

dr hab. Katarzyna Kisiel-Sajewicz, prof. AWF
Zakład Kinezylogii
Wydział Fizjoterapii
Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu
Al.I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław
e-mail: katarzyna.kisiel-sajewicz@awf.wroc.pl

Wrocław, 5 maja 2021

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Joanny Rakoczy
pt. „Przejęciowe obniżenie generowanej siły skurczu jednostek ruchowych po spadku
częstotliwości pobudzeń”

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr Joanny Rakoczy jest spójnym tematycznie cyklem artykułów naukowych pod tytułem. „Przejęciowe obniżenie generowanej siły skurczu jednostek ruchowych po spadku częstotliwości pobudzeń”.

Zgodnie z wymaganiami ustawy o stopniach naukowych rozprawa doktorska mgr Joanny Rakoczy obejmuje dwa opublikowane, powiązane tematycznie oryginalne artykuły naukowe stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z zakresu dyscypliny nauk o kulturze fizycznej. Prace zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, uznanych wydawców. Mgr Joanna Rakoczy jest pierwszym autorem w w dwóch publikacjach. Doktoranka załączyła do rozprawy oświadczenia współautorów, którzy przedstawili w nich swój udział. Wiodący wkład Doktorantki w opublikowanych pracach potwierdza również fakt, że wyniki badań przedstawione w publikacjach zostały przygotowane na podstawie badań zrealizowanych w ramach projektu naukowego PRELUDIUM 10 (2015/19/N/NZ7/01617) finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, którego Joanna Rakoczy (Grzesiak) była kierownikiem i otrzymała finansowanie w ramach konkursu o zasięgu ogólnokrajowym.

Publikacje składające się na rozprawę doktorską to:

1. **Grzesiak J.**, Kryściak K., Drzymała-Celichowska H., Celichowski J. Transitory force decrease following a sudden reduction in stimulation frequency in motor units of rat medial gastrocnemius. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 46, 14–20, 2019; March 2, 2019; doi: 10.1016/j.jelekin.2019.02.008; IF= 1.740; punktacja ministerstwa – 100 pkt.
2. **Rakoczy J.**, Kryściak K., Drzymała-Celichowska H., Raikova R., Celichowski J. Biomechanical conditioning of the motor unit transitory force decrease following a reduction in stimulation rate. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* 12(1):60, 2020; September 29, 2020; doi: 10.1186/s13102-020-00208-6; IF= 1,979; punktacja ministerstwa – 100 pkt.

Publikacje przedstawiają wyniki badań podstawowych z zakresu fizjologii mięśni szkieletowych. Te oryginalne prace badawcze o charakterze eksperymentalnym, zostały podjęte w celu zdobywania nowej wiedzy na temat podstaw nowego, zaobserwowanego zjawiska przejściowego obniżenia zdolności do generowania siły skurczu jednostek motorycznych na skutek dynamicznej zmiany częstotliwości pobudzeń. Problem badawczy prezentowany w artykułach jest interesujący i oryginalny. Zarówno w opublikowanych

pracach oraz w autoreferacie został przedstawiony właściwie, z uzasadnieniem podjętego tematu badań na podstawie przeglądu literatury ze wskazaniem braku w literaturze danych dotyczących podstaw mechanizmów zaobserwowanego, przejściowego obniżenia generowanej siły skurczu jednostek motorycznych na skutek skokowego i płynnego spadku częstotliwości pobudzeń. Celem pierwszej pracy była ocena częstotliwości występowania zjawiska przejściowego obniżenia generowanej siły w trzech typach jednostek ruchowych oraz określenie amplitudy spadku siły w zależności od cech skurczu jednostek ruchowych (FF, FR, S) na skutek zastosowania stymulacji skokowej trójfazowej (niskiej-wysokiej-niskiej). Celem drugiej pracy była weryfikacja hipotez, które odnosiły się do badań podłoża biomechanicznego zaobserwowanego zjawiska. Stąd celem tych badań była ocena wpływu stopnia rozciągnięcia mięśnia na badane zjawisko, oszacowanie minimalnej liczby bodźców wysokiej częstotliwości niezbędnych do wywołanie przejściowego spadku siły oraz ocena badanego efektu w zależności od liczby aktywnych jednostek motorycznych. Ponadto, zastosowano model stymulacji płynnej (sinusoidalnej), bliższy wzorcom wyładowań motoneuronów podczas sterowania wielkością generowanej siły w skurczach dowolnych u ludzi, w celu sprawdzenia możliwości występowania i/lub wpływu tego zjawiska nie tylko na zachowanie się generowanej siły w badaniach na modelu zwierzęcym podczas stymulacji, ale także u ludzi. W celu oceny zmian cech skurczu wykonano analizę parametrów pojedynczych odpowiedzi badanych jednostek ruchowych na kolejne pobudzenia zdekomponowane ze skurczu tężcowego przy zastosowaniu analiz matematycznych.

