

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
WE WROCŁAWIU  
WYDZIAŁ FIZJOTERAPII

Aleksandra Rywacka

**WPLYW NEUROELEKTROSTYMULACJI NA  
PARAMETRY SIŁOWO-PRĘDKOŚCIOWE MIĘŚNI  
PROSTOWNIKÓW STAWU KOLANOWEGO  
U OSÓB ZDROWYCH W WIEKU 22 – 30 LAT**

Rozprawa doktorska wykonana w Zakładzie Fizjoterapii w Neurologii  
i Pediatrii, Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego we  
Wrocławiu

Promotor:

*dr hab. inż. Alicja Dziuba-Słonina  
prof. AWF*

WROCŁAW 2021

Przede wszystkim pragnę złożyć szczególne podziękowania **Pani dr hab. inż. Alicji Dziubie-Sloninie, prof. AWF** za cierpliwą opiekę promotorską w czasie moich studiów doktorskich, bezcenne sugestie, zaangażowanie i profesjonalizm oraz pomoc naukową podczas pisania niniejszej pracy doktorskiej.

Pani **doktor Małgorzacie Stefańskiej** za wszelkie wskazówki merytoryczne, uwagi i możliwość konsultacji w trakcie pisania pracy oraz **Pani magister Annie Koziątek** za cierpliwość podczas wspólnie spędzonych godzin przy obliczeniach statystycznych i analizie wyników.

Dziękuję **Kochanym Rodzicom, Braciom i Bratowym** za wiarę i wsparcie, a w szczególności **Agnieszce** za każdy wstawiony przecinek, tam gdzie go nie było, a powinien być.

Pragnę również podziękować wszystkim moim **Przyjaciółom** za cierpliwość i wyrozumiałość. **Mieciowi, Darii, Oliwii, Ani oraz Uli** za cenne uwagi, wsparcie i pomoc w trakcie pisania niniejszej pracy.

Dziękuję wszystkim, których tu nie wymieniłam, a którzy się przyczynili do powstania niniejszej pracy.

## Spis treści

I WSTĘP .....	5
I 1. Wprowadzenie .....	5
I 2. Wpływ elektrostymulacji mięśni na tkankę mięśniową.....	7
I 3. Wpływ elektrostymulacji na cechy motoryczne .....	10
I 4. Zmiany fizjologiczne po elektrostymulacji .....	12
I 5. Elektrostymulacja jako element treningu sportowego.....	13
I 6. Elektrostymulacja metodą RSQ1 .....	14
I 7. Zastosowanie elektrostymulacji u osób po urazie stawu kolanowego .....	15
II CEL PRACY .....	19
III PYTANIA BADAWCZE .....	19
IV OSOBY BADANE I METODY BADAWCZE.....	20
IV 1. Osoby badane .....	20
IV 2. Metody badawcze .....	21
IV 3. Metody statystyczne.....	27
V WYNIKI .....	28
V 1. Analiza obwodów uda w dwóch punktach antropometrycznych (C1 i C2) w grupie badanej i kontrolnej .....	28
V 2. Praca statyczna .....	30
<b>V 2.1. Szczytowy moment siły prostowników (P<sub>Te</sub>) i zginaczy (P<sub>Tf</sub>) [Nm]</b>	<b>30</b>
<b>V 2.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły                 antagonistów (A<sub>g</sub>/A<sub>ng</sub>)</b>	<b>31</b>
V 3. Praca dynamiczna: parametry przy prędkości 60°/s.....	33
<b>V 3.1. Szczytowy moment siły (60°/s) prostowników (P<sub>Te</sub>) i zginaczy (P<sub>Tf</sub>)</b>	<b>33</b>

<b>V 3.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) (60°/s)</b>	<b>34</b>
<b>V 3.3. Praca całkowita (60°/s) prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J]</b>	<b>36</b>
<b>V 3.4. Średnia moc (60°/s) prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W]</b>	<b>38</b>
V 4. Praca dynamiczna: parametry przy prędkości 180°/s.....	39
<b>V 4.1. Szczytowy moment siły (180°/s) prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm]</b>	<b>39</b>
<b>V 4.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (180°/s) (Ag/Ang) [%]</b>	<b>41</b>
<b>V 4.3. Praca całkowita (180°/s) prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J]</b>	<b>42</b>
<b>V 4.4. Średnia moc (180°/s) prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W]</b>	<b>44</b>
V 5. Praca dynamiczna: parametry dla prędkości 300°/s.....	45
<b>V 5.1. Szczytowy moment siły (300°/s) prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm]</b>	<b>45</b>
<b>V 5.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (300°/s) (An/Ang) [%]</b>	<b>46</b>
<b>V 5.3. Praca całkowita (300°/s) prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J]</b>	<b>48</b>
<b>V.5.4. Średnia moc (300°/s) prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W]</b>	<b>49</b>
VI DYSKUSJA.....	51
VII WNIOSKI.....	68
VIII PIŚMIENNICTWO.....	70
STRESZCZENIE.....	77
ABSTRACT.....	80
SPIS RYCIN.....	83
SPIS TABEL.....	85

## **I WSTĘP**

### **I 1. Wprowadzenie**

W XXI wieku fizjoterapia stała się dziedziną wiedzy, w której coraz większą popularnością cieszy się holistyczny model usprawniania. Rehabilitacja znacznie poszerzyła swój zakres, obejmując nie tylko leczenie i usprawnianie, ale również promocję zdrowia oraz prewencję. Obecnie fizjoterapeuci pracując z pacjentami nie tylko specjalizują się w ścisłych dziedzinach medycyny, ale także pełnią ważną rolę w układaniu i prowadzeniu treningów dla sportowców, czy osób prowadzących aktywny tryb życia, dzięki czemu ryzyko urazu wśród tej grupy społeczeństwa znacznie maleje. Fizjoterapeuta w swojej pracy zajmuje się przywracaniem sprawności ruchowej osobom po urazach lub chorobie, zapobieganiu powtórny kontuzjom, a także profilaktyką. W związku z tym, że nauka cały czas się rozwija, to fizjoterapia również ulega ciągłej ewolucji (Pezdek i Michaluk, 2013). Rozwój takiej dziedziny wiedzy jaką jest fizjoterapia oznacza ciągłą naukę oraz doskonalenie procedur rehabilitacji, usprawniania pacjentów i optymalizowania programów treningowych. Indywidualnie dobrany program usprawniania prowadzi do szybszej diagnostyki, sprawnej oceny możliwości pacjenta i - co najważniejsze - szybszego powrotu do zdrowia. Natomiast dzięki zoptymalizowanemu programowi treningowemu sportowiec może uniknąć urazu oraz osiągać lepsze wyniki w uprawianej dyscyplinie (Parker i wsp., 2003).

Postęp technologiczny w medycynie i fizjoterapii oraz kompleksowe podejście do leczenia, rehabilitacji czy treningu stworzyły nowe, większe możliwości usprawniania oraz wpłynęły na powstanie nowych metod elektroterapii. Zabiegi elektroterapii kwalifikują się do metod terapii fizykalnej wykorzystującej albo prądy stałe albo prądy impulsowe o małej, średniej i wielkiej częstotliwości (Thomson i wsp., 2003). Podczas przepływu prądu stałego przez tkanki zachodzą zjawiska elektrochemiczne, elektrokinetyczne oraz elektrotermiczne, dzięki którym dochodzi do podwyższenia się progu pobudliwości nerwów, obniżenia ich przewodnictwa oraz zwiększenia ukrwienia części ciała poddanej zabiegowi. Zabiegi elektroterapii z wykorzystaniem prądu stałego, tj. galwanizacji czy jonoforezy znajdują głównie zastosowanie w leczeniu nerwobólów, przewlekłych zapaleń nerwów, splotów i korzeni nerwowych, zmniejszają odczyn zapalny i poprawiają krążenie

obwodowe (Chen i wsp., 2004). Prąd stały wykorzystywany jest także podczas zabiegów jonoforezy, polegających na zaaplikowaniu siłami pola elektrycznego jonów leków ulegających rozpadowi (dysocjacji) elektrolitycznej w wodzie. Działanie jonoforezy zależy od rodzaju leku jaki zostanie wykorzystany podczas zabiegu (m.in. przeciwbólowo, bakteriostatycznie, przeciwzapalnie oraz przeciwobrzękowo). Jonoforeza stosowana jest głównie w leczeniu urazów tkanek miękkich stawów i pochewek ścięgnistych czy w utrudnionych zrostach kości oraz w zespole Sudecka (Yamamoto i wsp., 2013). Zabiegi elektroterapii prądem impulsowym składają się natomiast z ciągu impulsów elektrycznych o różnym kształcie i parametrach, które wywołują potencjał czynnościowy w błonach komórek pobudliwych. W zależności od lokalizacji powstania, potencjał czynnościowy powoduje skurcz mięśnia lub wrażenie czuciowe. Do zabiegów elektroterapii prądem impulsowym zaliczamy m.in. elektrostymulację mięśni (EMS), funkcjonalną elektrostymulację (FES), przezskórną stymulację nerwów (TENS), prądy diadynamiczne Bernarda (DD) czy prądy interferencyjne Nemeca (których działanie lecznicze zależy od użytej częstotliwości podczas terapii), znajdujące zastosowanie w leczeniu ran i obrzęków, zmniejszeniu bólu pourazowego oraz do stymulacji nerwów, np. nerwu strzałkowego, przy reedukacji chodu u osób z niedowładem lub porażeniem połowicznym (Drygalski i wsp., 2006; Skinner i wsp., 2003).

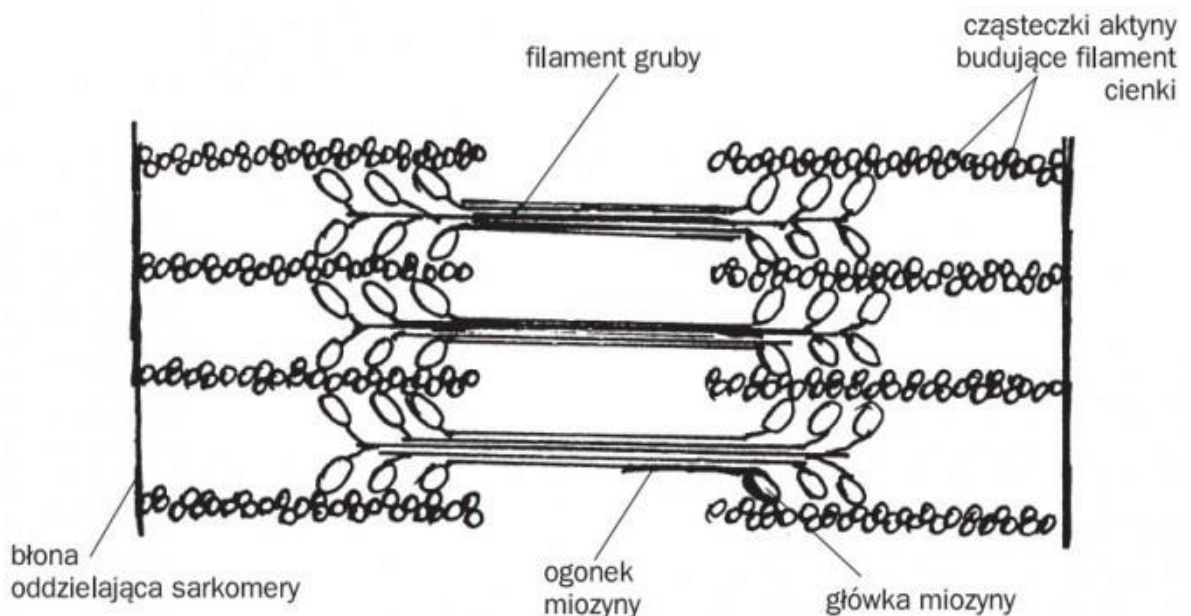
W elektrostymulacji (EMS) najczęściej stosowane są prądy impulsowe o kształcie prostokątnym. Bezpośrednia stymulacja mięśnia prądem lub pośrednia stymulacja nerwu może powodować jego skurcz. W elektrostymulacji (EMS) wykonuje się zabiegi metodą jedno- lub dwubiegunową. W metodzie jednobiegunowej (monopolarnej) do pobudzenia mięśnia bądź nerwu stosuje się mniejszą (ujemną - katodę) elektrodę czynną, którą umieszcza się na skórze (punkcie motorycznym mięśnia lub nerwie zaopatrującym dany mięsień). Elektroda bierna (dodatnia - anoda) znajduje się nad przyczepem mięśnia czy nerwem ruchowym. Natomiast w metodzie dwubiegunowej (bipolarnej) elektrody są tej samej wielkości, które umieszcza się albo w miejscu przejścia ścięgna w brzusiec stymulowanego mięśnia, albo bezpośrednio na jego brzuscu. Anodę układa się w kierunku proksymalnym (przyczep początkowy mięśnia), a katodę w kierunku dystalnym (przyczep końcowy mięśnia). Istnieje także metoda czterobiegunowa (tetrapolarna), gdzie stosuje się

4 elektrody. W efekcie elektrostymulacji dochodzi do aktywizacji procesów naprawczych i regeneracyjnych w uszkodzonej tkance miękkiej czy kostnej (Brighton i wsp., 2001).

W wielu dziedzinach takich jak: fizjoterapia, ortopedia, medycyna sportowa czy trening sportowy (zarówno zaawansowany jak i amatorski) obserwuje się duży rozwój i rozpowszechnienie metody nerwowo-mięśniowej elektrostymulacji (NMES) mięśni szkieletowych jako elementu wspomagającego trening sportowy. Dużą zaletą takiej formy treningu jest wykonanie ściśle konkretnej czynności przez wybrane mięśnie. Ma to zastosowanie szczególnie u mniej doświadczonych zawodników, którzy nie potrafią wyeksponować konkretnego mięśnia podczas ćwiczeń.

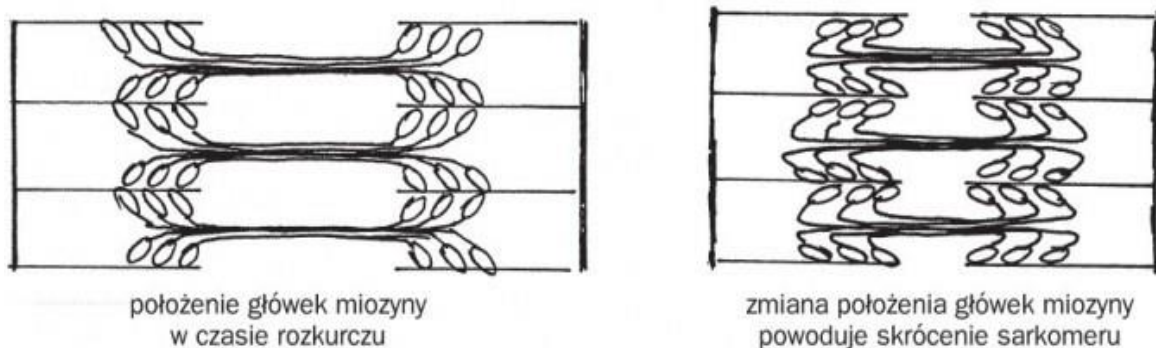
## I 2. Wpływ elektrostymulacji mięśni na tkankę mięśniową

Mechanizm skurczu mięśni szkieletowych jest mechanizmem ślizgowym, którego efektem jest wsuwanie się filamentów aktynowych (cienkich) między miozynowe (grube). Zjawisko to zachodzi w obrębie sarkomeru, który jest podstawową jednostką funkcjonalną włókna mięśniowego (Rys. 1).



