parametrów na poszczególnych poziomach obciążenia (50-200 W).

Istotnie problematycznym dla zrozumienia, oceny poprawności i możliwości powtórzenia eksperymentu jest część metodologii dotycząca opisu rejestracji i analizy sygnału EMG w niniejszej pracy. Wyjaśnienia, uzupełnienia lub korekty wymagają następujące kwestie:

- 1) Dlaczego w pracy zdecydowano się na rejestrację SEMG jedynie z mięśnia RF, a nie ze wszystkich powierzchownych głów mięśnia czworogłowego uda (RF, VM, VL), lub z mięśnia VL co jako bardziej słuszne sugerują cytowane przez Autora prace (Bercier i wsp. 2009; Hug i wsp. 2004 oraz Chin et al. 2011)? Autor próbuje wyjaśnić ten wybór na stronie 99, w sekcji dyskusji dotyczącej ograniczeń pracy, jednak tłumaczenie to zawiera fragmenty cechujące się dużym poziomem niespójności, w których w mojej ocenie Kandydat przeczy sam sobie. Proszę Kandydata o jasne i spójne uzasadnienie wyboru jedynie mięśnia RF do rejestracji sygnału SEMG.
- 2) Proszę o podanie uzasadnienia, dlaczego w pracy poddano analizie statystycznej uśrednione wartości parametrów elektromiograficznych z obu kończyn dolnych, a nie wybrano standardowo stosowanej w literaturze kończyny dominującej.
- 3) Jaką konfigurację elektrod (jedno- dwu-, trój-biegunowa) zastosowano do rejestracji sygnału EMG z mięśnia RF podczas ruchu pedałowania w trakcie testu wysiłkowego. Informacja ta ma znaczenia w kontekście możliwości redukcji artefaktów ruchowych.
- 4) Jakie metody redukcji artefaktów ruchowych z sygnału EMG zastosowano w procesie przetwarzania sygnału.
- 5) Dlaczego w pracy zastosowano metodę normalizacji amplitudy sygnału EMG do wartości zarejestrowanych przy obciążeniu 50 W? Standardowo w tego typu badaniach stosuje się normalizację amplitudy sygnału EMG względem wartości zarejestrowanej podczas maksymalnego skurczu dowolnego (MVC – maximal voluntary contraction). Gdyby użyto tej standardowej metody, można byłoby uzyskać informacje o procentowym zaangażowaniu mięśnia RF na różnych poziomach obciążenia wysiłkiem (50 W, 100 W, 150 W i 200 W). W oparciu o literaturę, która wskazuje na próg procentowy pomiędzy rekrutacją i wzrostem częstotliwości pobudzenia jednostek motorycznych mięśnia RF, Autor pracy mógłby interpretować zmiany parametrów sygnału EMG w dziedzinie czasu i częstotliwości na poszczególnych poziomach obciążenia, a także różnice między grupami (END, STR i CON) w kontekście powyższych mechanizmów sterowania ruchem (rekrutacja i częstotliwość pobudzeń jednostek motorycznych). Jest to szczególnie istotne, ponieważ Autor pracy zakładał, że badane grupy, ze względu na adaptacje specyficzne dla wykonywanych rodzajów treningu (END, STR) lub jego brak (CON), wykazują odmienne strategie aktywacji jednostek motorycznych. Niestety, zastosowana w pracy metoda normalizacji amplitudy sygnału EMG nie umożliwia prowadzenia takich mechanistycznych rozważań.

