

dr hab. Weronika Rupik, prof. UŚ

Katowice, 22 sierpnia 2025 r.

Uniwersytet Śląski w Katowicach

Wydział Nauk Przyrodniczych

Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska

e-mail: weronika.rupik@us.edu.pl

tel. 32-359-18-20

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr **mgr Magdalena Piotr (de domo Gartych)**

pt. „Cechy morfometryczne oraz rozłożenie wrzecion mięśniowych

w mięśniu przyśrodkowym brzuchatym łydki

samców i samic szczurów Wistar”,

wykonanej w Zakładzie Neurobiologii, Akademii Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu pod kierunkiem naukowym Pana prof. dr hab. Jana Celichowskiego –
promotora

Przedstawiona mi do oceny rozprawa zawiera wyniki badań wrzecion mięśniowych, które zostały przeprowadzone w ramach grantu NCN 2018/31/B/NZ7/01028 „Różnice płciowe głównych elementów odruchu na rozciąganie: motoneuronów oraz wrzecion mięśniowych”. Rozprawa jest oparta na 2 publikacjach, których pierwszym autorem jest Doktorantka. Prace są oryginalnymi artykułami naukowymi (full text original/research papers), które zostały opublikowane odpowiednio w roku 2021 i 2023 i są zamieszczone w załączniku nr. 2 niniejszej rozprawy w następującej kolejności:

1. **Gartych M, Jackowiak H, Bukowska D and Celichowski J (2021) Evaluating Sexual Dimorphism of the Muscle Spindles and Intrafusar Muscle Fibers in the Medial Gastrocnemius of Male and Female Rats. Front. Neuroanat. 15:734555. doi: 10.3389/fnana.2021.734555 (IF=3,543), punktacja MEiN=100**
2. **Piotr, M., Skieresz- Szewczyk, K., Jackowiak, H. & Celichowski, J. (2023) Distribution and length of muscle spindles and their 3D visualisation in the medial gastrocnemius of male and female rats. J Anat. 243, 658–663. <https://doi.org/10.1111/joa.13895> (IF=2,921), punktacja MEiN=140**



Omówienie wyników pracy doktorskiej napisane w języku polskim podzielone jest na 5 zasadniczych części: 1. Dane o kandydatce; 2. Autoreferat (zawierający streszczenie w języku polskim, abstrakt w języku angielskim wstęp, cel badań i hipotezy, cykl publikacji, materiał i metody, wyniki, dyskusję, wnioski oraz piśmiennictwo), 3. Przebieg pracy naukowo-zawodowej Kandydatki – informacje dodatkowe; 4. Załącznik 1 – oświadczenia Doktorantki i współautorów, 5. Załącznik 2 – kopie publikacji, których dane bibliometryczne podałam wcześniej. Ponadto w omówieniu zawarto spis treści oraz podziękowania. Autoreferat liczy łącznie 29 stron (nie licząc kopii artykułów i oświadczeń i innych danych).

Układ omówienia pracy jest poprawny.

Tytuł rozprawy jest zgodny z zawartą w niej treścią.