**Rysunek 1. Położenie filamentów cienkich (aktynowych) oraz filamentów grubych (miozynowych) w obrębie sarkomeru**

Pod wpływem impulsu nerwowego zmianie ulega napięcie błony komórkowej włókna mięśniowego, w wyniku czego dochodzi do uwolnienia jonów wapnia ( $\text{Ca}^{2+}$ ) z retikulum sarkoplazmatycznego komórek mięśniowych do cytoplazmy. Jony wapnia ( $\text{Ca}^{2+}$ ) powodują zmianę ułożenia główek miozyny, wykorzystując źródło energii jakim jest hydroliza (rozpad) ATP (adenozynotrifosforan) na ADP (adenozynodifosforan) i Pi (fosforan nieorganiczny - energia). Przesunięcie główek miozyny powoduje wsunięcie aktyny i skrócenie sarkomeru. Sumując efekt skracania sarkomerów można zaobserwować skurcz całego włókna mięśniowego (Arakawa i wsp., 2010) (Rys. 2).



**Rysunek 2. Mechanizmy ślizgowy skurczu mięśnia szkieletowego w obrębie sarkomeru**

Zgodnie z zasadami neurofizjologii, skurcz włókna mięśniowego następuje kiedy potencjał czynnościowy motoneuronu alfa (neuron eferentny, wychodzący wypustkami z rdzenia kręgowego lub pnia mózgu, tworzący synapsy z włóknami mięśniowymi) osiągnie poziom depolaryzacji. Potencjał czynnościowy nerwu może być wywołany „poleceniem” pochodzącym z kory ruchowej mózgu lub bodźcem indukowanym elektrycznie na obwodzie. W obu przypadkach mechanizm propagacji potencjału czynnościowego i uwalniania przez synapsy substancji przekaźnikowej jest taki sam. Zasadnicza różnica między tymi dwoma mechanizmami i wynikającym z tego skurczem mięśnia istnieje w kolejności rekrutacji poszczególnych jednostek motorycznych (Guan i wsp., 2010). Podczas dobrowolnego skurczu mięśnia najpierw rekrutowane są jednostki motoryczne, składające się głównie z włókien czerwonych typu I (wolnokurczliwe, odpowiadające za metabolizm tlenowy), które są odporne na zmęczenie. Podczas elektrostymulacji na początku rekrutowane są włókna białe typu II (szybkokurczliwe,



odpowiadające za metabolizm beztlenowy), które szybko ulegają zmęczeniu (Arakawa i wsp., 2010; Kim i wsp., 2012).

Nerwowo-mięśniowa elektrostymulacja (NMES) polega na wzbudzeniu mimowolnego skurczu mięśni przy zastosowaniu jednego spośród wielu rodzajów prądów impulsowych o częstotliwości powyżej 10 Hz. Dzięki impulsom elektrycznym dochodzi do synchronicznego uruchamiania jednostek motorycznych docelowego mięśnia, co powoduje zwiększenie jego poziomu aktywności (Maffiuletti i wsp., 2009; Kowza-Dzwonkowska, 2018). Pette ze swoim zespołem badali wpływ stosowania długotrwałego i krótkotrwałego EMS na tkankę mięśniową. Długotrwała stymulacja EMS powoduje transformację w retikulum sarkoplazmatycznym włókien mięśniowych szybko kurczliwych (typ II) w wolno kurczliwe (typ I). Stwierdzili, że stosując zabiegi EMS powyżej 2 tygodni (5 razy w tygodniu) dochodzi do zwiększenia włókien wolno kurczliwych (typ I) o 10% i jednocześnie zmniejszenia o 20% włókien szybko kurczliwych (typ II), co powoduje, że mięsień staje się bardziej wytrzymały i odporny na zmęczenie. Natomiast krótkotrwałe stosowanie EMS (2 - 13 dni) skraca czas uzyskania skurczu przez mięsień, w wyniku czego mięsień ten szybciej reaguje na bodziec. Po zastosowaniu zabiegów NMES mięśnie uzyskują wyższy poziom aktywności z upływem czasu niż po wykonywaniu wyłącznie ćwiczeń. Elektrostymulacja powoduje także wzrost syntezy cytrynianowej (CS) do 9% oraz zmniejsza aktywność dehydrogenazy aldehydu 3-fosfoglicerynowego o 7% (GAPDH), co polepsza możliwość mięśni do wysiłku tlenowego (Pette i wsp., 2006). Treningi NMES kończyn dolnych zastosowane u osób starszych wpływają na regenerację mięśni szkieletowych poprzez obniżenie statusu oksydacyjnego w komórkach satelitarnych. Zwiększa się także liczba jąder we włóknie mięśniowym i powierzchnia przekroju poprzecznego mięśni, a także fenotyp włókien mięśniowych. Dzięki elektrostymulacji (EMS) dochodzi do różnicowania się komórek satelitarnych i miogennych wraz ze wzrostem stężenia wapnia ( $Ca^{2+}$ ) w cytoplazmie, który jest niezbędny w procesie skurczu włókna mięśniowego. Badania wykazały, że elektrostymulacja poprawia moment siły mięśni szkieletowych oraz mobilność u seniorów (Di Filippo i wsp., 2017). Bax i wsp. przedstawili przegląd literatury, gdzie liczne badania wykazują, że EMS zapobiega hipotrofii poprzez stymulację rozrostu tkanki mięśniowej i powstawania nowych włókien mięśniowych (miofibrili) (Bax i wsp., 2005).

### I 3. Wpływ elektrostymulacji na cechy motoryczne

Filipovic i wsp. w 2012 roku wykonali przegląd literatury na temat wpływu różnych metod elektrostymulacji na parametry siłowo-prędkościowe u osób prowadzących aktywny tryb życia, a także u zawodowych sportowców. Spośród około 200 badań wybrano 89 badań według określonych kryteriów, tj. wiek badanego, jego stan zdrowia, typ zastosowanej elektrostymulacji (globalna czy miejscowa) oraz czas trwania eksperymentu. Analizowano parametry, tj. maksymalny moment siły, moc, skoczność i sprint. W analizie wzięto pod uwagę osoby nie uprawiające sportu, osoby uprawiające sport amatorsko oraz zawodowych sportowców. Ta analiza naukowa wykazała, że stosowanie elektrostymulacji pozytywnie wpływa na rozwój sprawności fizycznej (Filipovic i wsp., 2012). W licznych badaniach wykazano, że stosowanie elektrostymulacji od 3 do 6 tygodni ma pozytywny wpływ na parametry, tj. maksymalny moment siły, prędkość oraz moc, a polepszenie tych parametrów powoduje zwiększenie wysokości skoku oraz poprawę czasu sprintu (Bircan i wsp., 2002).

Zagraniczni naukowcy w wyniku przeprowadzonych licznych badań dowiedli, że systematyczne stosowanie elektrostymulacji (EMS) nie tylko polepsza parametry siłowo-prędkościowe mięśni, ale także może skracać czas treningu siłowego bez zwiększenia liczby sesji treningowych w tygodniu, a także przyspiesza regenerację mięśni po wysiłku (Avila i wsp., 2008; Kleinöder i wsp., 2007; Kreuzer i wsp., 2006). W swoich badaniach Hollmann, Maffiuletti i in. wykazali zastosowanie EMS na partie mięśni kończyn dolnych. Elektrostymulacja stosowana przez 4 tygodnie znacznie zwiększa momenty siły mięśni czworogłowych ud i wysokość skoku (Hollmann i wsp., 2009). Ponadto Delitto i wsp. w 1990 roku udowodnili, że miejscowe EMS połączone z treningiem jest w stanie znacząco poprawić moment siły mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego u sportowców, mimo że ich sprawność jest na wysokim poziomie. Co ciekawe, w tym badaniu światowej klasy sztangista po 14-dniowej stymulacji EMS był w stanie podnieść o 20 kilogramów większe obciążenie. Przy konwencjonalnym treningu siłowym taki zawodnik potrzebowałby około 2 lat treningu (Delitto i wsp., 1990). Paillard i wsp. po przeprowadzonych badaniach na osobach zdrowych nie uprawiających sportu i analizie wyników wykazali, że trening połączony z EMS optymalizuje właściwości mięśni i ich

siłę. Jeśli chodzi o różne typy EMS, dalsze badania Paillarda i in. wykazały, że prądy o wielkiej częstotliwości inaczej oddziałują na tkankę mięśniową niż prądy o średniej czy małej częstotliwości. Prądy o wielkiej częstotliwości (powyżej 10 000 Hz) to zabiegi diatermii, poprawiające ukrwienie i odżywienie tkanek miękkich i mięśni. Zabiegi diatermii mają działanie przeciwbólowe, przeciwzapalne i przeciwobrzękowe. Prądy o średniej częstotliwości (500 - 10 000 Hz) lepiej przenikają w głąb tkanki mięśniowej i powodują wzrost siły mięśniowej, objętości mięśni oraz ma działanie przeciwbólowe. Natomiast prądy o małej częstotliwości (10 - 500 Hz) to prądy, które w zależności od rodzaju kształtu impulsu (prostokątny, trójkątny czy sinusoidalny) mają bardzo szerokie zastosowanie jako zabiegi z zakresu fizykoterapii (Paillard i wsp., 2008; Paillard i wsp., 2018).

Kammler i wsp. w swoich badaniach wykazali, że sesje elektrostymulacji (EMS) całego ciała odpowiadają 4-krotnie dłuższemu treningowi o wysokiej intensywności ćwiczeń. Jednak w przeglądzie literatury Filipovica i wsp. z 2012 roku w licznych badaniach wykazano, że jeśli chodzi o wpływ EMS na momenty siły mięśni, to lepsze efekty osiąga się po zastosowaniu miejscowego EMS niż po EMS całego ciała. Osoby nieprowadzące aktywnego trybu życia wykazują mniejszy wzrost poszczególnych parametrów niż u zawodowych sportowców. Badacze twierdzą, że dzieje się tak, ponieważ osoby niewysportowane mają gorszą koordynację ruchową, co sprawia, że trening jest mniej efektywny. Osoby nieaktywne gorzej znoszą jednoczesną stymulację elektryczną połączoną z treningiem niż sportowcy, ponieważ szybciej się męczą. Sportowcy mają lepszą kondycję i koordynację nerwowo-mięśniową i lepiej znoszą oba te bodźce, a tym samym są w stanie trenować wydajniej/efektywniej (Filipovic i wsp., 2012; Kammler i wsp., 2016).

Kolejni naukowcy dowiedli w swoich badaniach, że po zastosowaniu nerwowo-mięśniowej elektrostymulacji (NMES) dochodzi do poprawy skoczności (Maffioletti i wsp., 2000) oraz wzrostu momentu siły maksymalnej mięśni (Maffioletti i wsp., 2009). Uzyskane przez Benito i wsp., w 2010 roku wyniki badań potwierdzają, że elektrostymulacja mięśni czworogłowych uda (o odpowiednio dobranych częstotliwościach prądu) wykonywana 2-3 razy w tygodniu przez 8 tygodni poprawia wysokość skoku o średnio 11,2% (Benito i wsp., 2010). Seria odpowiednio dobranych

elektrostymulacji prowadzi do powiększenia powierzchni przekroju mięśnia, znacznego zwiększenia siły maksymalnej oraz przyspieszenia aktywacji mięśni (Gondin i wsp., 2005; Kästner i wsp., 2015). Warto jest zaznaczyć, że po 2-3 tygodniach od zakończenia stosowania EMS wyniki mogą być lepsze niż bezpośrednio po zakończeniu badania, ponieważ w tym czasie mięśnie odpoczną i się zregenerują. Na wyniki może mieć wpływ także częstotliwość prądu zastosowanego w elektrostymulacji. Stymulacja prądem o częstotliwości 40 Hz lub stosowanie łącznie częstotliwości 80 Hz i 20 Hz około 30 minut powoduje wzrost momentu siły mięśnia. Jednak przy jednoczesnym zastosowaniu dwóch częstotliwości daje to jeszcze lepsze efekty (Cometti i wsp., 2016). Analizując wyniki badaczy można stwierdzić, że każdy z parametrów elektrostymulacji, tj. czas, częstotliwość prądu, czas trwania skurczu i przerwy, czas trwania zabiegów i częstotliwość ich wykonywania w tygodniu ma znaczący wpływ na parametry siłowo-prędkościowe mięśni.

#### **I 4. Zmiany fizjologiczne po elektrostymulacji**

Podczas zabiegów elektrostymulacji (EMS) badania krwi wykazały, że już po pierwszym treningu połączonym z elektrostymulacją wzrasta poziom kinazy keratynowej (CK), który stabilizuje się po 10 sesji (Kammler i wsp., 2015). Naukowcy w jednym z badań testowali wpływ elektrostymulacji (EMS) na dwie grupy badane. Pierwsza grupa miała zabiegi EMS na górną część ciała (mięśnie tułowia i kończyn górnych), a druga grupa na dolną partię ciała (mięśnie pośladków i kończyn dolnych). Wykonano 31 sesji EMS po 2 razy w tygodniu. Zarówno w pierwszej, jak i drugiej grupie wykazano istotny statystycznie zwiększony pobór tlenu i pojemność wyrzutową serca. Van Buuren i in. twierdzi, że elektrostymulacja może być alternatywą dla ludzi z przewlekłą niewydolnością serca, dla których konwencjonalny trening jest niemożliwy (van Buuren i wsp., 2014). Elektrostymulacja o małej częstotliwości znajduje zastosowanie w odnowie biologicznej jako element regeneracji po intensywnym treningu, ponieważ powoduje obniżenie kinazy keratynowej (CK) we krwi oraz zmniejsza odczuwanie bólu mięśniowego – 24 godziny po wysiłku fizycznym (Taylor i wsp., 2015).

## **I 5. Elektrostymulacja jako element treningu sportowego**

Zabiegi elektrostymulacji (EMS), oprócz szerokiego zastosowania w rehabilitacji coraz częściej wykorzystywane są w sesjach treningowych jako urozmaicenie treningu, bądź jako alternatywa dla osób, które chcą utrzymać sprawność fizyczną, ale nie mają czasu czy możliwości na standardowy trening na siłowni. Na przestrzeni ostatnich lat Kammler i wsp. w swoich badaniach zastosowali 20-minutową elektrostymulację całego ciała 2 razy w tygodniu (przez 3 tygodnie) o częstotliwości 85 Hz z 4 sekundami przerwy, gdzie wykazano, że EMS zwiększa maksymalny moment siły w skurczu izometrycznym i hamuje utratę masy ciała (Kammler i wsp., 2013). W innych badaniach wykazano, że zmniejsza się ilość brzusznej masy tłuszczowej (Kammler i wsp., 2012). Kolejne badania wykazały, że po 16 tygodniach treningu EMS mięśni całego ciała trwających 30 minut, 3 razy w tygodniu dochodzi do podobnych zmian w składzie ciała i sile mięśni jak po ćwiczeniach o wysokiej intensywności trwających jednorazowo 120 minut (Kammler i wsp., 2016). Z wyżej wspomnianych badań można wywnioskować, że trening z elektrostymulacją, krótszy nawet czterokrotnie, przynosi podobne efekty jak trening sportowy (Kammler i wsp., 2014; Veldman i wsp., 2016).