- 6) Z jakiej fazy ruchu (zakres kątowy w stopniach) w stawie kolanowym wybierano odcinki zapisów SEMG do analizy? Czy był to zakres odpowiadający wyłącznie fazie prostowania w stawie kolanowym, co odpowiada aktywacji mięśnia RF w jego funkcji agonistycznej? Jaką metodą wyznaczano powyższy zakres kątowy (np. jednoczesny zapis elektrogoniometryczny, akcelerometryczny, żyroskopowy lub inne) i czy zapewniono rzetelność wyboru identycznego dla każdego badanego zakresu kąta w stawie, do wyboru odcinka sygnału SEMG?
- 7) Proszę Kandydata o zaprezentowanie na surowych sygnałach SEMG z mięśnia RF, które odcinki sygnału EMG zostały poddane analizie. Mimo, że Kandydat zamieścił raporty przedstawiające 30-sekundowe surowe zapisy sygnałów SEMG z mięśnia RF na różnych poziomach obciążenia wysiłkiem w trzech badanych grupach (END, STR i CON), brakuje na nich oraz w podpisach do nich informacji o fragmentach wybranych do analiz. Dodatkowo, opis metodologii nie precyzuje, który fragment sygnału EMG (okno czasowe) został przeanalizowany w dziedzinie czasu i częstotliwości. Jeśli analiza sygnału EMG w dziedzinie częstotliwości została przeprowadzona metodą krocząca dla całego 30-sekundowego zapisu (zgodnie z przedstawionymi rycinami), to na moc widma wpływać będą składowe odpowiadające zarówno procesowi narastania siły mięśnia RF podczas prostowania w stawie kolanowym (w jego funkcji agonistycznej), jak i składowe związane z jego relaksacją oraz aktywnością mięśnia RF w jego funkcji antagonistycznej, gdy dochodzi do zginania w stawie kolanowego. Taki sposób analizy w dziedzinie częstotliwości mógłby być przyczyną braku istotnych różnic międzygrupowych w częstotliwości medianowej, co jest szczególnie zaskakujące w porównaniu grup sportowców (END i STR) z grupą kontrolną (CON). W tej ostatniej grupie powinniśmy się spodziewać, że w teście progresywnym wystąpi obniżenie wartości MF (w porównaniu do grupy sportowców) związane z procesem zmęczenia.
- 8) Napisano, że do finalnej analizy wykorzystano cztery odcinki. Jaką długość miały te odcinki, i czy dla wszystkich prób zawsze analizowano odcinki o tej samej długości, dotyczące sygnału zarejestrowanego w fazie prostowania w stawie kolanowym, tj. aktywacji mięśnia RF w jego funkcji agonistycznej?
- 9) Czy do finalnej analizy statystycznej wartości wskaźników SEMG wzięto średnią wartość z czterech prób, czy wybrano jedną wartość? Jeśli wybrano jedną wartość, to czym się kierowano przy wyborze konkretnej próby? Jeśli wybrano wartość średnią z czterech prób, to czy oszacowano powtarzalność dla tych czterech pomiarów?

Jeśli oszacowano powtarzalność, to dlaczego nie zaprezentowano wyników powtarzalności w pracy?

- 10) Uważam, że dla zgodności terminologicznej z innymi badaczami publikującymi wyniki badań z zastosowaniem powierzchniowego EMG, należałoby zmodyfikować stosowane w pracy skróty dla nazw parametrów elektromiograficznych.

Standardowo, dla parametru częstotliwości medianowej, z angielskiego „median frequency”, używa się skrótu Mdf (a nie MF, jak zastosowano w pracy). Skrót MF natomiast jest zarezerwowany dla parametru częstotliwości średniej, z angielskiego „mean frequency”.

Skrót AEMG nie jest powszechnie stosowany ani standardowy dla określenia „averaged-integrated EMG”. Zwykle w literaturze używa się bardziej precyzyjnych nazw, takich jak „integrated EMG” (iEMG), który odnosi się do zintegrowanego sygnału EMG.

Skrót AEMG^{90centyl} nie jest standardowy i może być mylący, ponieważ sugeruje zintegrowany sygnał EMG (AEMG) zamiast odniesienia do centyla amplitudy. Bardziej odpowiednim skrótem byłby np. EMG90 lub EMG90th, co precyzyjniej oddawałoby, że odnosi się on do 90. centyla amplitudy sygnału EMG

Dobór metod statystycznych jest prawidłowy, a ich opis w większości wystarczający. Należałoby jeszcze doprecyzować: (i) dla których parametrów stosowano jednoczynnikowy model analizy wariancji (ANOVA) dla pomiarów powtarzanych, a dla których dwuczynnikowy model mieszany ANOVA 3 × 4 (grupa × obciążenie), oraz (ii) jak liczone korelacje: czy dla każdego poziomu obciążenia wysiłkowego osobno (50 W, 100 W, 150 W i 200 W), czy dla połączonych wszystkich poziomów obciążenia (50-200 W).