1. Autoreferat

1.1. Streszczenie i Abstract są zwięzłe i dobrze oddają zawartość rozprawy doktorskiej

1.2. Wstęp jest dobrym wprowadzeniem w tematykę dysertacji i zapowiada ciekawą dyskusję wyników. Na podstawie analizy piśmiennictwa Doktorantka omówiła różnice biologiczne między kobietami a mężczyznami, które mają wpływ na ich predyspozycje sportowe. W rozważaniach teoretycznych nad różnicami w uzyskiwaniu wyników w sportach wytrzymałościowych (np. maraton) wzięła pod uwagę różnice anatomiczne oraz biomechanikę ruchu związaną z udziałem włókien wolnokurczliwych, wykorzystaniem kwasów tłuszczowych i strategią tempa a także ochronną rolę testosteronu przed uszkodzeniem mięśni i ich zmęczeniem. Analizując predyspozycje płciowe w sportach wymagających precyzji ruchu i kontroli położenia ciała (łucznictwo, strzelanie precyzyjne) Autorka podała, że kobiety cechują się większą dokładnością ruchów kończyny górnej i lepszą kontrolą postawy, natomiast mężczyźni osiągają wyższą szybkość i skuteczność w tych rodzajach sportu. Natomiast, w zakresie propriocepcji mężczyźni mają lepsze wyczucie pozycji stawów skokowego i kolanowego, podczas gdy kobiety wykazują przewagę w kontroli ruchów palców i równowadze. Ponadto, stwierdziła, że w literaturze jest bardzo niewielka liczba danych mogących wyjaśnić rolę wrzecion mięśniowych w potencjalnych różnicach między płciami. W dalszych rozważaniach Doktorantka skupiła się na anatomii i fizjologii mięśnia brzuchatego łydki, ponieważ, ze względu na lokalizację i budowę, mięsień ten jest często badany w eksperymentach elektrofizjologicznych z wykorzystaniem szczura laboratoryjnego szczepu Wistar, będącego popularnym modelem w badaniach biomedycznych. Na podstawie przeglądu literatury Autorka wskazała, że samce mają więcej włókien mięśniowych o większej średnicy oraz większe jednostki ruchowe niż samice, natomiast liczba wrzecion mięśniowych i γ -motoneuronów jest podobna u obu



plici, co wskazuje na zbliżoną organizację propriocepcji w tym mięśniu. W dalszej części wstępu omówiona została struktura i funkcja wrzecion mięśniowych oraz aktualny stan wiedzy na temat badania tych struktur z wykorzystaniem gatunków modelowych. Wyniki tych badań znacząco poszerzają wiedzę na temat roli propriocepcji w modulowaniu reakcji motorycznych oraz roli hormonów żeńskich w orientacji przestrzennej i jasno wskazują, że choć różnice płciowe w wydajności poznawczo-przestrzennej i pamięci ruchowej nie są jednoznacznie potwierdzone, to wskazują, że propriocepcja ma kluczowe znaczenie dla zdolności motorycznych. W końcowym paragrafie tego rozdziału Doktorantka opisała istotne braki w wiedzy na temat wrzecion mięśniowych uzasadniając konieczność analiz zaplanowanych w dysertacji.

Uwagi: W rozdziale tym na podkreślenie zasługuje bardzo obszerny (74 pozycje) i skrupulatnie przygotowany przegląd literatury dotyczącej prezentowanych zagadnień, który Doktorantka przygotowała na podstawie licznie zgromadzonego aktualnego piśmiennictwa przedmiotowego. Takie podjęcie tematu już we wstępie z jednej strony wskazuje na kontekst i wagę podjętych badań, a także świadczy o bardzo dobrym teoretycznym przygotowaniu Doktorantki do realizacji zaplanowanych zadań badawczych. Szkoda, że Doktorantka nie ponumerowała pozycji literaturowych w spisie.

1.3. Cel badań i hipotezy został jasno i precyzyjnie określony, a zaproponowane hipotezy są dobrze skonstruowane.

Uwagi: W rozdziale tym Doktorantka niepotrzebnie umieściła tekst „*W tym celu dokonano analizy liczby, gęstości i właściwości morfometrycznych wrzecion mięśniowych, w tym długości tych receptorów w mięśniu przyśrodkowym brzuchatym tydki, oraz wykonano analizy liczby i rozmiarów włókien śródwrzecionowych. Wyniki analiz dodatkowo przedstawiono na modelu 3D zrekonstruowanym ze skrawków mięśni, ilustrującym w nowatorski sposób przestrzenne rozmieszczenie wrzecion mięśniowych w osi proksymalno-dystalnej mięśnia. Badania te przeprowadzone zostały na szczurach szczepu Wistar. Uzyskane rezultaty stanowią uzupełnienie brakujących danych dotyczących różnic międzypłciowych w odniesieniu do wyżej wymienionych cech wrzecion mięśniowych w mięśniach szkieletowych, a ponadto poszerzają aktualny stan wiedzy z zakresu neuroanatomii tych receptorów*”. Informuje on jedynie o zadaniach badawczych, które zostały wykonane w celem testowania hipotez służących do realizacji celu głównego. Wydaje mi się, że można było umieścić te informacje, jako zadania badawcze i przedstawić je w punktach, wskazując, które z zadań będzie testowało daną hipotezę.