Nerwowo-mięśniowa elektrostymulacja (NEMS), jako dodatkowy element treningu siłowego została po raz pierwszy zastosowana w 1970 roku. Po 16 zabiegach treningowych wykonanych u osób zdrowych zaobserwowano poprawę wytrzymałości mięśni aż o 40% (Kots i Chilon, 1975). Od tamtego czasu NMES wzbudzała duże zainteresowanie wśród wielu trenerów, sportowców i badaczy. Mimo, że od blisko 50 lat prowadzone są różne badania nad skutecznością NMES w sporcie i nie ma wątpliwości co do jej efektywności, to jeszcze nie ma pewności, jak ten element treningu należy wykorzystać. Odpowiednio dobrane metody treningowe w danej dyscyplinie sportu wyczynowego są najważniejsze. Taki program treningowy powinien zapewnić polepszenie poziomu sportowego poprzez osiąganie lepszych wyników. W zależności od specyfiki dyscypliny sportowej może on zwiększać takie parametry mięśni jak: moment siły, moc, szybkość i wytrzymałość, rozumianych jako cechy sprawności fizycznej człowieka (Kastner i wsp., 2015).

Istotne jest także porównanie treningu EMS do konkretnego rodzaju ćwiczeń. Herrero i wsp. w 2010 roku w swoich badaniach porównali elektrostymulację mięśni prostowników stawu kolanowego, wywołując 64-skurcze trwające 1 sekundę do ćwiczeń polegających na wykonaniu przez uczestnika po 80-skurczy koncentrycznych i ekscentrycznych z 70% obciążeniem maksymalnej siły skurczu, w tym samym tempie. Eksperyment trwał 4 tygodnie, a treningi odbywały się 4 razy w tygodniu. Wykazano, że moc maksymalna wzrosła w obu grupach, ale tylko po treningu z elektrostymulacją polepszyła się wysokość skoku z zamachem (Herrero i wsp., 2010).

Trenerzy i naukowcy w tym celu nieustannie poszukują nowych metod treningowych. Stąd cały czas rośnie zainteresowanie nad zastosowaniem elektrostymulacji mięśni (EMS) z odpowiednio dobranymi ćwiczeniami. Możliwość wykorzystania sprawdzonego programu elektrostymulacji mięśni, który może być uzupełnieniem treningu sportowego, byłby nieocenionym narzędziem dla doświadczonego trenera.

## **I 6. Elektrostymulacja metodą RSQ1**

Wiadomo, że zabiegi EMS zwiększają masę mięśniową (Lindsey i wsp., 2015) i moment siły mięśni (Benito i wsp., 2010; Taradaj i wsp., 2013; Filipovic i wsp., 2012). W wielu badaniach potwierdzono, że elektrostymulacja mięśni (EMS) stosowana w fizjoterapii poprawia wytrzymałość mięśni. Wykazano, że po zabiegach EMS w większym stopniu wzrasta odporność na zmęczenie mięśni, niż po odpowiednio dobranych ćwiczeniach (Herrero i wsp., 2010).

Zabiegom poddawane są mięśnie, w których przy zachowanym i właściwym unerwieniu doszło do zmniejszenia masy i momentu siły mięśniowej, głównie na skutek długotrwałego unieruchomienia w przypadku pacjentów po złamaniach i innych urazach narządu ruchu lub z bezczynności i braku pełnych obciążeń treningowych na skutek kontuzji u sportowców (Taradaj i wsp., 2013). Jednak coraz częściej zabiegi NMES stosuje się też u zdrowych osób, które chcą polepszyć swoją sprawność fizyczną lub wzmocnić wybraną grupę mięśniową. Jedną z takich innowacyjnych metod rehabilitacji jest RSQ1, która łączy nerwowo-mięśniową elektrostymulację (NMES) z indywidualnie dobranymi do możliwości uczestnika ćwiczeniami rehabilitacyjno-treningowymi. Urządzenie RSQ1 jest

urządzeniem medycznym klasy CEIIa i może być obsługiwane wyłącznie przez lekarzy i fizjoterapeutów, którzy odbyli szkolenie z zasad stosowania RSQ1 i uzyskali certyfikat (Rys. 3).



**Rysunek 3. Elektrostymulator RSQ1**

Elektrostymulacja RSQ1 została opracowana w Holandii dla ludzi aktywnych i wyczynowych sportowców do celów treningowych i leczniczych, ale także jako element wspomagający odnowę biologiczną. Polega ona na równoczesnym zastosowaniu elektrostymulacji, podczas której uczestnik wykonuje ćwiczenia usprawniające. Elektrostymulator RSQ1 generuje dwa prądy o różnych częstotliwościach (500 Hz i 10 000 Hz), które nakładają się na siebie. Podczas sesji RSQ1 elektrody są naklejane na obie kończyny, a same ćwiczenia są symetryczne (Martijn van Erp, 2017).

### **1 7. Zastosowanie elektrostymulacji u osób po urazie stawu kolanowego**

W literaturze fachowej można znaleźć coraz więcej przykładów wykorzystania prądu elektrycznego i ćwiczeń u sportowców w celu pobudzenia wzrostu masy i momentu

siły mięśniowej. Jednak dotychczas autorzy nie analizowali tak szczegółowo jego wpływu na tkankę mięśniową przy pomocy obiektywnych i ilościowych metod pomiarowych (Hakkinen i wsp., 2005; Taradaj i wsp., 2013). Wielu autorów publikacji, zarówno polskich, jak i zagranicznych, skupia się na pacjentach po urazie stawu kolanowego i na wpływie elektrostymulacji połączonej z ćwiczeniami na wytrzymałość mięśniową oraz przyrost masy i momentu siły mięśniowej. W literaturze polskiej można znaleźć badania prowadzone głównie przez Taradaja i wsp., którzy analizują wpływ zabiegów elektrostymulacji na mięsień czworogłowy uda u sportowców (Taradaj i wsp., 2009). Płaszewski z powodzeniem stosuje elektrostymulację u pacjentów po okresowym unieruchomieniu stawu kolanowego (Płaszewski, 2005; Płaszewski, 2006).

Autorzy publikacji zagranicznych, tacy jak Fitzgerald i wsp. w 2003 roku badali skuteczność stosowania NMES u pacjentów po rekonstrukcji więzadła przedniego krzyżowego (ACL - *anterior cruciate ligament*). Grupa badana i kontrolna liczyły po 20 uczestników. W grupie rehabilitowanej z zastosowaniem NMES, moment siły mięśniowej wzrósł po 12 i 16 tygodniach. Badacze wykazali, że wiek, płeć, wysokość ciała czy masa ciała i czas od operacji nie mają wpływu na wynik. Adams i wsp. przeglądając literaturę w 2012 roku potwierdzili, że NMES może być stosowana do zwiększania masy i momentu siły mięśnia czworogłowego uda. NMES rekrutuje neurony motoryczne, co wytwarza większe siły mięśnia czworogłowego uda niż same ćwiczenia. Otsel i wsp. w 2015 roku zajęli się badaniami momentu siły i zmian obwodów mięśnia czworogłowego uda u pacjentów po rekonstrukcji więzadła ACL. Badaniu podlegało 24 osoby, gdzie grupę kontrolną stanowiła kończyna dolna zdrowa, a grupę badaną kończyna dolna po urazie. Jednak w wynikach nie odnotowano istotnych statystycznie zmian w obwodzie uda. Lepley i in. w 2015 roku przeprowadzili badania na czterech grupach pacjentów po artroskopowej rekonstrukcji więzadła ACL. Pierwsza grupa korzystała tylko z zabiegów NMES, druga grupa miała zabiegi NMES połączone z ćwiczeniami ekscentrycznymi, trzecia grupa tylko wykonywała ćwiczenia, zaś czwarta korzystała tylko z tradycyjnej terapii. Najlepsze wyniki – większy zakres ruchu w stawie kolanowym w płaszczyźnie strzałkowej oraz większy moment siły mięśni – uzyskała grupa druga, u której zastosowano NMES z połączeniem ćwiczeń ekscentrycznych. Kyung-Min i wsp. w 2010 roku dokonali analizy 301 przypadkowych badań naukowych przy użyciu elektronicznych



baz danych od 1966 r. do 2008 r., w których badano skuteczność NMES i ćwiczeń fizycznych w rehabilitacji pacjentów po uszkodzeniu więzadła ACL. Do wyników badań wykorzystano tylko 8 pozycji literatury kierując się Physiotherapy Evidence Database Scale. Na podstawie pomiaru momentów siły mięśniowej w stawie kolanowym stwierdzono, że NMES połączone z ćwiczeniami może mieć większy wpływ na zwiększenie siły mięśnia czworogłowego uda niż ćwiczenia samodzielnie. Filipovic i wsp., w 2012 roku również przeprowadzili analizę efektów metod NMES na wybrane parametry wytrzymałościowe u sportowców. Z około 200 badań wybrano 89 prób zgodnie z ustalonymi kryteriami: wiek pacjenta (35 lat), pacjent zdrowy, typ nerwowo-mięśniowej elektrostymulacji (NMES). Następnie zdefiniowano odpowiednie kategorie w zależności od typu NMES (miejscowe lub globalne) oraz rodzaj skurczu mięśni (izometryczny, dynamiczny, izokinetyczny) i ustalono odpowiednie parametry: maksymalna siła, prędkość, moc. Po okresie stymulacji 3-6 tygodni, znaczące przyrosty ( $p=0,05$ ) uzyskano w maksymalnej sile (izometryczny skurcz  $F_{max} + 58,8\%$ , dynamiczny  $F_{max} + 79,5\%$ ), momencie siły (ekscentryczny izokinetyczny  $M_{max} + 37,1\%$ , koncentryczny izokinetyczny  $M_{max} + 41,3\%$ ) 10 i moc (+ 67%). Zwiększyła się również wysokość skoku pionowego o + 25% i poprawił czas sprintu aż o -4,8%. Piva czy Hakinnen udowodnili, że po kilkutygodniowej elektrostymulacji połączonej z odpowiednimi ćwiczeniami można uzyskać zwiększenie momentu siły i masy mięśniowej (Hakkinen i wsp., 2005; Marcora i wsp., 2005; Piva i wsp., 2007). Babalut oraz Maffiuletti i in. dzięki wynikom licznych badań wykazali zasadne znaczenie wpływu elektrostymulacji połączonej z ćwiczeniami na moment siły, szybkość i inne parametry u zawodowych sportowców (Babault i wsp., 2011; Maffiuletti i wsp., 2011). W 2005 roku Bax i wsp. wykazali wpływ elektrostymulacji na masę i moment siły mięśnia czworogłowego uda (Bax i wsp., 2005). Kyung-Min i in. w 2010 roku dokonali także przeglądu/metaanaliz z tego obszaru wiedzy, w których wykazali, że ćwiczenia w połączeniu z elektrostymulacją są bardziej efektywne niż same ćwiczenia. Taki rodzaj rehabilitacji skuteczniej wpływa na przyrost masy i momentu siły mięśniowej oraz poprawia przewodnictwo nerwowo-mięśniowe (Kyung-Min i wsp., 2010). Potwierdzają to inni autorzy, tj. Filipovic, Kleinoder czy Master.

W świetle analizy prac innych badaczy i uzyskiwanych przez nich wyników wskazane są dalsze badania, które udowodnią, że ćwiczenia w połączeniu

z elektrostymulacją (EMS) są efektywniejsze niż sama fizjoterapia dla pacjentów po urazach czy trening dla osób bez urazu, prowadzących aktywny tryb życia (Filipovic i wsp., 2011; Filipovic i wsp., 2012).

Innowacyjność poniższego projektu badawczego opiera się głównie na specyficie wykonywanych zabiegów przy użyciu metody RSQ1, wykorzystującej dwa równoległe działające prądy, pierwszy o średniej częstotliwości (500 Hz) oraz drugi o wielkiej częstotliwości (10 000 Hz).

Od 1970 roku elektrostymulacja mięśni w połączeniu z ćwiczeniami ma zastosowanie nie tylko w rehabilitacji, ale też w treningu sportowym. Z roku na rok pojawia się coraz więcej publikacji naukowych związanych z tą tematyką. Dlatego tak istotne są dalsze badania związane z opracowaniem jak najlepszego programu treningowego połączonego z nerwowo-mięśniową elektrostymulacją (NMES).

## II CEL PRACY

Celem pracy jest ocena efektu 3-tygodniowego programu treningowego przy zastosowaniu jednocześnie nerwowo-mięśniowej elektrostymulacji (NMES) oraz ćwiczeń (według instruktażu) mięśni czworogłowych ud (metoda RSQ1) u osób zdrowych w wieku 22-30 lat.

## III PYTANIA BADAWCZE

1. Czy 10 zabiegów metodą RSQ1 powoduje zwiększenie obwodów ud kończyn dolnych u osób bez objawów chorobowych?
2. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na wartości szczytowych momentów siły mięśni prostowników i mięśni zginaczy stawów kolanowych w warunkach pracy statycznej u osób bez objawów chorobowych?
3. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów mięśni kończyn dolnych w warunkach pracy statycznej u osób bez objawów chorobowych?
4. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na wartości szczytowych momentów siły mięśni prostowników i mięśni zginaczy stawów kolanowych w warunkach pracy dynamicznej u osób bez objawów chorobowych?
5. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów mięśni kończyn dolnych w warunkach pracy dynamicznej u osób bez objawów chorobowych?
6. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na pracę całkowitą mięśni prostowników i mięśni zginaczy stawów kolanowych kończyn w warunkach pracy dynamicznej u osób bez objawów chorobowych?
7. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na średnią moc mięśni prostowników i mięśni zginaczy stawów kolanowych u osób bez objawów chorobowych?
8. Czy u osób poddanych elektrostymulacji metodą RSQ1 obserwuje się większe zmiany w parametrach siłowo-prędkościowych niż u osób wykonujących wyłącznie ćwiczenia?

## IV OSOBY BADANE I METODY BADAWCZE

### IV 1. Osoby badane

Projekt eksperymentu badawczego uzyskał pozytywną opinię uchwałą Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu z dnia 03.07.2018 roku.

Badanie oraz eksperyment zostały przeprowadzone przez jednego i tego samego fizjoterapeutę w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.

Uczestnikom zakwalifikowanym do grupy badanej zostały przedstawione wyczerpujące informacje na temat realizowanego eksperymentu i metody RSQ1 oraz o możliwości rezygnacji z tych badań w dowolnym terminie bez konsekwencji. Uczestnicy grupy kontrolnej byli poinstruowani o temacie programu ćwiczeń, które wykonywali podczas trzytygodniowego doświadczenia. Uczestnicy objęci badaniem i sesjami RSQ1 podlegali ubezpieczeniu OC fizjoterapeuty przeprowadzającego badanie.