Wyniki przedstawione są w czterech tabelach oraz na 12 rycinach, które zorganizowane są w manuskrypcie logicznie zgodnie z kolejnością prezentowanych parametrów.

Niestety, sposób opisu wyników w tekście niniejszej pracy nie ułatwia czytelnikowi zrozumienia co właściwie stwierdzono na bazie wykonanej analizy statystycznej. Dla większości parametrów, tam gdzie stwierdzono istotny wpływ czynnika grupy lub obciążenia, brakuje szczegółowych wyników statystyk post-hoc dla: (i) porównań międzygrupowych na poszczególnych poziomach obciążenia; oraz (ii) dla porównań między poziomami obciążeń dla poszczególnych grup. Szczegółowe wyniki statystyk porównawczych powinny być przedstawione w sposób wyczerpujący i zrozumiały, na przykład w formie tabeli lub tekstu, z odniesieniami do rycin. Na rycinach te porównania mogłyby być zilustrowane za pomocą klamer, gwiazdek, krzyżyków lub innych form

graficznych, które jasno wskazywałyby, pomiędzy którymi grupami na danym poziomie obciążenia bądź pomiędzy jakimi poziomami obciążenia w danej grupie wystąpiły różnice istotne statystyczne. Taki kompletny opis statystyk porównawczych został zaprezentowany w nielicznych miejscach w tekście, co wydaje się wybiórcze. Uważam, że sposób prezentacji wyników analizy statystycznej w pracy, jak to opisano powyżej, można uznać za nierzetelny. Utrudnia to czytelnikowi zrozumienie wyników oraz ocenę słuszności dalszych interpretacji i wyciąganych wniosków. Problem ten nabiera szczególnego znaczenia, gdy pojawiają się niezgodności między opisem wyników w tekście a tym, co przedstawiono na rycinie. Przykładem takiej sytuacji jest opis wyników dla częstotliwości medianowej, w którym Autor podaje, że „Dla wszystkich zbadanych grup wraz ze wzrostem obciążenia wysiłkowego stopniowo zwiększały się przyrosty MF”. Opis ten nie jest zgodny z przebiegiem wykresu zmian wartości tego parametru między poziomami obciążenia w grupie END (Ryc. 8), gdzie można zauważyć dla wartości tego parametru wprawdzie istotny spadek lub nieistotną tendencję do spadku z obciążenia 50 W do 100 W (celowo używam słowa „lub”, ponieważ nie zaprezentowano wyniku post-hoc dla potwierdzenia tej zmiany), a następnie stopniowy istotny wzrost lub nieistotną tendencję do wzrostu wartości tego parametru począwszy od poziomu obciążenia 100 W do 200 W. Pozostaje zatem, w ramach „kredytu zaufania” udzielanego Autorowi niniejszej pracy, mieć nadzieję, że Autor prawidłowo interpretuje wyniki uzyskane w analizie statystycznej. Niezależnie jednak od powyższego „kredytu zaufania”, proszę Kandydata o drobiazgowo omówienie wyników porównań post-hoc podczas obrony niniejszej pracy doktorskiej oraz o zmodyfikowanie rycin zgodnie z moimi uwagami, lub o uzupełnienie rozdziału dotyczącego wyników o dodatkowe tabele prezentujące wartości statystyk post-hoc.

Podrozdział 4.1., ze względu na swoją merytoryczną zawartość, powinien zostać umieszczony w podrozdziale 3.2. lub 3.3., które są poświęcone opisowi grupy badanej.