1.4. Cykl publikacji



W/w publikacje tworzą cykl podsumowany w autoreferacie pod wspólnym tytułem: „**Cechy morfometryczne oraz rozłożenie wrzecion mięśniowych w mięśniu przyśrodkowym brzuchatym łydki samców i samic szczurów Wistar**”

Czasopisma, w których opublikowano wyniki badań są prestiżowe i dobrze dobrane pod względem profilu naukowego oraz znajdują się w bazie *Journal Citation Reports (JCR)* (łączny IF= 6,464), punktacja MEIN: 240, co ma przełożenie na rangę czasopisma. Jako, że prace te są współautorskie, wszyscy autorzy złożyli oświadczenia odnośnie wkładu w powstawanie publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Oświadczenia zostały zamieszczone w załączniku 1 niniejszego opracowania. Z oświadczeń tych wynika, że udział Doktorantki w przygotowaniu prac z pewnością przekraczał 50 procent, chociaż w oświadczeniach nie określono procentowego Jej udziału.

Nie mam merytorycznych uwag do przedstawionych wyżej prac, zwłaszcza, że recenzje wykonali już recenzenci czasopism.

1.4. Materiał i metody są opisane jasno i zwięźle. Materiał do badań jest dobrze dobrany, a zastosowane metody w pełni pozwoliły przetestowanie hipotez badawczych i na realizację celu badań.

Uwagi: W rozdziale tym, podobnie jak w całym opracowaniu nie znalazłam nazwy łacińskiej badanego gatunku. Czy Doktorantka wykorzystywała w badaniach Szczura wędrownego (*Rattus norvegicus*) szczepu Wistar, czy też innego szczura? Ta informacja jest niezwykle istotna ponieważ podają ją wszystkie opracowania, w których jako model badawczy wykorzystuje się szczura. Określenie szczury Wistar, istotnie stosowane jest w slangu laboratoryjnym, ale nie powinno być używane w opracowaniach naukowych, ponieważ w tych powinno się podawać nazwę gatunkową w języku polskim i łacińskim oraz precyzyjnie określić stado oraz szczep. Ponadto, wydaje mi się, że ten rozdział byłby bardziej przejrzysty, gdyby zostano w nim podział na jasno oddzielone sekcje traktujące o zwierzętach i poszczególnych kategoriach użytych metod. Ponadto, w rozdziale nie znalazłam informacji na temat liczby zwierząt wykorzystanych w badaniach. Określono tam jedynie liczbę pobranych mięśni. Nie znalazłam również informacji odnośnie przygotowania mięśni przed przystąpieniem do utrwalania. W związku z tym, chciałam zapytać, czy przed utrwalaniem potraktowano mięśnie izotonicznym roztworem 0,9% NaCl o temperaturze 37°C (zastosowano „kąpiel” w tym roztworze) celem ich rozkurczenia?