Problematyka badawcza podjęta w pracach jest istotna, ze względu na poszerzenie wiedzy na temat mechanizmów sterowania siłą skurczu mięśni szkieletowych poprzez zmianę układu pobudzeń. Znajomość podstaw fizjologicznych i biomechanicznych badanego efektu, ma zastosowanie we właściwej interpretacji analizowanych parametrów generowanej siły na skutek stosowanych elektrostymulacji w celach diagnostycznych oraz terapeutycznych u osób z chorobami nerwowo-mięśniowych oraz neurologicznymi, wynikającymi z zaburzeń ośrodkowego układu nerwowego, które determinują częstotliwość pobudzeń motoneuronów oraz zaburzeń odbioru i percepcji czucia z receptorów, które modulują odpowiedź mięśni szkieletowych. Świadomość stosowania wzorców stymulacji o określonych zakresach częstotliwości oraz dynamice ich zmian, warunkuje prawidłowe stosowanie i właściwy kierunek oczekiwanych zmian właściwości mechanicznych i elektrofizjologicznych mięśni szkieletowych w rehabilitacji oraz w popularnych coraz częściej treningach z wykorzystaniem elektrostymulacji mięśni szkieletowych, których skutki nie zostały w literaturze dotychczas jednoznacznie udokumentowane. Z uwagi na charakter zjawiska, który pozostaje w związku z sugerowanym wpływem struktur kolagenowych w transmisji siły, wyniki tych badań mają wpływ na poszerzenie wiedzy na temat nie do końca wyjaśnionych mechanizmów zmian czynności elektromiograficznej mięśni szkieletowych na skutek terapii stosowanych w fizjoterapii nakierowanych na zmianę właściwości mechanicznych (np. sztywności) i lepko-sprężystych mięśni szkieletowych (np. w technikach powięziowych, masażu) oraz wpływu układu wyładowań na regulację siły skurczu w mięśniach szkieletowych u osób w chorobach nerwowo-mięśniowych, w których dochodzi do zmiany struktury i czynności jednostek motorycznych, zmiany terytorium i składu jednostek motorycznych trzech typów w mięśniach.

Hipotezy badawcze zostały prawidłowo i logicznie uzasadnione oraz wnikliwie weryfikowane w opublikowanych pracach (odpowiednio w pierwszej i drugiej publikacji) za pomocą właściwej koncepcji badań oraz metodologii.

Należy podkreślić, że podjęty problem badawczy z zastosowanymi procedurami i skrupulatnie przemyślaną koncepcją badań został zrealizowany zgodnie z zasadami etycznymi stosowanymi w nauce. Badania zostały przeprowadzone za zgodą wymaganej Komisji Etycznej do spraw Doświadczeń na Zwierzętach oraz zgodnie: z zasadami i wytycznymi

opieki i stosowania zwierząt w zakresie nauk fizjologicznych, z polskim prawem o ochronie zwierząt oraz europejskimi regulacjami prawnymi. Te kwestie zostały prawidłowo przedstawione w opublikowanych artykułach.

Materiał i metody badawcze w obu artykułach zostały opisane prawidłowo i bardzo szczegółowo. Dokładnie zostały opisane wszystkie procedury eksperymentalne z protokołami stosowanych stymulacji. Analizowane parametry zostały przejrzysto opisane w tekście i przedstawione z wykorzystaniem trafnie dobranych i opisanych wyczerpująco rycin. Opisane metody badań wraz z przeprowadzonymi analizami w obu artykułach świadczą o rzetelności i trafności przeprowadzonych badań oraz wiarygodności uzyskanych wyników. Pomimo obszerności zawartych procedur eksperymentalnych w dwóch publikacjach, w których protokoły badań drugiej publikacji stanowią kontynuację przeprowadzonych eksperymentów w pierwszej pracy, w celu wyjaśnienia podstaw mechanizmów zachodzącego zjawiska, opisane procedury są jasne i czyta się je z zainteresowaniem. Z uwagi na zróżnicowanie cech skurczu jednostek motorycznych oraz właściwości mechanicznych mięśni szkieletowych w zależności od płci, moje pytanie do Doktorantki odnosiłoby się do uzasadnienia wyboru w prezentowanych badaniach płci badanych szczurów oraz w oparciu o dotychczasowe wyniki badań Zespołu oraz w literaturze światowej, czy to nowo zaobserwowane zjawisko przejściowego obniżenia zdolności generowania siły skurczu jednostek ruchowych po spadku częstotliwości pobudzeń obserwowane jest z podobną różną częstotliwością w trzech typach jednostek u samców w tym badanym mięśniu.