Jeśli chodzi o merytoryczną ocenę osiągnięcia naukowego przedstawionego w sekcji wyników niniejszej pracy, niestety muszę wyrazić duży niedosyt w stosunku do moich oczekiwań, które wynikały z zapowiedzi zawartych w tytule i wstępie. Niedosyt ten nie wynika z samego faktu niezaobserwowania różnic między grupami END i STR (co, naturalnie, należało przewidywać), lecz z przekonania, że brak tych różnic jest skutkiem błędów metodologicznych, o których wcześniej wspominałem. Są one najprawdopodobniej związane z nieodpowiednim zaplanowaniem testu wysiłkowego, tj. zbyt małe tempo i zbyt krótki czas pedałowania na poszczególnych poziomach obciążenia, oraz z błędami w szacowaniu parametrów EMG. Bardzo wyraźnym dowodem na to jest brak istotnych różnic

między grupami w zakresie wartości częstotliwości medianowej sygnału EMG, który to parametr jest uważany za bardzo czuły wskaźnik zmęczenia mięśniowego, zależny od rodzaju jednostek motorycznych zaangażowanych w pracę mięśnia. Brak różnic międzygrupowych w częstotliwości medianowej EMG został stwierdzony nie tylko między sportowcami z grup END i STR, ale również między sportowcami a grupą kontrolną. W mojej ocenie, wyniki te najprawdopodobniej świadczą o tym, że badany wysiłek nie stanowił wystarczająco dużego wyzwania, aby wywołać istotne międzygrupowe różnice w sterowaniu ruchem, wynikające z procesów zmęczenia.

Brak powyższych różnic międzygrupowych może też wynikać z nieprawidłowego oszacowania wartości częstotliwości medianowej sygnału EMG. Jeśli okno czasowe w zastosowanej analizie częstotliwościowej było nieprawidłowo dobrane w odniesieniu do kąta w stawie oraz fazy aktywności mięśnia RF (np. obejmowało odcinki, w których mięsień pracował raz w funkcji agonistycznej, innym razem w funkcji antagonistycznej lub był w trakcie relaksacji), to zmienność składowych częstotliwościowych (zależnych od różnych typów jednostek motorycznych pracujących w tych niejednorodnych odcinkach) mogła prowadzić do uśrednienia wyników, co mogło zniwelować potencjalne różnice międzygrupowe w tym parametrze.

Jeśli dodatkowo uwzględni się, wcześniej wskazane, błędy w normalizacji wartości parametrów amplitudowych w niniejszej pracy, należy stwierdzić, że zarówno w zakresie czasu, jak i częstotliwości, szacowanie parametrów EMG było obarczone błędami. To z kolei uniemożliwia wyciągnięcie mechanistycznych wniosków dotyczących międzygrupowych różnic w procesach sterowania ruchem podczas progresywnego wysiłku fizycznego na ergometrze rowerowym, którego celem było doprowadzenie do zmęczenia mięśni i zróżnicowanie grup pod kątem parametrów elektromiograficznych sygnału EMG, zależnych od strategii aktywacji jednostek motorycznych.

Podsumowując, obserwowane zmiany w parametrach elektromiograficznych w odniesieniu do parametrów fizjologicznych w badanych grupach można interpretować jako globalny wzrost aktywności mięśni w miarę wzrostu obciążenia wysiłkowego. Wynik ten jest zgodny z celem pracy. Niemniej jednak, ze względu na brak możliwości różnicowania wyników pomiędzy grupami sportowców, a w przypadku parametru częstotliwości medianowej również brak różnic pomiędzy sportowcami a grupą kontrolną, jego wartość poznawcza jest ograniczona, choć posiada pewne znaczenie praktyczne

W dyskusji Autor rozprawy doktorskiej omawia znaczenie uzyskanych wyników oraz przeprowadza ich interpretację w oparciu o cytowane dane literaturowe. Interpretując swoje wyniki, Kandydat odnosi się również do wspomnianych przeze mnie błędów metodologicznych, związanych ze zbyt krótkim czasem trwania testu wysiłkowego, który mógł nie wystarczyć do wywołania zmęczenia we wszystkich badanych grupach. Dyskusja zawiera również podrozdział poświęcony ograniczeniom pracy, co świadczy o dojrzałości naukowej Kandydata.