1.5. Wyniki – Zarówno w pracach oryginalnych jak i w referacie Doktorantka wskazała, że analizie poddano 10 mięśni samców i 10 mięśni samic, wykonując pomiary łącznie 159 wrzecion u samców i 180 u samic. Średnia liczba wrzecion w mięśniu była podobna (14,45 i 15,00), natomiast w



przeliczeniu na masę mięśnia gęstość wynosiła odpowiednio jedno wrzeciono na 79,91 mg u samców i na 51,14 mg u samic ($p < 0,001$). Nie stwierdzono różnic w liczbie włókien śródwrzecionowych (ok. 5,6 na wrzeciono), ich średnicy ($\sim 5,2 \mu\text{m}$), ani w średnicach wrzecion mierzonych w najszerszym przekroju (krótsza: $\sim 25 \mu\text{m}$, dłuższa: $\sim 46 \mu\text{m}$). Długość wrzecion mieściła się w zakresie 0,78–7,41 mm u samców i 0,68–6,54 mm u samic, ze średnią około 3,3 mm w obu grupach. Rozmieszczenie wrzecion u obu płci było zbliżone, najliczniej występowały one w centralnych sektorach mięśnia (4–6), średnio po 2,71 wrzeciona na sektor, a ich pozycja przypadała zwykle na piąty sektor. Model 3D wykonany na podstawie danych histologicznych potwierdził przewagę wrzecion w części środkowej mięśnia. W oparciu o wyniki badań Doktorantka potwierdziła hipotezy 1, 2 i 4 i odrzuciła hipotezę 3, ponieważ wykazała brak różnic w liczbie, cechach morfometrycznych, rozmieszczeniu przestrzennym i długości wrzecion mięśniowych w mięśniu brzuchatym przyśrodkowym łydki samców i samic szczurów szczepu Wistar. Istotną różnicą okazała się jedynie gęstość wrzecion, która była o około 36% większa u samic.

Uwagi: Rozdział jest napisany jasno i zrozumiale a przedstawione w nim dane nie budzą zastrzeżeń. Na szczególną uwagę zasługuje wykorzystanie do badań techniki obrazowania 3D, która w znaczny sposób wzbogaciła uzyskane dane i otworzyła nowe możliwości dalszych badań nad wrzecionami mięśniowymi u ssaków.

1.6. Dyskusja, jak się spodziewałam po przeczytaniu wstępu istotnie jest wieloaspektowa i interesująca, najważniejsze jej aspekty można streścić w następujący sposób: Sport od starożytności organizowany był głównie dla mężczyzn, a udział kobiet w zawodach długo budził sprzeciw. Kobiety dopuszczono do igrzysk olimpijskich dopiero w 1908 r., w zaledwie dwóch dyscyplinach. Decyzję o rozdziale rywalizacji między płciami uzasadniano różnicami motorycznymi i kulturowymi. Badania wykazały, że mężczyźni osiągają lepsze wyniki w sportach szybkościowych i wytrzymałościowych, natomiast kobiety mają przewagę w precyzji ruchów dzięki propriocepcji, czyli czuciu głębokiemu. Proprioceptory, a zwłaszcza wrzeciona mięśniowe, odpowiadają za kontrolę pozycji ciała i precyzję ruchu. Ich gęstość i rozmieszczenie zależą od rodzaju mięśnia – większa występuje w mięśniach odpowiedzialnych za drobne, precyzyjne ruchy, a mniejsza w mięśniach dużych, angażowanych w ruchy całego ciała. Badania z wykorzystaniem modelu badawczego szczurów szczepu Wistar wykazały brak istotnych różnic między płciami w liczbie, długości i średnicy wrzecion mięśniowych, ale stwierdzono wyższą ich gęstość u samic. Może to tłumaczyć większą dokładność ruchów kobiet. Hipoteza o istotnym wpływie hormonów męskich na rozwój wrzecion nie znalazła potwierdzenia.

Wyniki analiz wskazują, że rozmieszczenie wrzecion w mięśniach ma charakter powtarzalny i zgodny z wcześniejszymi obserwacjami innych gatunków. Nowatorskie wykorzystanie rekonstrukcji 3D pozwoliło precyzyjnie ocenić ich lokalizację w mięśniu brzuchatym łydki. Ostatecznie ustalono, że gęstość wrzecion mięśniowych jest czynnikiem różnicującym między płciami i może mieć znaczenie dla wyjaśnienia większej precyzji ruchowej kobiet, co znajduje odzwierciedlenie zwłaszcza w sportach wymagających dokładności, takich jak łucznictwo czy strzelectwo.