#### Uczestnicy badania:

W eksperymencie badawczym wzięły udział 2 grupy uczestników. W grupie badanej 26 osób (15 kobiet i 11 mężczyzn), a w grupie kontrolnej 22 uczestników (11 kobiet i 11 mężczyzn) dobranych losowo. Kobiety i mężczyźni w wieku od 22. do 30. roku życia. Grupa badana przez 3 tygodnie była poddana 10 sesjom metodą RSQ1. Uczestnicy grupy kontrolnej wykonywali ćwiczenia bez elektrostymulacji (EMS).

**Tabela 1. Charakterystyka grup eksperymentalnych: badanej (n=26) i kontrolnej (n=22)**

$x \pm sd$ (min-max)	<b>Grupa Badana (n=26)</b>	<b>Grupa Kontrolna (n=22)</b>
<b>Wiek</b>	25,8±2,4 (22-30)	24,6±2,1 (22-28)
<b>Masa ciała [kg]</b>	77,5±9,5 (59-96)	76,9±8,6 (61-89)
<b>Wysokość [cm]</b>	177,3±5,4 (165-186)	178,5±6,1 (166-191)
<b>BMI</b>	24,6±2,0 (21,7-29,4)	24,1±1,4 (22,0-26,2)

**Projekt realizowany na uczestnikach zdrowych w celu:**

- rozwoju metody RSQ1 i sprawdzenia jej skuteczności,
- oceny zmian wartości procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów,
- działanie profilaktyczne; ponad 20 % osób hospitalizowanych to osoby po wypadkach we własnym domu (np. upadek ze schodów, poślizgnięcie się w łazience).

**Kryteria włączenia:**

- kobiety i mężczyźni,
- wiek od 22. do 30. roku życia,
- prowadzenie aktywnego trybu życia,
- uczestnik nie powinien mieć żadnych urazów w obrębie kończyn dolnych lub ostatni uraz ponad 3 lata od momentu rozpoczęcia eksperymentu,
- brak chorób przewlekłych (choroby układu krążenia i oddechowego, nowotwory, cukrzyca),
- uzyskanie świadomej zgody na udział w badaniu.

**Kryteria wyłączenia:**

- wczesny okres lub poniżej 3 lat po urazie w obrębie kończyn dolnych,
- wyczynowe/zawodowe uprawianie sportu,
- objawy psychogenne,
- ciąża,
- ubytki neurologiczne,
- choroby układu krążenia i rozrusznik serca,
- choroby nowotworowe lub inne choroby przewlekłe,
- brak zgody uczestnika na udział w badaniach.

**IV 2. Metody badawcze**

W proponowanych badaniach wykorzystane zostały:

- A. Wywiad (kwestionariusz dla uczestnika badań),
- B. Taśma antropometryczna,
- C. System do oceny dynamicznej mięśni Biodex System 3 Pro.

### A. Wywiad

Wywiad w postaci kwestionariusza zawierającego pytania:

Imię i nazwisko:.....		
Wiek:.....	Masa ciała:.....	Wysokość ciała:.....
Kończyna dominująca:		
<input type="checkbox"/> Prawa	<input type="checkbox"/> Lewa	
Czy w obrębie kończyn dolnych doszło do urazu w ciągu ostatnich 3 lat :		
<input type="checkbox"/> Tak	<input type="checkbox"/> Nie	
Jeśli TAK to kiedy? .....		
Jaki rodzaj urazu? W obrębie której kończyny?.....		
Ile godzin tygodniowo poświęcasz na aktywność fizyczną? .....		
Czy uprawiasz jakąś dyscyplinę sportową? .....		

### B. Pomiary antropometryczne

Do badania obwodów prawego i lewego uda wykorzystana została taśma antropometryczna z dokładnością do 0,5 cm. Uczestnik podczas badania stał wyprostowany w pozycji swobodnej. Pomiary obwodów kończyn dolnych wykonane

zostały przed pierwszą sesją (P1) i trzy dni po dziesiątej, ostatniej sesji (P2). W celu uzyskania wiarygodnych wyników, każdy z pomiarów był powtarzany trzy razy z czego obliczono średnią arytmetyczną. Pomiary były wykonywane w następujących miejscach (Rosiński, 2011; Skolimowski, 2012; Wolski, 2011; Wilk i wsp., 2009).

- nad szparą stawową stawu kolanowego po stronie przyśrodkowej - **C1** (circuit 1) - pomiar udowy pierwszy, najbardziej obszerna część głowy przyśrodkowej mięśnia czworogłowego uda,
- nad szparą stawową stawu kolanowego po stronie bocznej - pomiar wykonywany w najgrubszym miejscu uda **C2** (circuit 2) - pomiar udowy drugi, najbardziej obszerna część głowy bocznej i prostej mięśnia czworogłowego uda.

Zidentyfikowane miejsca zależały od wysokości ciała uczestnika, zostały oznaczone wodoodpornym markerem, a po 3 tygodniach pomiar został powtórnie wykonany w tych samych miejscach (Rys. 4).



**Rysunek 4. Pomiar obwodów ud: oznaczenie dwóch punktów antropometrycznych (C1, C2)**

### C. Pomiary biomechaniczne

Biodex System 3 Pro to zestaw do oceny i treningu siłowo-wytrzymałościowego w warunkach: pracy izometrycznej, izotonicznej (koncentrycznej i ekscentrycznej), izokinetycznej (ekscentrycznej i koncentrycznej), reaktywnej ekscentrycznej i ruchu biernego z możliwością pełnej archiwizacji i eksportu danych do analizy statystycznej.

Podczas wykonywania badania uczestnik miał ustabilizowany pasami tułów i badaną kończynę dolną. Kończyny górne były skrzyżowane na klatce piersiowej. Pomiary były wykonywane na obu kończynach dolnych. Oś momentomierza ustawiona była na wysokości szpary stawu kolanowego (oś obrotu stawu). Uczestnik wykonywał pięć prób w kolejności: praca izometryczna i izokinetyczna. Praca izometryczna: prostowanie i zginanie stawu kolanowego. Kąt, przy jakim było wykonywane badanie izometryczne, wynosił 75 stopni. Praca izokinetyczna: zginanie i prostowanie w stawie kolanowym. Głównym kryterium pracy izokinetycznej jest prędkość, która dzieli się na 3 zakresy: 2 - 180°/s (prędkość wolna; parametry siłowe), 180 - 300°/s (prędkość średnia; parametry siłowo-wytrzymałościowe), powyżej 300°/s (prędkość szybka; parametry wytrzymałościowe). Im niższa prędkość ruchu, tym opór przez badanego był bardziej odczuwalny. Każdy uczestnik wykonywał pracę izokinetyczną w łańcuchu otwartym (OKC) przy trzech różnych prędkościach: 60°/s, 180°/s i 300°/s. Pomiedzy próbami uczestnik miał 30 sekund odpoczynku. Podczas pomiaru osoba wykonująca ćwiczenie była motywowana werbalnie, jak i wizualnie poprzez możliwość obserwacji bieżącego wykresu momentu siły mięśni na ekranie (Grygorowicz i wsp., 2010; Korbolewska i wsp., 2012; Rzepka i wsp., 2007).

#### **Badane parametry:**

1. Praca STATYCZNA mięśni (izometryczna);
  - Szczytowe momenty siły mięśni prostowników (Peak Torque extensor) PTe [Nm] i zginaczy (Peak Torque flexor) PTf [Nm] stawu kolanowego.
  - Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów mięśni kończyn dolnych (Agon/Antag Ratio) Ag/Ang [%].



## 2. Praca DYNAMICZNA (izokinetyczna);

- Szczytowe momenty siły mięśni prostowników (Peak Torque extensor) PTe [Nm] i zginaczy (Peak Torque flexor) PTf [Nm] stawu kolanowego w warunkach pracy dynamicznej przy trzech prędkościach wykonywania ćwiczeń: 60°/s, 180°/s i 300°/s.
- Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Agon/Antag Ratio) Ag/Ang [%] mięśni kończyn dolnych w warunkach pracy dynamicznej przy trzech różnych prędkościach wykonywania ćwiczeń: 60°/s, 180°/s i 300°/s.
- Praca całkowita (Total Work extensor) TWe [J] mięśni prostowników i zginaczy (Total Work flexor) TWf [J] stawu kolanowego w warunkach pracy dynamicznej przy trzech różnych prędkościach wykonywania ćwiczeń: 60°/s, 180°/s i 300°/s.
- Moc średnia (Avg. Power extensor) APe [W] mięśni prostowników i zginaczy (Avg. Power flexor) APf [W] stawu kolanowego w warunkach pracy dynamicznej przy trzech różnych prędkościach wykonywania ćwiczeń: 60°/s, 180°/s i 300°/s.

### **Eksperyment:**

Treningi metodą RSQ1 składały się z 10 sesji połączonych z ćwiczeniami. W grupie badanej były one wykonywane: w pierwszym tygodniu 4 razy, a w kolejnych dwóch tygodniach 3 razy od poniedziałku do piątku z przerwami weekendowymi. Każdy zabieg trwał 25 minut. Elektrody elektrostymulacyjne były naklejane na głowę przyśrodkową i prostą mięśnia czworogłowego uda na obu kończynach dolnych symetrycznie. Elektrody zostały wykonane w technologii MultiStickGel (adhezyjny żel wielowarstwowy) do wielokrotnego użytku przy zachowaniu właściwości przewodzenia prądu. Dawki prądu dla każdego uczestnika były takie same (z góry określone przez osobę prowadzącą badania). Podczas przepływu prądu uczestnicy grupy badanej wykonywali proste i powtarzalne ćwiczenia (Rys. 5).



**Rysunek 5. Symetryczne rozmieszczenie elektrod (katody i anody) podczas sesji RSQ1**

Od 1 do 4 terapii były to ćwiczenia dynamiczne: SIT/STAND (StS): wstawanie z krzesła i siadanie. Podczas wykonywanego ćwiczenia stopy uczestnika były ułożone równolegle w odległości 25-30 cm od siebie, a stawy kolanowe zginane od 0 do 90 stopni. Ćwiczenie powtarzane było od 5 (1 i 2 terapia) do 10 razy (3 i 4 terapia).

Od 5 do 10 treningu uczestnicy wykonywali ćwiczenia dynamiczne (jak w terapii 3 i 4), a następnie statyczne: WALL SQUAT i EXTRIME HAM GLUT (WS/ExHGI): przysiad pod ścianą, tzw. "krzeselko" pod ścianą. Osoby badane miały zadanie utrzymywać tę pozycję przez: 30 sekund (5 i 6 terapia), 45 sekund (7 i 8 terapia) i 1 minutę (9 i 10 terapia). Następnie po wykonaniu „krzeselka” uczestnik się prostował i wykonywał skłon/opad tułowia przy jednocześnie wyprostowanych kończynach dolnych i napiętych mięśniach czworogłowych uda. Tę pozycję uczestnik utrzymywał przez 1 minutę. Każdy uczestnik wykonywał ćwiczenie 5 razy, gdzie 1 raz to WS i ExHGI. Grupa kontrolna wykonywała ćwiczenia według instruktażu, jaki otrzymali uczestnicy badań.

### IV 3. Metody statystyczne

Analiza statystyczna materiału eksperymentalnego została przeprowadzona przy pomocy oprogramowania STATISTICA PL wersja 13,1 z licencją dla AWF we Wrocławiu.

Zmienne o charakterze nominalnym zostały opisane licznosciami prostymi i procentami w odpowiednich grupach. Zmienne o charakterze ilościowym zostały opisane średnimi i odchyleniami standardowymi. Dodatkowo wyznaczono minimum i maksimum. W przypadku wątpliwości co do normalności rozkładu badanych zmiennych, dodatkowo wykazano mediany oraz kwartyle. Normalność rozkładu badanych zmiennych była weryfikowana testem Shapiro-Wilka, a jednorodność wariancji porównywanych grup testem Levene'a. Są to założenia do poprawnego stosowania analizy wariancji.

W sytuacji gdy założenie o jednorodności wariancji nie było spełnione, wnioski potwierdzano analizami nieparametrycznymi (test rang Kruskala-Wallisa oraz Anova Friedmana).

Wszystkie testy statystyczne weryfikowano przy założeniu poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ . Prawdopodobieństwo  $p$  (p-value) porównywano z poziomem istotności. Stąd dla  $p < 0,05$  wykazano istotność statystyczną obserwowanych zjawisk.

Do porównania średnich związanych z budową ciała posłużono się dwuczynnikową analizą wariancji. Czynnikiem pierwszy to płeć (mężczyźni, kobiety), a czynnikiem drugi to grupy eksperymentalne (badana, kontrolna).

W celu sprawdzenia zmian wartości poszczególnych parametrów wykonano także czteroczynnikową analizę wariancji, gdzie zmiennymi zależnymi były: czynnik pierwszy to pomiar (P1, P2), czynnik drugi to lateralizacja (kończyna dominująca, przeciwna). Natomiast jako zmienne niezależne: czynnik trzeci to płeć (kobiety, mężczyźni) oraz czynnik czwarty: grupy eksperymentalne (grupa badana, kontrolna).

Założenia zostały poddane weryfikacji.

## V WYNIKI

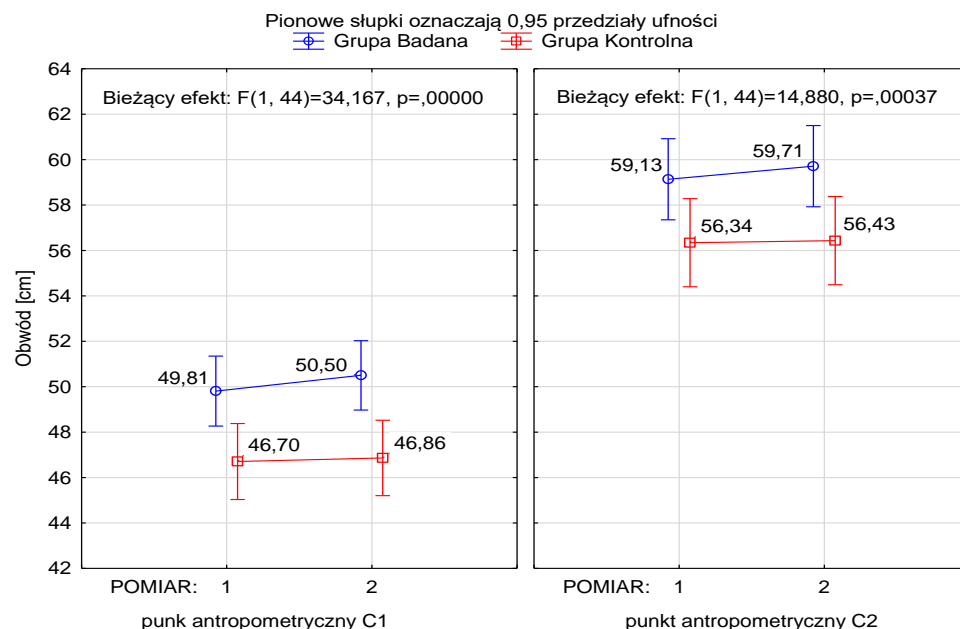
W wyżej opisanym eksperymencie wykonano dwa pomiary (P1, P2). Pierwszy test (P1) przed rozpoczęciem oraz drugi test (P2) trzy dni po zakończeniu eksperymentu. Pomiary zostały wykonane u każdego uczestnika, zarówno w grupie badanej, jak i kontrolnej.