Diskusja zawiera kilka fragmentów, które są niezrozumiałe i wymagają wyjaśnień, lub wskazują na potrzebę zgłębienia wiedzy podstawowej przez Autora. Wymieniam je poniżej, wytłuszczając wątpliwe fragmenty tekstu, i proszę Kandydata o ich wyjaśnienie lub uzupełnienie podczas obrony pracy doktorskiej.

- 1) Strona 80 - „Natomiast nie wykazano różnic w częstotliwości medianowej sygnału **EMG, wyrażającej rekrutację jednostek ruchowych RF**, wśród sportowców wyspecjalizowanych w treningu wytrzymałościowym i siłowym oraz grupie osób rekreacyjnie aktywnych.”. Proszę wyjaśnić, jak powyższe zdanie należy rozumieć w odniesieniu do poniższego zdania ze strony 92.: „Z tradycyjnego punktu widzenia, zmęczenie mięśnia może być identyfikowane przez spadek składowych częstotliwości sygnału EMG. Na przykład wykrywane na podstawie MF widma mocy sygnału SEMG (Chang i wsp. 2012).”
- 2) Strona 86 - „W badaniach empirycznych wykazano, że kilka parametrów morfologicznych istotnie wpływa na sprawność funkcjonalną mięśni szkieletowych. Do tych parametrów należą m.in. sztywność ścięgien, anatomiczny przekrój poprzeczny mięśnia **oraz kąt nachylenia powięzi** (Aagaard i wsp. 2001; Folland i Williams 2007; Reeves i wsp. 2003). Proszę wyjaśnić co Autor ma na myśli używając terminu „kąt nachylenia powięzi”.
- 3) Strona 86 - „Chociaż kilka białek kurczliwych wykazuje istotne znaczenie podczas skurczu włókna mięśniowego, dwoma **głównymi białkami są miozyna (grube włókno) i aktyna (cienkie włókno)**. Po zainicjowaniu skurczu **oba białka łączą się, zmieniają konformację, przesuwiają się między sobą, poruszając się w przeciwnych kierunkach, rozłączają się, przygotowują się do połączenia z następną aktyną/miozyną, stale powtarzając ten cykl**.”. Czy Autor ma na myśli mechanizm skurczu według teorii Huxleya? Jeśli tak, to jak należy rozumieć opis mechanizmu skurczu, który Autor przedstawił w niniejszej pracy?
- 4) Strona 87 - „Na przykład długotrwały trening siłowy powoduje wzrost masy i siły maksymalnej mięśnia wskutek wzrostu średnicy włókien mięśniowych, **co jest powiązane**

ze wzrostem amplitudy potencjałów czynnościowych jednostek ruchowych, jak i całkowitej amplitudy powierzchniowego sygnału EMG mięśnia (Škarabot i wsp. 2021b). Proszę podać literaturę potwierdzającą stwierdzenie Autora, że wzrost średnicy włókien mięśniowych (powiązany z treningiem siłowym) powoduje wzrost amplitudy potencjałów czynnościowych włókien mięśniowych jednostek motorycznych.