Uwagi: Rozdział jest napisany jasno i zrozumiale, a zawarte w nim treści świadczą o bardzo dobrym teoretycznym przygotowaniu Doktorantki nie tylko do realizacji zadań badawczych, ale także do interpretacji uzyskanych wyników. W tym miejscu pragnę podkreślić, że rozdział Dyskusja, podobnie, jak cały autoreferat napisany jest piękną, poprawną polszczyzną, co jest rzadkością w opracowaniach tego typu.

Na szczególną uwagę zasługuje wykorzystanie do badań techniki obrazowania 3D, która w znaczny sposób wzbogaciła uzyskane dane i otworzyła nowe możliwości dalszych badań nad wrzecionami mięśniowymi u ssaków.

1.7. Wnioski Ten rozdział jest zredagowany w postaci 7 punktów, które są bardziej podsumowaniem wyników, niż właściwymi wnioskami. Należy pamiętać, że wnioski, to uogólnienie wyników oraz interpretacja ich znaczenia.

Uwagi: Zastosowana w punktach „wyliczanka” stanowi potwierdzenie założonych hipotez 1, 2 i 4 i zaprzeczenie hipotezy 3. Jedynym właściwym wnioskiem jest pkt 7, który implikuje dalsze możliwości zastosowania nowatorskiej metody obrazowania 3D w tego typu badaniach. Żałuję, że Doktorantka po napisaniu tak wieloaspektowej dyskusji, w której starała się interpretować uzyskane wyniki nie pokusiła się przynajmniej o uwzględnienie swoich przemyśleń we wnioskach.

Podsumowanie

Po przeanalizowaniu całości dysertacji pragnę podkreślić, że zawarte w recenzji krytyczne uwagi w żadnym stopniu nie obniżają bardzo wysokiej wartości przedstawionej do recenzji pracy. Mam świadomość, że w tak obszernym i wieloaspektowym opracowaniu trudno ustrzec się błędów. Doktorantka podjęła się bardzo ambitnego a zarazem bardzo trudnego zadania badawczego. Badania opisane w rozprawie doktorskiej zostały dobrze zaplanowane, a ich cel został osiągnięty, co pozwoliło na zweryfikowanie hipotez badawczych. Z całą stanowczością stwierdzam, że praca Pani mgr Magdaleny Piotr (*de domo* Gartych) wnosi do nauki nowe cenne dane, ponieważ w badaniach nad wrzecionami mięśniowymi w mięśniu brzuchatym przyśrodkowym łydki szczurów wykorzystano nowatorską technikę wizualizacji 3D. Było to pierwsze opracowanie, które pozwoliło zobrazować



rozmieszczenie i układ przestrzenny wrzecion mięśniowych w formie trójwymiarowej, podczas gdy wcześniejsze analizy ograniczały się do obrazów 2D lub modeli w jednej osi. Zastosowana metoda rekonstrukcji 3D okazała się skutecznym narzędziem w realizowanych badaniach i może znaleźć szerokie zastosowanie w przyszłych badaniach nad unerwieniem czuciowym mięśni szkieletowych. Ponadto, uzyskane w pracy dane oraz zastosowane nowatorskie techniki badawcze mogą być cennym źródłem informacji dla badaczy zainteresowanych funkcjonowaniem wrzecion mięśniowych w mięśniach kręgowców i ich wpływem na sprawność ruchową.

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona od oceny rozprawa doktorska Pani mgr Magdaleny Piotr (*de domo* Gartych) jest oryginalnym rozwiązaniem problemu badawczego i dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych, spełniając tym samym warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.). W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Akademii Wychowania Fizycznego im. E. Piaseckiego w Poznaniu o dopuszczenie Pani mgr Magdaleny Piotr (*de domo* Gartych) do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej.

Weronika Rupik