Analizie poddano zmiany obwodów uda w dwóch punktach antropometrycznych: **C1** (circuit 1) [cm] i **C2** (circuit 2) [cm] obu kończyn dolnych. Omówiono także wartości szczytowego momentu siły prostowników i zginaczy: **PTe** (Peak Torque extensor) [Nm] i **PTf** (Peak Torque flexor) [Nm] oraz wartości procentowego stosunku momentów siły agonistów do antagonistów **Ag/Ang** (Agon/Antag Ratio) [%] obu stawów kolanowych w warunkach pracy statycznej. Natomiast w warunkach pracy dynamicznej analizie poddano wartości szczytowego momentu siły prostowników i zginaczy **PTe** (Peak Torque extensor) [Nm] i **PTf** (Peak Torque flexor) [Nm] i wartości procentowego stosunku momentów siły zginaczy i momentów siły prostowników **Ag/Ang** (Agon/Antag Ratio) [%] oraz pracę całkowitą prostowników **TWe** (Total Work extensor) [J] i zginaczy **TWf** (Total Work flexor) [J] i średnią moc prostowników **APe** (Avg. Power exstensor) [W] i zginaczy **APf** (Avg. Power flexor) [W]. Wszystkie pomiary wykonywano zawsze symetrycznie dla obu kończyn dolnych. Poniżej opisano poszczególne analizowane parametry, a wyniki przedstawiono na wykresach.

### V 1. Analiza obwodów uda w dwóch punktach antropometrycznych (C1 i C2) w grupie badanej i kontrolnej

W celu sprawdzenia zmian wartości obwodów (C) [cm] pomiędzy pomiarami: P1 (przed eksperymentem) i P2 (3 dni po eksperymencie) wykonano czteroczynnikową analizę wariancji. Najpierw weryfikacji poddano wyniki obwodów uda w punkcie C1, następnie w punkcie C2. Wynik analizy wariancji w obu punktach antropometrycznych (C1, C2) wskazał, że płeć grup eksperymentalnych (badanej, kontrolnej) oraz lateralizacja (kończyna dominująca, przeciwna) nie wykazują istotności statystycznej. W związku z tym zarówno płeć grup eksperymentalnych, jak i lateralizację pominięto w tej analizie. Zredukowano model do dwuczynnikowej analizy wariancji (pomiar oraz grupy

eksperymentalne), która wykazała, że istnieją różnice między porównywanymi średnimi w obu punktach (C1, C2). Następnie wykonano test post-hoc (test Duncana) dla obwodów w punktach C1 i C2, który wykazał, że w grupie badanej (w obu punktach), po 10 sesjach metodą RSQ1, zaobserwowano istotnie statystycznie przyrosty obwodów uda obu kończyn dolnych między pierwszym (P1), a drugim pomiarem (P2) (dla C1:  $p < 0,001$  oraz dla C2:  $p < 0,001$ ). W grupie kontrolnej takich zmian nie zaobserwowano, wyniki były nieistotne statystycznie (dla C1:  $p = 0,756$  oraz dla C2:  $p = 1$ ). Wykres numer 6 pokazuje interakcję pomiędzy grupą badaną a kontrolną oraz pomiarami (P1, P2) obwodu uda w punktach C1 i C2 obu kończyn dolnych. Na wykresie nr 6 wykazano średnie arytmetyczne oraz odchylenia standardowe. Zaobserwowano, że grupa badana, w P1 miała średnio wyższe obwody w obu punktach antropometrycznych: C1 ( $49,81 \pm 3,21$  cm) i C2 ( $59,13 \pm 4,2$  cm) niż grupa kontrolna: C1 ( $46,70 \pm 4,58$  cm) i C2 ( $53,34 \pm 4,88$  cm). Również w pomiarze P2 średnia arytmetyczna w grupie badanej była wyższa: C1 ( $50,50 \pm 3,17$  cm) i C2 ( $59,71 \pm 4,21$  cm) niż w grupie kontrolnej: C1 ( $46,86 \pm 4,56$  cm) i C2 ( $56,43 \pm 4,88$  cm). Różnice między średnimi wartościami obwodów w punktach C1 i C2 pomiędzy P1 a P2 w grupie badanej ( $\Delta_{c1} = 0,69$  cm oraz  $\Delta_{c2} = 0,58$  cm) były istotnie wyższe niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_{c1} = 0,16$  cm oraz  $\Delta_{c2} = 0,09$  cm) (Rys.6).

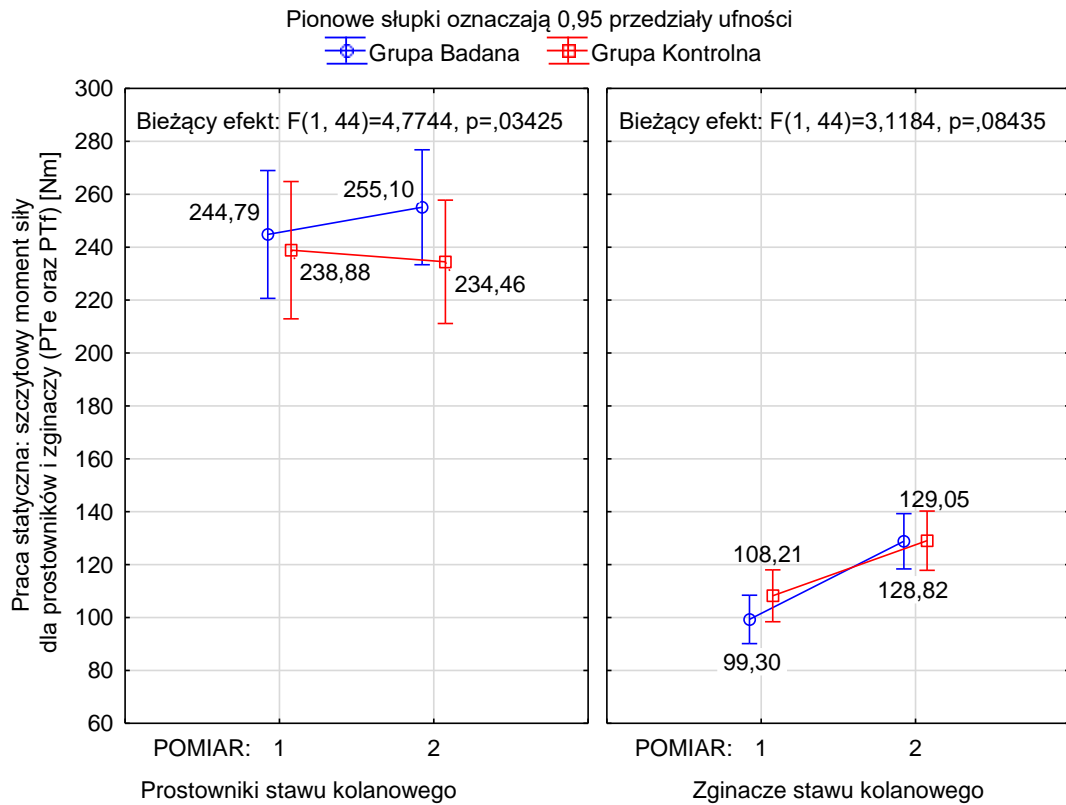


**Rysunek 6. Dwuczynnikowa analiza wariancji dla obu grup eksperymentalnych (badanej, kontrolnej) pomiędzy pomiarami (P1 i P2) w punktach antropometrycznych: C1 i C2**

## V 2. Praca statyczna

### V 2.1. Szczytowy moment siły prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm]

Wynikiem pomiarowym testów, przeprowadzonych w obu grupach eksperymentalnych przed (P1) i po (P2) eksperymencie, były wartości szczytowego momentu siły (PT) [Nm] zmierzonego w warunkach statycznych dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) obu stawów kolanowych. W tym celu najpierw wykonano czteroczynnikową analizę wariancji (pomiar, lateralizacja, płeć i grupa eksperymentalna). Ponieważ ani płeć grup eksperymentalnych, ani lateralizacja nie były istotne statystycznie, nie uwzględniono ich w modelu. Analizę wariancji zredukowano do dwuczynnikowej, która wykazała różnice w porównywanych średnich. Następnie wykonano test post-hoc (test Duncana) dla szczytowego momentu siły mięśni prostowników w warunkach pracy statycznej z uwzględnieniem interakcji obu grup eksperymentalnych i pomiarów (P1 i P2). Wykres nr 7 wykazuje, że w grupie badanej doszło do istotnych statystycznie zmian wartości szczytowego momentu siły mięśni prostowników ( $p=0,034$ ) między pomiarem P1 i P2. Natomiast w grupie kontrolnej zmiany były nieistotne statystycznie ( $p=0,386$ ). Jeśli chodzi o mięśnie zginacze to zarówno w grupie badanej, jak i kontrolnej wykazano zmiany istotne statystycznie ( $p<0,001$ ). Zaobserwowano, że średnie arytmetyczne wartości szczytowego momentu siły w pomiarze P1 dla prostowników grupy badanej (e:  $244,79\pm 61,26$  Nm) oraz zginaczy (f:  $99,30\pm 27,29$  Nm) były zbliżone do średnich grupy kontrolnej (e:  $238,88\pm 66,22$  Nm oraz f:  $108,21\pm 23,59$  Nm). To oznacza, że nie ma istotnej statystycznie różnicy między grupami eksperymentalnymi. W pomiarze P2 średnie wartości obwodów w grupie badanej (e:  $255,10\pm 17$  Nm oraz f:  $129,05\pm 21,44$  Nm) różniły się od średnich w grupie kontrolnej (e:  $234,46\pm 59,61$  Nm oraz f:  $128,82\pm 27,43$  Nm). Na wykresie nr 7 zaobserwowano, że średnie wartości PTe (dla mięśni prostowników) w grupie badanej istotnie wzrosły, a w grupie kontrolnej nie było zmian. Natomiast średnie wartości PTf (dla mięśni zginaczy) istotnie wzrosły zarówno w grupie badanej, jak i grupie kontrolnej. Wyższe przyrosty średnich wartości szczytowego momentu siły (PT) zaobserwowano w grupie badanej i dla mięśni prostowników ( $\Delta_e=10,3$  Nm) i zginaczy ( $\Delta_f=29,52$  Nm) stawu kolanowego niż w grupie kontrolnej, gdzie:  $\Delta_e=-4,41$  Nm i zginaczy  $\Delta_f=20,84$  Nm (Rys.7).



**Rysunek 7. Praca statyczna: wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych**

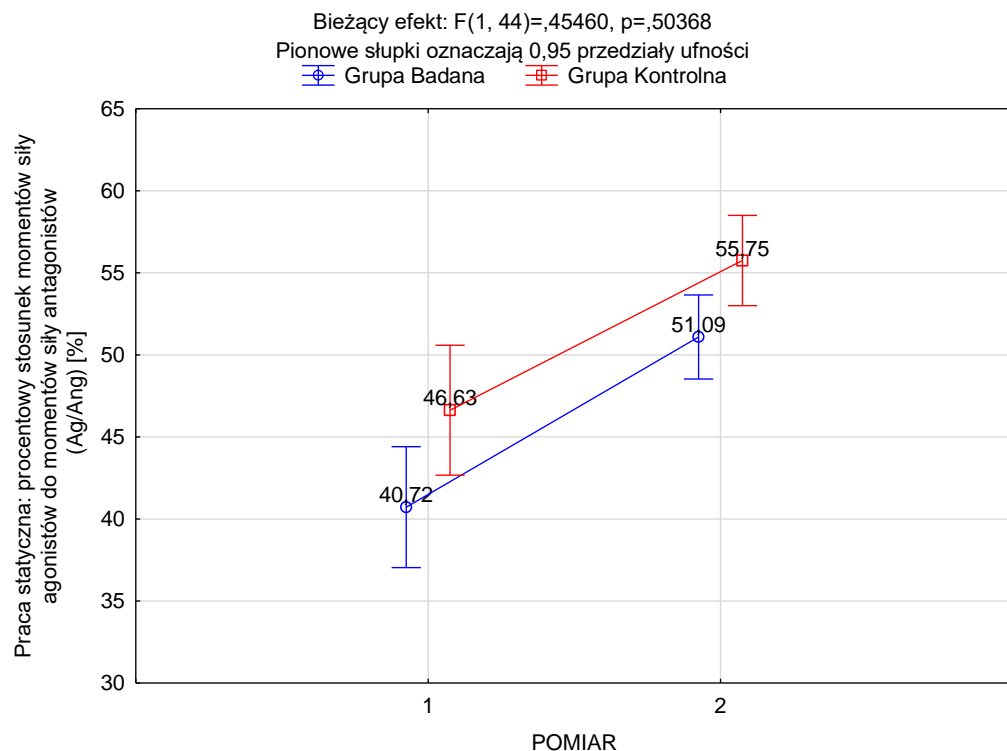
## V 2.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang)

Kolejnym parametrem poddanym analizie w warunkach pracy statycznej były wartości procentowego stosunku momentów siły mięśni agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] wykonane w obu grupach eksperymentalnych, przed (P1) i 3 dni po eksperymencie (P2). Najpierw wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, jednak tak jak w przypadku analizy poprzednich parametrów, ani płeć ani lateralizacja obu grup eksperymentalnych nie wykazały istotności statystycznej w analizowanym modelu. Następnie wykonano dwuczynnikową analizę wariancji, gdzie wykazano istotność statystyczną porównywanych średnich. W celu sprawdzenia pomiędzy którymi średnimi procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang doszło do zmian istotnych statystycznie, wykonano test post-hoc (test Duncana).

Do oceny wartości procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów wykorzystano skalę w oparciu o normy dostępne w literaturze. Kryteria określają, że różnica między kończynami (dominującą a przeciwną) nie powinna przekraczać 10% (Davies i wsp., 1992). Natomiast stosunek procentowy momentów siły mięśni zginaczy do momentów siły prostowników (Ag/Ang) [%] określono skalą:

- 1) **Doskonały**: przy wartości 62 %;
- 2) **Bardzo dobry**: 57 – 61 % (ale przewaga prostowników) oraz 63 – 67 % (przewaga zginaczy);
- 3) **Dobry**: 51 – 56 % (przewaga prostowników) oraz 68 – 71 % (przewaga zginaczy);
- 4) **Zły**: <51 % (przewaga prostowników) oraz >72 % (przewaga zginaczy).

Pomiędzy pomiarem P1 a P2 występują istotne statystycznie różnice zarówno w grupie badanej, jak i kontrolnej (w każdym przypadku  $p < 0,001$ ). Nie zaobserwowano jednak interakcji pomiędzy grupami (Rys. 8).