- 5) Strona 91 - „Porównywalne wartości częstotliwości medianowej wskazują, **że rekrutacja jednostek ruchowych w obu grupach była na podobnym poziomie**. Należy założyć, że kulturzyści posiadali grubsze włókna mięśniowe od triatlonistów w RF. **Z tego względu prawdopodobnie amplituda generowanych potencjałów czynnościowych była wyższa niż u triatlonistów. Można zatem przypuszczać, że jednostki ruchowe mięśni kulturystów pracowały na niższych częstotliwościach wyładowań potencjałów czynnościowych**, gdyż amplituda aktywności mięśni w obu grupach osiągała bardzo zbliżone wartości.”. Powyższy wywód jest niezrozumiały i niespójny. Proszę wyjaśnić, co dokładnie Autor chciał przekazać czytelnikowi.
- 6) Strona 99 - „Jednakże RF (mięsień dwustawowy) oraz inne grupy mięśniowe w obrębie VL i VM (**mięśnie jednoczęściowe**) oraz dwie głowy (przyśrodkowa i boczna) mięśnia brzuchatego łydki (łac. musculus gastrocnemius, MG), są umiarkowanie aktywne, co wpływa na niską czułość w śledzeniu zmian obciążenia podczas wysiłku fizycznego na cykloergometrze (Albertus-Kajee i wsp. 2010).” Proszę wyjaśnić co Autor ma na myśli używając terminu oraz „mięśnie jednoczęściowe”.
- 7) Strona 101 - „Nie potwierdziła się druga hipoteza, **gdyż wzrost częstości medianowej sygnału EMG, który częściowo i w pośredni sposób obrazuje rekrutację jednostek ruchowych**, był podobny u wszystkich badanych grup. Zatem mimo że osoby rekreacyjnie aktywne aktywowały mięśnie znacznie mocniej, to nie miało to odzwierciedlenia w częstotliwości sygnału EMG.”. Proszę wyjaśnić co Autor ma na myśli tłumacząc, że wzrost częstotliwości medianowej „częściowo i w pośredni sposób obrazuje rekrutację jednostek ruchowych”.
- 8) Strona 102 - „Można zatem z pewną dozą ostrożności stwierdzić, że podczas submaksymalnej próby wysiłkowej nie występują żadne relacje między procesami ogólnoustrojowej regulacji częstości skurczów serca oraz metabolizmu mleczanu w mięśniu i procesami rekrutacji jednostek ruchowych mięśnia przez ośrodkowy układ nerwowy.”. Proszę wyjaśnić, jak powyższe zdanie należy rozumieć w odniesieniu do poniższego zdania z tej samej strony: „Oznacza to, że szczególnie u osób z grupy END, im mniejszy jest wzrost HR, tym mniejszy jest też wzrost aktywacji mięśni podczas

wzrostu obciążenia wysiłkowego. Natomiast szczególnie u osób z grupy STR im mniejszy jest wzrost BLa– , tym również mniejszy jest wzrost aktywacji mięśni.”.

Podsumowanie i konkluzja recenzji

Zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, jako Recenzent niniejszej rozprawy doktorskiej, jestem zobowiązany stwierdzić, czy rozprawa doktorska Pana mgr Macieja Jurasza spełnienia poniższe warunki wynikające z obowiązujących przepisów prawa:

- (1) czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie albo dyscyplinach;
- (2) czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;
- (3) czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

Należy zaznaczyć, że zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, pozytywna recenzja musi być wynikiem pozytywnej oceny wszystkich poruszonych zagadnień, które podlegają ocenie recenzenta. Zatem, pozytywna konkluzja końcowa jest upoważniona tylko i wyłącznie wówczas, gdy recenzent jednoznacznie pozytywnie oceni wszystkie trzy powyższe warunki wynikające z przepisów prawa.

Odnosząc się do powyższych trzech warunków stwierdzam, że:

- 1) W odniesieniu do części pracy dotyczącej elektromiografii, jak już wcześniej wskazałem, istnieje wiele fragmentów pracy świadczących o nierzetelności Autora w opisie metodologii i wyników, a także pojawiają się błędy metodologiczne oraz interpretacyjne. Należy również zwrócić uwagę na fragmenty, w których mgr Maciej Jurasz używa niewłaściwych pojęć lub stwierdzeń odbiegających od faktów dotyczących mechanizmów sterowania ruchem. W związku z tym, w części pracy poświęconej zastosowaniu elektromiografii do śledzenia procesów sterowania ruchem, należy stwierdzić, że Kandydat musi jeszcze pogłębić swoją wiedzę teoretyczną oraz zdobyć większe doświadczenie praktyczne, aby móc prowadzić samodzielne badania naukowe na najwyższym poziomie. Z drugiej strony, odnosząc się do części pracy dotyczącej fizjologii wysiłku, nie mam podobnych zastrzeżeń.