Wyniki badań w obu publikacjach przedstawione są zwięźle i weryfikują postawione hipotezy. Do tej części miałabym pewne sugestie, dotyczące prezentacji wyników w publikacji pierwszej z cyklu. W tabeli 1. w publikacji Grzesiak i wsp. (2019), w celu właściwej weryfikacji zróżnicowania wartości parametrów (dotyczących cech skurczu) w poszczególnych typach jednostek ruchowych z uwzględnieniem występowania lub braku przejściowego obniżenia siły umieściłabym liczby jednostek motorycznych. Autorzy wykazują te liczby w tekście, z związku z tym prawidłowo nie umieszczali ich w tabeli (aby nie powielać prezentowanych wyników), jednakże ułatwiłoby to z mojego punktu widzenia ocenę zróżnicowania umieszczonych wartości średnich i SD parametrów kurczliwych w stosunku do wielkości próby (n). Ponadto, ułatwiłoby weryfikację (w odniesieniu do przeprowadzonych analiz statystycznych) zanotowanych różnic spadku siły wyrażonego w [%] i przedstawionego na ryc. 3B pomiędzy jednostkami ruchowymi (FF, FR, S) przy stosunkowo wysokim odchyleniu standardowym dla jednostek typu FR. W mojej ocenie wyniki bardzo złożonych i licznych eksperymentów prezentowanych w dwóch publikacjach zostały przedstawione w logicznym układzie, bardzo czytelnie, rzetelnie, z wielką starannością w prezentacji wyników w tekście i na rycinach oraz z wnikliwą analizą badanego efektu i jego biomechanicznych podstaw.

Dyskusje w obu publikacjach przeprowadzone są bardzo wnikliwie na podstawie właściwego przeglądu i doboru literatury. Treści tych sekcji ściśle odnoszą się do uzyskanych wyników, bez zbędnych spekulacji. W logiczny sposób, wnikliwie omówione zostały i zinterpretowane uzyskane wyniki badań i zweryfikowane hipotezy. Przeprowadzone badania wykazały obecność nowego zjawiska w fizjologii mięśni - przejściowego obniżenia zdolności generowania siły skurczu jednostek ruchowych po spadku częstotliwości pobudzeń, które można zaobserwować z różną częstością w trzech typach jednostek ruchowych. Jednakże zanotowano, że ten spadek siły jest najczęściej obserwowany dla jednostek typu FR. Wskazano, że zjawisko to zależy od parametrów siły skurczu jednostki oraz wypełnienia skurczu tężcowego. Potwierdzono, że zjawisko ma podłoże biomechaniczne i zależne jest od rozciągnięcia mięśnia (największy spadek zaobserwowano w warunkach optymalnych dla rozwinięcia najwyższej siły skurczu) oraz aktywności innych jednostek ruchowych w mięśniu brzuchatym łydki szczura, a do jego wywołania niezbędne jest co najmniej kilka bodźców o

wysokiej częstotliwości w układzie pobudzeń. Ponadto zaobserwowano, że badany efekt występuje przy skokowym i sinusoidalnym modelu zmiany częstotliwości stymulacji, wskazując na możliwość wpływu tego zjawiska na zachowanie się siły skurczu mięśni podczas skurczu dowolnego.

Podsumowanie

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr Joanna Rakoczy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, który dotyczy mechanizmów przejściowego obniżenia generowanej siły skurczu jednostek motorycznych na skutek dynamicznej zmiany częstotliwości pobudzeń. Rozprawa doktorska w formie spójnych tematycznie oryginalnych publikacji (opublikowanych w prestiżowych czasopismach w zakresie prezentowanej tematyki, uznanych wydawców) przedstawia nowatorskie wyniki badań uzyskane w pracach eksperymentalnych. Koncepcję przeprowadzonych badań, protokoły eksperymentów oraz przeprowadzone skrupulatnie, z dbałością o kontrolowanie wszelkich zmiennych protokoły rejestracji oceniam bardzo wysoko pod względem metodologicznym. Przemysłane, starannie przeprowadzone eksperymenty pozwoliły w sposób właściwy zweryfikować postawione hipotezy badawcze oraz wnikliwie zbadać charakter przyczynowo-skutkowy badanego zjawiska - obniżenia wielkości generowanej siły na skutek zmiany wzorca pobudzeń. Wyniki przeprowadzonych badań w logiczny i przejrzysty sposób zostały przedstawione i zinterpretowane w publikacjach oraz podsumowane w autoreferacie, w którym spójnie Doktorantka przedstawia wnioski wynikające z opublikowanych wyników badań.

Uważam, że rozprawa doktorska pt. „Przejściowe obniżenie generowanej siły skurczu jednostek ruchowych po spadku częstotliwości pobudzeń” w formie spójnych tematycznie opublikowanych oryginalnych artykułów naukowych spełnia wszystkie wymogi stawiane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce rozprawom naukowym na stopień doktora. Wnioskuje o dopuszczenie Pani mgr Joanny Rakoczy do dalszych etapów przewodu doktorskiego i nadanie na podstawie niniejszej rozprawy doktorskiej stopnia doktora w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej. W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr Joanny Rakoczy zasługuje na wyróżnienie.

Katarzyna Kisiel-Sajewicz

Katarzyna Kisiel-Sajewicz