Rysunek 8. Praca statyczna: procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej



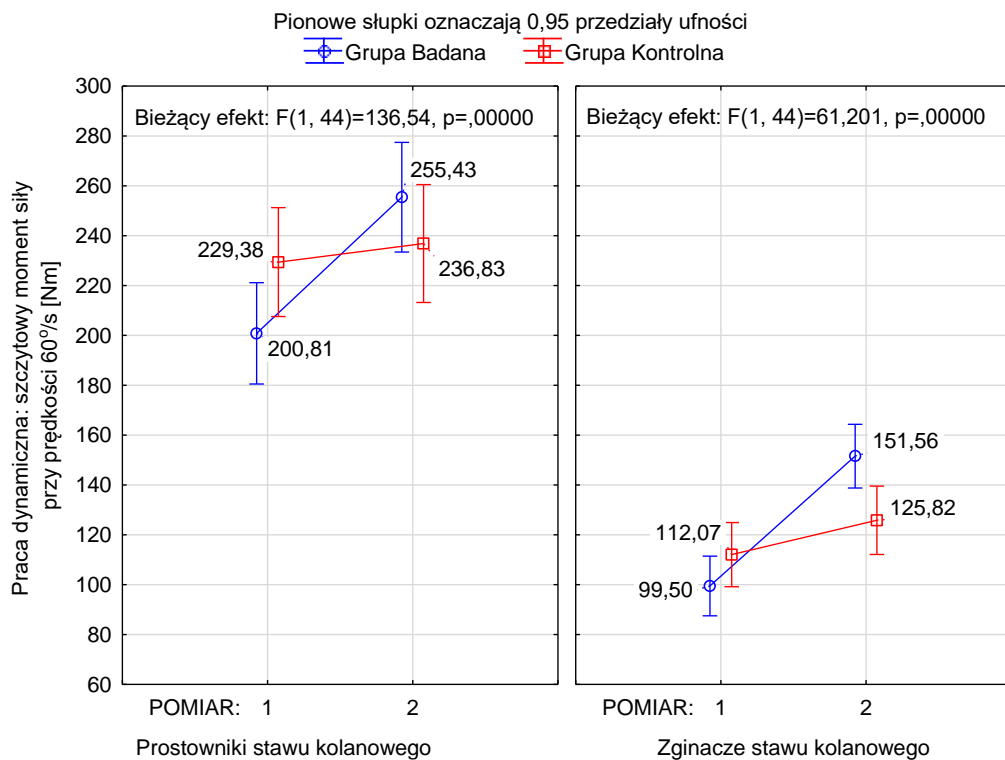
Średnie wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang w pomiarze P1 były wyższe dla grupy kontrolnej ( $46,63 \pm 7,65$  %) niż dla grupy badanej ( $40,72 \pm 7,29$  %). Analizując średnie z wyżej opisaną skalą, zaobserwowano, że w obu grupach eksperymentalnych średnie wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang są  $< 51$  %, czyli w obu grupach istnieje duża przewaga mięśni prostowników (w skali jest to najniższa ocena: zła). W pomiarze P2 zaobserwowano wzrost średnich wartości momentów siły Ag/Ang w grupie badanej ( $51,09 \pm 5,38$  %) oraz grupie kontrolnej ( $55,75 \pm 5,12$  %). Natomiast różnica między średnimi wartościami momentów siły Ag/Ang pomiędzy P1, a P2 dla grupy badanej ( $\Delta_{GB} = 10,37$  %) oraz dla grupy kontrolnej ( $\Delta_{GK} = 9,12$  %) były zbliżone, czyli w obu grupach eksperymentalnych doszło do poprawy.

### **V 3. Praca dynamiczna: parametry przy prędkości 60°/s**

#### **V 3.1. Szczytowy moment siły (60°/s) prostowników (PTe) i zginaczy (PTf)**

Pierwszym parametrem poddanym czteroczynnikowej analizie wariancji w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 60°/s były wartości szczytowego momentu siły mięśni (PT) [Nm] prostowników (e) i zginaczy (f) stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych przed (P1) i po (P2) eksperymencie. Ponieważ płęć i lateralizacja nie wykazały istotności statystycznej, model został zredukowany do dwuczynnikowej analizy wariancji. Wykonano także test post-hoc (test Duncana). Zaobserwowano, że w obu grupach eksperymentalnych zmiany są istotne statystycznie. Średnie arytmetyczne PTe w pomiarze P1 w grupie badanej dla mięśni prostowników (e:  $200,81 \pm 31,55$  Nm) były niższe niż w grupie kontrolnej ( $229,38 \pm 47,25$  Nm). Tak samo w przypadku mięśni zginaczy średnie wartości PTf w grupie badanej (f:  $99,50 \pm 22,96$ ) były niższe niż w grupie kontrolnej (f:  $112,07 \pm 23,29$  Nm). W pomiarze P2 średnie wartości PT w obu grupach eksperymentalnych wzrosły zarówno dla prostowników (e), jak i zginaczy (f). W grupie badanej w pomiarze P2 średnie wartości PT były wyższe (e:  $255,43 \pm 37,92$  Nm oraz f:  $151,56 \pm 25,58$  Nm) niż w grupie kontrolnej (e:  $236,83 \pm 48,82$  Nm oraz f:  $125,82 \pm 25,13$  Nm). W grupie badanej różnice między średnimi wartościami szczytowego momentu siły (PT) między pomiarami P1 a P2 są istotne statystycznie (w każdym

przypadku  $p < 0,001$ ) zarówno dla mięśni prostowników (e), jak i zginaczy (f) stawów kolanowych. W grupie kontrolnej różnice między średnimi arytmetycznymi między pomiarem P1 a P2 także są istotne statystycznie: dla prostowników (e) ( $p=0,0$ ) oraz dla zginaczy (f) ( $p < 0,001$ ). Jednak zaobserwowane różnice między średnimi arytmetycznymi w grupie badanej dla prostowników ( $\Delta_e=54,62$  Nm) i zginaczy ( $\Delta_f=7,45$  Nm) są większe niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_e=52,06$  Nm oraz  $\Delta_f=13,75$  Nm) (Rys. 9).



**Rysunek 9. Praca dynamiczna (60o/s): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych**

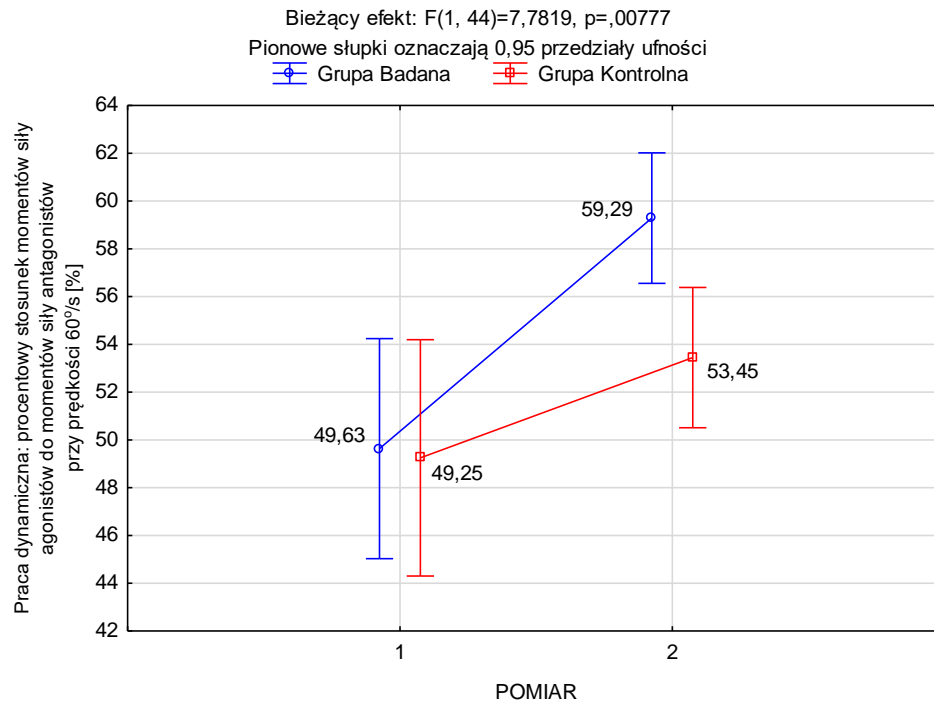
### V 3.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) (60°/s)

Kolejnym parametrem poddanym analizie w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 60°/s był procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] dla pomiaru przed (P1) i po (P2) eksperymencie. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, gdzie płeć grup i lateralizacja nie wykazały istotności statystycznej. Zredukowano model do dwuczynnikowej analizy wariancji, a następnie

wykonano test post-hoc (test Duncana). Do oceny wartości procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów wykorzystano wcześniej opisaną skalę w oparciu o normy dostępne w literaturze. Kryteria określają, że różnica między kończynami nie powinna przekraczać 10% (Davies i wsp., 1992). Natomiast stosunek procentowy momentów siły mięśni zginaczy do prostowników (Ag/Ang) [%]:

- 1) **Doskonali**: przy wartości 62 %;
- 2) **Bardzo dobry**: 57-61 % (przewaga prostowników) oraz 63-67 % (przewaga zginaczy);
- 3) **Dobry**: 51- 56 % (przewaga prostowników) oraz 68-71 % (przewaga zginaczy);
- 4) **Zły**: <51 % (przewaga prostowników) oraz >72 % (przewaga zginaczy).

Zaobserwowana interakcja pomiędzy pomiarami i grupami eksperymentalnymi jest istotna statystycznie ( $p=0,008$ ). W pomiarze P1 obie grupy: badana ( $49,63\pm 9,36$  %) i kontrolna ( $49,25\pm 7,12$  %) nie różniły się istotnie statystycznie średnimi wartościami procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang. Po zakończonym eksperymencie w obu grupach zaobserwowano istotne statystycznie ( $p_{GB}<0,001$  oraz  $p_{GK}=0,005$ ) przyrosty średnich wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang. Jednak w pomiarze P2 wartości średnich procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang w grupie badanej ( $59,29\pm 4,32$  %) były większe niż w grupie kontrolnej ( $53,45\pm 5,69$  %). Wykazuje to, że przyrost między P1 a P2 jest znacznie większy w grupie badanej niż w kontrolnej (Rys. 10). Różnica średnich wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang między pomiarem P1 a P2 dla grupy badanej ( $\Delta_{GB}=9,66$  %) była większa niż dla grupy kontrolnej ( $\Delta_{GK}=4,2$  %). Wykres nr 10 wykazuje, że w grupie badanej wzrost średniej wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang był większy niż w grupie kontrolnej.

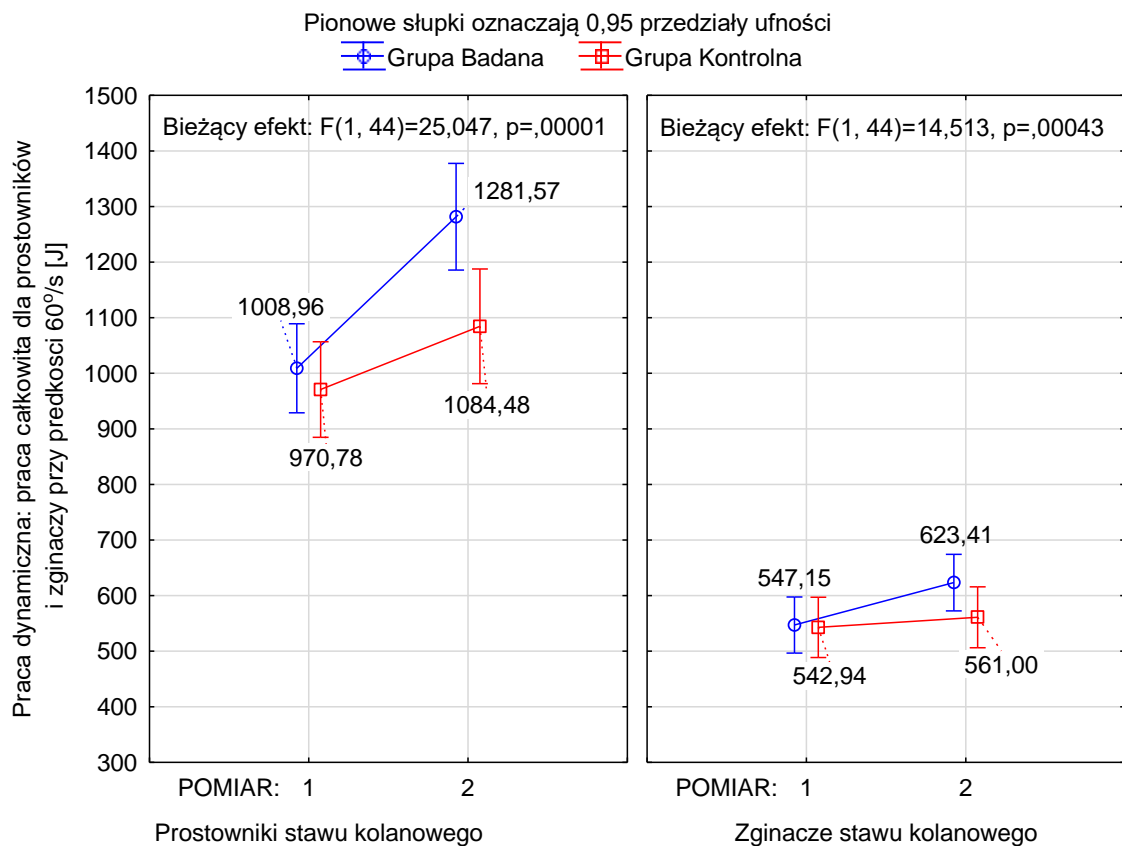


**Rysunek 10. Praca dynamiczna (60°/s): procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej**

### V 3.3. Praca całkowita (60°/s) prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J]

Kolejnym poddanym analizie wynikiem pomiarowym testów, przeprowadzonych w obu grupach eksperymentalnych przed (P1) i po (P2), były wartości pracy całkowitej (PT) [J], zmierzonej w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 60°/s dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) obu stawów kolanowych. Jak w przypadku analizy poprzednich parametrów, wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, w której płęć i lateralizacja nie wykazały w zastosowanym modelu istotności statystycznej. Zredukowano model do dwuczynnikowej analizy wariancji, a następnie wykonano test post-hoc (test Duncana). Zarówno dla mięśni prostowników, jak i zginaczy w obu grupach eksperymentalnych średnie arytmetyczne w pomiarze P1 nie różniły się od siebie istotnie statystycznie. Wykres nr 11 wykazuje, że w grupie badanej, między pomiarem P1 a P2 doszło do istotnych statystycznie zmian wartości pracy całkowitej zarówno dla mięśni prostowników jak i zginaczy (w każdym przypadku  $p<0,001$ ). Natomiast w grupie