Oceniając zatem te dwie części tematyczne pracy w skali 1-5 (gdzie 1 oznacza ocenę niedostateczną, a 5 ocenę bardzo dobrą), część dotyczącą fizjologii wysiłku oceniam na 4.0, natomiast część poświęconą elektromiografii na 2.0. Średnia z tych ocen wynosi więc 3.0, i mimo braku mojej pełnej satysfakcji naukowej w odniesieniu do części pracy dotyczącej zastosowania elektromiografii, ogólna ocena pracy jest minimalnie pozytywna.

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że warunki nr 1 i 2, pomimo niskiej, ale ostatecznie pozytywnej oceny, zostały spełnione na minimalnym poziomie.

- 2) Celem niniejszej pracy badań było „określenie zmian i związków między czynnością elektryczną RF a wybranymi wskaźnikami fizjologicznymi oraz wskaźnikiem metabolizmu mięśnia u mężczyzn o różnym poziomie wydolności fizycznej podczas submaksymalnego wysiłku fizycznego o wzrastającej intensywności”. Kandydat zastosował specyficzną metodologię pomiarową dostosowaną do celów badań, przeprowadził badania w celu pozyskania danych opisujących badane zjawiska fizjologiczne i neurofizjologiczne, a następnie poddał je właściwej analizie statystycznej. To pozwoliło na interpretację wyników i w większości na dobrze sformułowane wnioski.

Zatem, mimo wskazanych przeze mnie błędów i niedociągnięć, zarówno metodologicznych, jak i merytorycznych, Kandydat rozwiązał postawiony problem naukowy, choć na niskim poziomie, w ramach celów tej pracy.

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że warunek nr 3, pomimo moich krytycznych uwag, został spełniony na minimalnym poziomie.

Warto podkreślić, że zadanie, jakie postawił przed sobą Kandydat w tej pracy doktorskiej, polegające na połączeniu metodologii fizjologicznych testów wydolnościowych z rejestracją i analizą czynności bioelektrycznej mięśni szkieletowych u ludzi, jest bardzo trudne i ambitne, a także wymaga znacznego doświadczenia laboratoryjnego. Fakt podjęcia się przez mgr Macieja Jurasza tak wymagającego zadania zasługuje na uznanie, zwłaszcza biorąc pod uwagę rzadkość takich prac na poziomie doktoratu oraz potencjalny wkład wyników tych badań w rozwój nauk o kulturze fizycznej. Jak mówi przysłowie, „nie popełnia błędów ten, kto nic nie robi”. Pozostaje jednocześnie nadzieja, że na podstawie wniosków wyciągniętych z przeprowadzonej pracy, jak również z recenzji niniejszej pracy oraz z przebiegu obrony, Kandydat nie straci motywacji do prowadzenia równie ambitnych badań naukowych, ale już na wyższym poziomie metodologicznym i merytorycznym, czego mu serdecznie życzę.

Przechodząc do finalnej konkluzji, wynikającej z powyższej oceny rozprawy doktorskiej mgr Macieja Jurasza stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska, mimo mojej niskiej oceny tej pracy, a szczególnie części związanej z zagadnieniami sterowania ruchem, spełnia minimalne brzegowe warunki stawiane rozprawom doktorskim w świetle obecnych uregulowań prawnych, określonych w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Biorąc pod uwagę powyższą konstatację, na obecnym etapie przedłożenia mojej recenzji, **popieram wniosek** do Rady Naukowej Akademii Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu **o nadanie magistrowi Maciejowi Juraszowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej**, w ramach niniejszego przewodu doktorskiego. Jednak chciałbym zaznaczyć, że ostateczne moje poparcie powyższego wniosku w drodze głosowania podczas obrony pracy doktorskiej będzie uzależnione od satysfakcjonujących odpowiedzi Kandydata na kwestie poruszone w mojej recenzji.

Z poważaniem