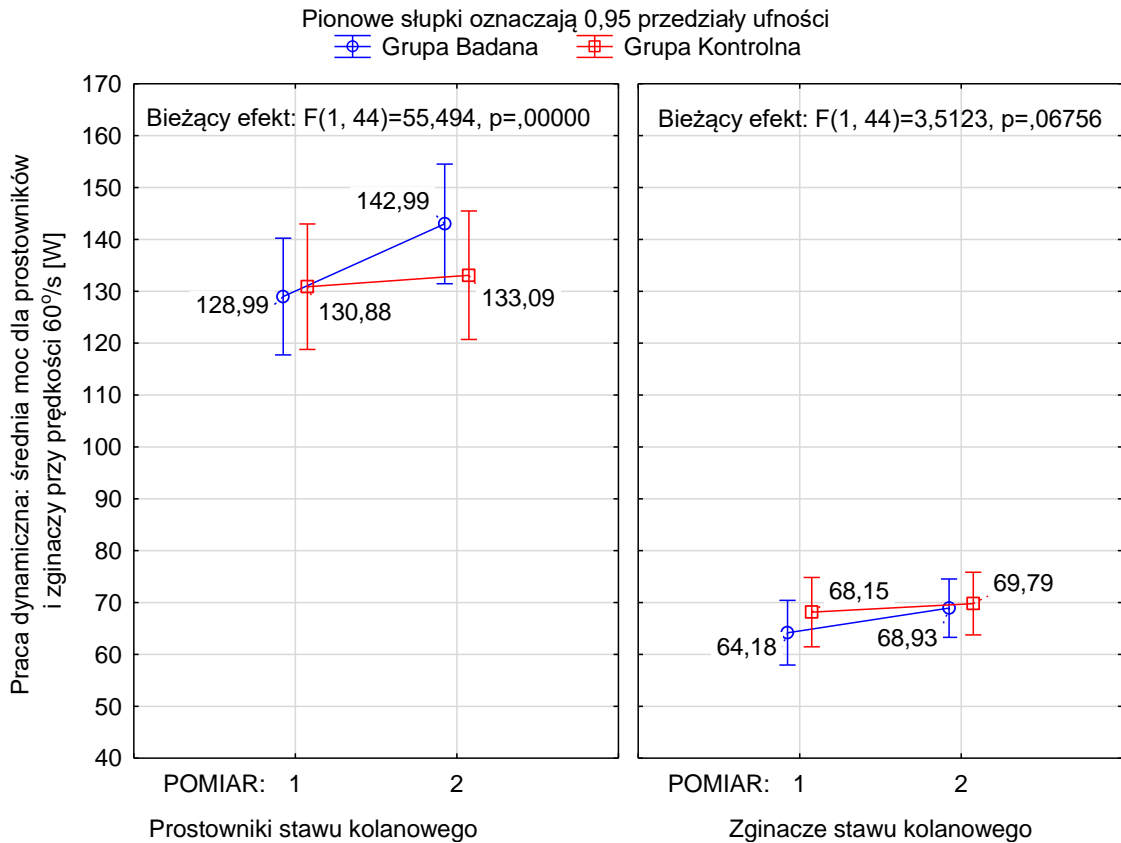
kontrolnej dla mięśni prostowników zmiany były także istotne ( $p < 0,001$ ), a dla mięśni zginaczy zmiany były nieistotne statystycznie ( $p = 0,100$ ). W grupie badanej średnie wartości pracy całkowitej (TW) były zbliżone (e:  $1008,96 \pm 252,96$  J oraz f:  $547,15 \pm 139,27$  J) do średnich wartości TW w grupie kontrolnej (e:  $970,78 \pm 229,15$  J oraz f:  $542,94 \pm 128,22$  J). Natomiast w pomiarze P2 zaobserwowano istotny statystycznie wzrost średniej wartości TW w obu grupach eksperymentalnych. W grupie badanej (e:  $1281,57 \pm 277,09$  J oraz f:  $623,41 \pm 136,61$  J), a w grupie kontrolnej (e:  $1084,48 \pm 226,54$  J oraz f:  $561 \pm 115,44$  J). Jednak w grupie badanej różnica między badaniem P1, a P2 dla prostowników ( $\Delta_e = 272,61$  J) oraz zginaczy ( $\Delta_f = 76,26$  J) jest istotnie statystycznie większa niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_e = 113,7$  J i  $\Delta_f = 18,06$  J) (na co wskazuje interakcja) (Rys. 11).



**Rysunek 11. Praca dynamiczna (60°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**

### V 3.4. Średnia moc (60°/s) prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W]

Wynikiem pomiarowym wykonanych testów, przeprowadzonych w obu grupach eksperymentalnych przed (P1) i po (P2), były wartości średniej mocy (AP) [W] zmierzonej w warunkach dynamicznych przy prędkości 60°/s dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) obu stawów kolanowych. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, w której płeć i lateralizacja nie wykazały, w zastosowanym modelu, istotności statystycznej. Zredukowano model do dwuczynnikowej analizy wariancji, a następnie wykonano test post-hoc (test Duncana). W pomiarze P1 średnie wartości średniej mocy (AP) nie różniły się od siebie istotnie statystycznie: w grupie badanej średnie wartości (e: 128,99±32,75 W oraz f: 64,18±16,37 W), a w grupie kontrolnej (e: 130,88±28,77 W oraz f: 68,15±16,38 W). Natomiast w pomiarze P2 w grupie badanej, średnie wartości AP wzrosły e: 142,99±36,1 W oraz f: 68,93±15,03 W. W przeciwieństwie do grupy kontrolnej, gdzie wartości średniej mocy AP pomiędzy P1 a P2 były zbliżone (e: 133,09±30,11 W oraz f: 69,79±16,32 W). Na wykresie nr 12 zaobserwowano, że w grupie kontrolnej i dla mięśni prostowników zmiany były istotne statystycznie ( $p=0,053$ ), a dla mięśni zginaczy nie doszło do zmian istotnych statystycznie ( $p=0,166$ ). Natomiast dla grupy badanej zaobserwowano zmiany istotne statystycznie między pomiarem P1 a P2 i dla mięśni prostowników i dla zginaczy (w każdym przypadku  $p<0,001$ ) (Rys. 12). Różnice średnich wartości AP między P1 a P2 w grupie kontrolnej były bardzo małe ( $\Delta_e=2,21$  W oraz  $\Delta_f=1,64$  W). Natomiast w grupie badanej różnice wartości średnich AP między P1 a P2 były wyraźnie większe ( $\Delta_e=14$  W oraz  $\Delta_f=4,75$  W).



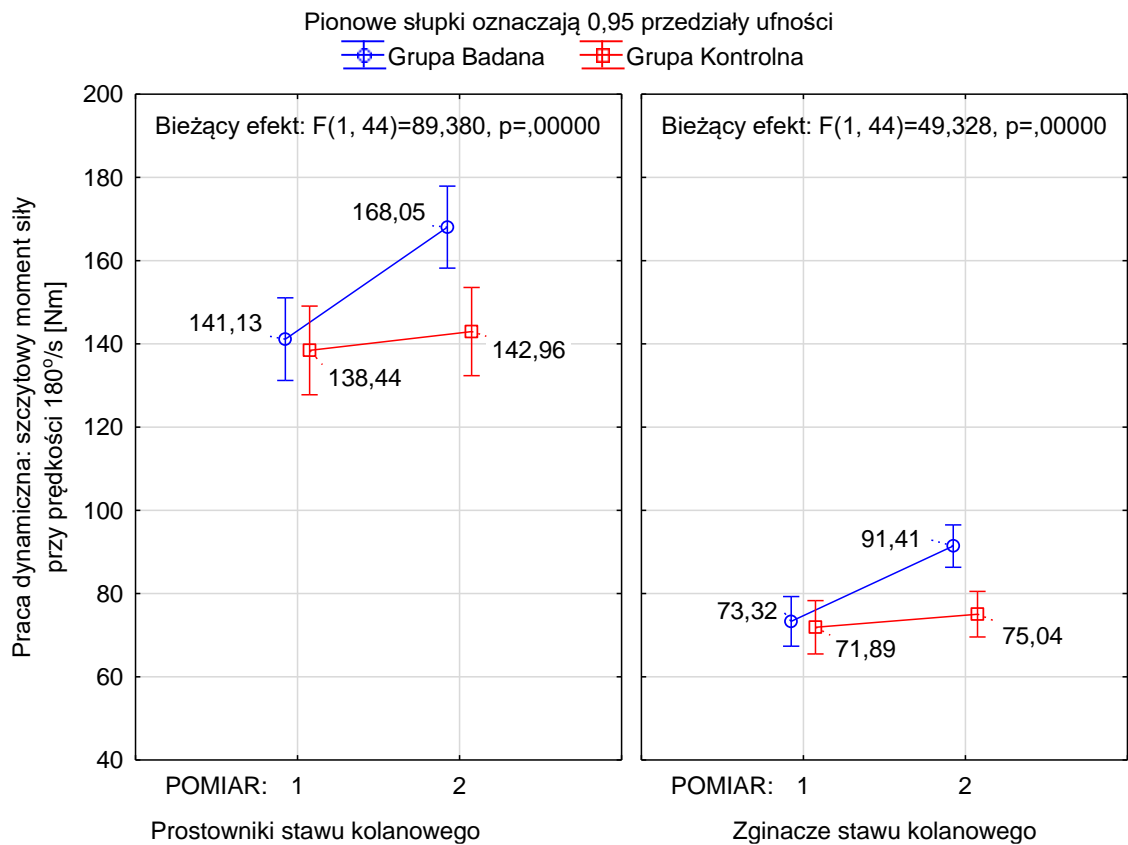
**Rysunek 12. Praca dynamiczna (60°/s): Średnia moc przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**

#### V 4. Praca dynamiczna: parametry przy prędkości 180°/s

##### V 4.1. Szczytowy moment siły (180°/s) prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm]

Pierwszym parametrem poddanym czteroczynnikowej analizie wariancji w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 180°/s były wartości szczytowego momentu siły mięśni (PT) [Nm] prostowników (e) i zginaczy (f) stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej przed (P1) i po (P2) eksperymencie. Ponieważ płeć i lateralizacja nie wykazały istotności statystycznej model został zredukowany do dwuczynnikowej analizy wariancji. Wykonano także test post-hoc (test Duncana). Wykres nr 13 wykazuje, że średnie wartości PT w pomiarze P1 zarówno dla mięśni prostowników (e), jak i mięśni zginaczy (f) nie różniły się od siebie istotnie statystycznie w obu grupach

eksperymentalnych. Średnie wartości wynosiły PT w grupie badanej (e:  $141,13 \pm 36,82$  Nm oraz f:  $73,32 \pm 18,01$  Nm) a w grupie kontrolnej (e:  $142,96 \pm 32,89$  Nm oraz f:  $75,04 \pm 16,17$  Nm). Zaobserwowano, że w obu grupach eksperymentalnych zarówno mięśnie prostowniki stawu kolanowego, jak i mięśnie zginacze wykazują zmiany istotne statystycznie między pomiarem P1 a P2 ( $p < 0,001$ ). Jednak w grupie badanej obserwowane różnice między średnimi wartościami szczytowego momentu siły są wyraźnie większe ( $\Delta_e = 26,92$  Nm oraz  $\Delta_f = 18,09$  Nm) niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_e = 4,52$  Nm oraz  $\Delta_f = 3,15$  Nm) (Rys. 13).



**Rysunek 13. Praca dynamiczna ( $180^\circ/s$ ): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych**



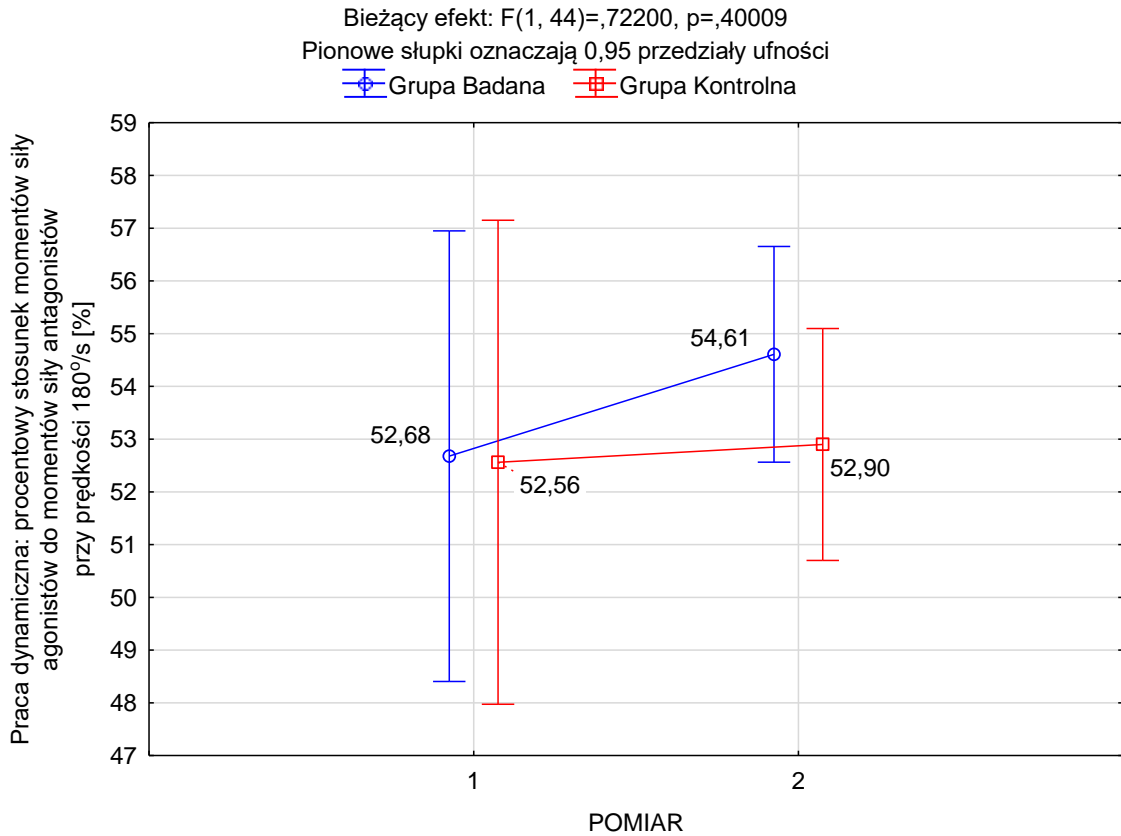
#### V 4.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (180°/s) (Ag/Ang) [%]

Kolejnym parametrem poddanym analizie w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 180°/s był procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] dla pomiaru przed (P1) i po (P2) eksperymencie. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, ale tak jak w poprzednich analizowanych parametrach płęć i lateralizacja nie wykazały istotności statystycznej. W związku z tym wykonano dwuczynnikową analizę wariancji (pomiar, grupy eksperymentalne). Następnie wykonano test post-hoc (test Duncana). Tak jak w przypadku analizy tego parametru przy prędkości 60°/s, w warunkach pracy statycznej i dynamicznej wykorzystano skalę w oparciu o normy dostępne w literaturze (Davies i wsp., 1992). Natomiast stosunek procentowy momentów siły mięśni zginaczy do prostowników (Ag/Ang) [%] określa skala:

- 1) **Doskonały**: przy wartości 62 %;
- 2) **Bardzo dobry**: 57- 61 % (ale przewaga prostowników) oraz 63-67 % (przewaga zginaczy);
- 3) **Dobry**: 51- 56 % (przewaga prostowników) oraz 68- 71 % (przewaga zginaczy);
- 4) **Zły**: <51 % (przewaga prostowników) oraz >72 % (przewaga zginaczy).

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic ani pomiędzy czynnikami głównymi, ani interakcji pomiędzy czynnikami. Założenie o jednorodności wariancji zostało spełnione (test Levene'a). W pomiarze P1 średnie wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang w obu grupach eksperymentalnych: badana ( $52,68 \pm 8,91$  %) i kontrolna ( $52,56 \pm 6,63$  %) nie różniły się istotnie statystycznie. Jednak odchylenie standardowe zarówno w grupie badanej, jak i kontrolnej było duże. W pomiarze P2 średnie wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang nie zmieniły się istotnie statystycznie ( $p_{GB}=0,197$  oraz  $p_{GK}=0,799$ ), ale odchylenie standardowe się zmniejszyło, grupa badana:  $54,61 \pm 3,1$  % oraz grupa kontrolna:  $52,50 \pm 5,02$  %. Różnice średnich wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang między pomiarami P1 a P2 nieznacznie się zwiększyły ( $\Delta_{GB}=1,93$  % oraz  $\Delta_{GK}=0,34$  %) w obu grupach eksperymentalnych. Analizując kryteria według skali zaobserwowano, że po zakończonym eksperymencie zarówno grupa badana, jak i kontrolna wykazują przyrosty procentowych wartości

stosunku momentów siły Ag/Ang i zbliżenie się tych wyników do oceny dobrej według wyżej wymienionych kryteriów (Rys. 14).

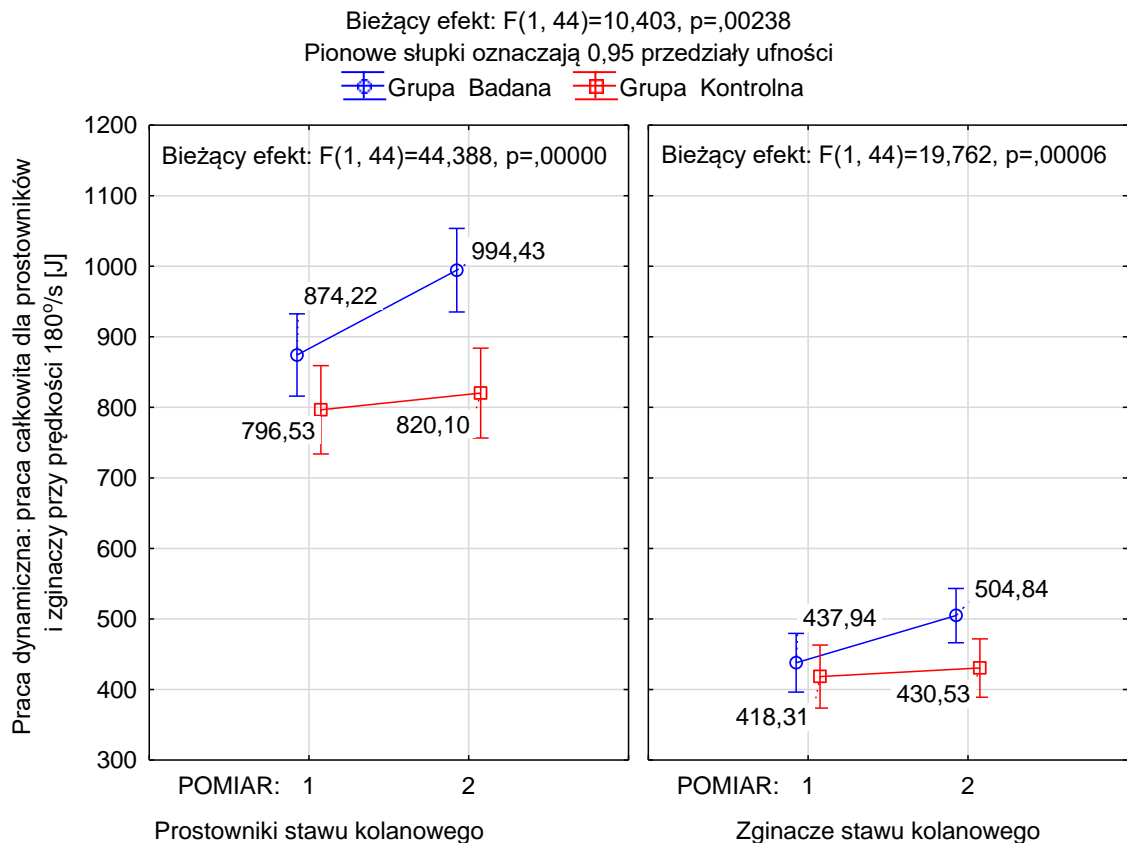


**Rysunek 14. Praca dynamiczna (180°/s): procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej**

#### V 4.3. Praca całkowita (180°/s) prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J]

Kolejnym analizowanym parametrem w pracy dynamicznej przy prędkości 180°/s w obu grupach eksperymentalnych w pomiarze P1 i P2 były wartości pracy całkowitej (PT) [J] dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) obu stawów kolanowych. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, którą zredukowano do modelu dwuczynnikowej analizy wariancji, ponieważ płeć i lateralizacja były nieistotne statystycznie. Następnie wykonano test post-hoc (test Duncana). Nie wykazano różnic istotnych statystycznie w pomiarze P1 między średnimi wartościami TW grupy badanej (e:  $874,22 \pm 255,09$  J oraz f:  $437,94 \pm 129,68$  J) oraz grupy kontrolnej (e:  $796,53 \pm 186,19$  J oraz f:  $418,31 \pm 96,99$  J).

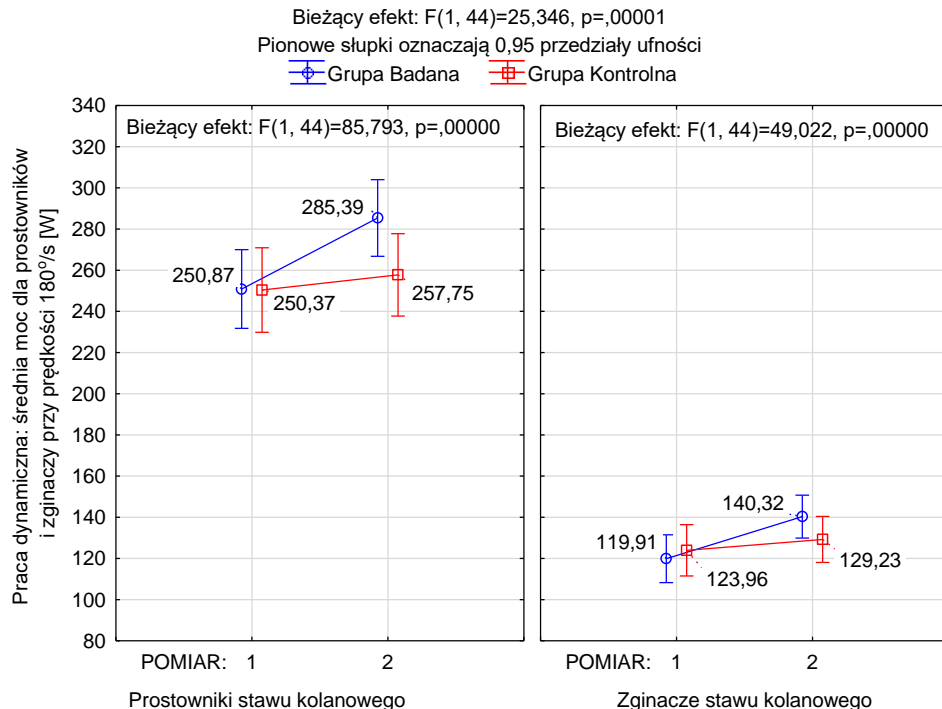
W pomiarze P2 zaobserwowano wzrost średnich wartości TW w grupie badanej (e:  $994,43 \pm 292,95$  J oraz f:  $504,85 \pm 140,16$  J) oraz w grupie kontrolnej (e:  $820,10 \pm 188,71$  J oraz f:  $430,53 \pm 96,72$  J). Wykres nr 15 wykazuje, że między pomiarem P1 a P2, w grupie badanej doszło do istotnych statystycznie zmian wartości pracy całkowitej mięśni prostowników i zginaczy (w każdym przypadku  $p < 0,001$ ). Natomiast w grupie kontrolnej zmiany dla mięśni prostowników również były istotne ( $p = 0,026$ ), a dla mięśni zginaczy analizowane wartości nie wykazały istotności ( $p = 0,190$ ). Jednak wykres nr 15 wykazuje, że w grupie badanej różnica między badaniem P1 a P2 dla prostowników ( $\Delta_e = 120,21$  J) oraz zginaczy ( $\Delta_f = 66,9$  J) jest istotnie statystycznie większa niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_e = 23,57$  J i  $\Delta_f = 12,22$  J) (Rys.15).



**Rysunek 15. Praca dynamiczna (180°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**

#### V 4.4. Średnia moc (180°/s) prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W]

Ostatnim wynikiem pomiarowym w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 180°/s wykonanych testów przeprowadzonych w obu grupach eksperymentalnych przed (P1) i po (P2), były wartości średniej mocy (AP) [W] dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) obu stawów kolanowych. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, która wykazała, że płeć oraz lateralizacja nie były istotne statystycznie. Zredukowano analizę do dwuczynnikowej (pomiar, grupy eksperymentalne) po czym wykonano test post-hoc (test Duncana). Wykazano, że obie grupy w pomiarze P1 nie różniły się średnimi wartościami APe i APf istotnie statystycznie, grupa badana (e: 285,39±73,65 W oraz f: 140,32±36,29 W) oraz grupa kontrolna (e: 257,75±61,35 W oraz f: 129,23±31,08 W). Na wykresie 16 zaobserwowano jednak, że zarówno dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) w obu grupach eksperymentalnych doszło do zmian istotnych statystycznie między pomiarem P1 a P2 (w każdym przypadku  $p < 0,001$ ). Jednak w grupie badanej różnica średnich AP dla prostowników ( $\Delta_e = 34,52$  W) i zginaczy ( $\Delta_f = 20,41$  W) jest większa niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_e = 7,38$  W oraz  $\Delta_f = 5,27$  W) (Rys. 16).

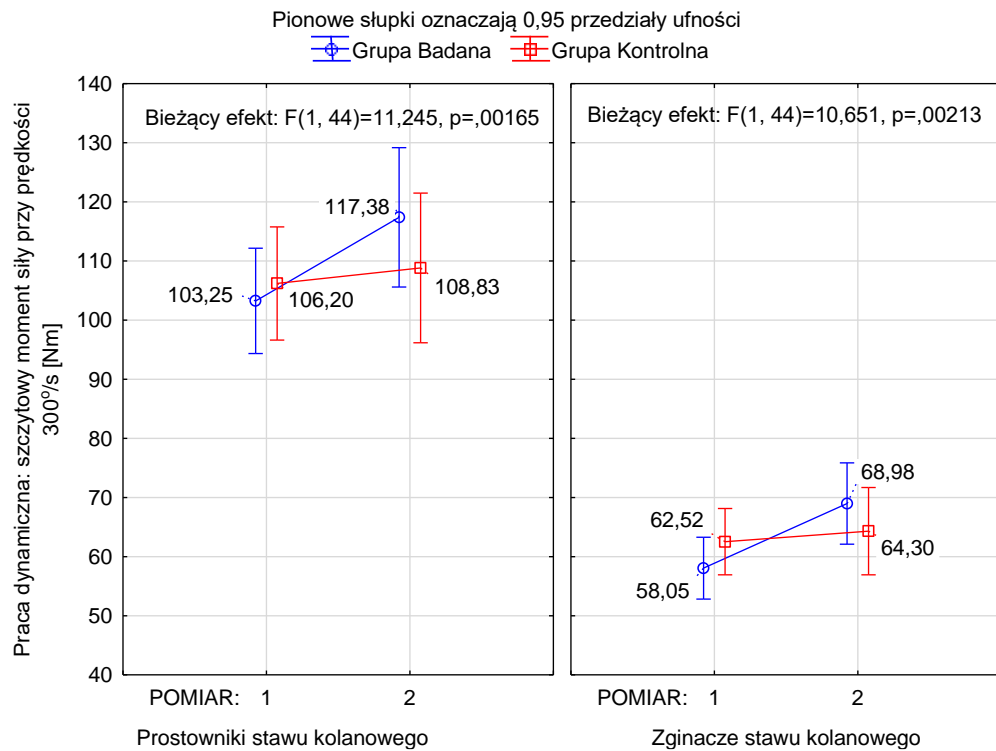


**Rysunek 16. Praca dynamiczna (180°/s): Średnia moc przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**

## V 5. Praca dynamiczna: parametry dla prędkości 300°/s

### V 5.1. Szczytowy moment siły (300°/s) prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm]

Pierwszym wynikiem pomiarowym, analizowanym w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 300°/s były wartości szczytowego momentu siły mięśni (PT) [Nm] prostowników (e) i zginaczy (f) stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej przed (P1) i po (P2) eksperymencie. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, gdzie płeć grup oraz lateralizacja nie wykazały w analizowanym modelu istotności statystycznej. Model zredukowano do analizy dwuczynnikowej, która wykazała, że istnieje różnica między porównywanymi średnimi wartościami szczytowego momentu siły (PT). Następnie wykonano test post-hoc (test Duncana). Zaobserwowano, że średnie wartości PTe i PTf, w obu grupach eksperymentalnych w pomiarze P1, nie różniły się od siebie istotnie statystycznie. W grupie badanej wartości te wynosiły dla e: 103,25±20,85 Nm oraz f: 58,05±11,53 Nm oraz w grupie kontrolnej dla e: 106,2±25,46 Nm oraz f: 62,52±13,81 Nm. Natomiast w pomiarze P2 średnie wartości PT w grupie badanej e: 117,38±25,94 Nm oraz f: 68,98±14,92 Nm istotnie wzrosły w przeciwieństwie do grupy kontrolnej e: 108,83±26,02 Nm oraz f: 64,30±13,51 Nm, gdzie średnie wartości nie wzrosły znacznie. Wykres nr 17 wykazuje, że w grupie badanej doszło do istotnych statystycznie zmian wartości szczytowego momentu siły dla mięśni prostowników i zginaczy (w każdym przypadku  $p < 0,001$ ) między pomiarem P1 i P2. Natomiast w grupie kontrolnej zmiany były nieistotne statystycznie (dla prostowników:  $p = 0,280$  oraz dla zginaczy:  $p = 0,372$ ). Zaobserwowano dymorfizm płciowy, ale czynnik płci nie wchodzi istotnie statystycznie do modeli interakcyjnych. Zaobserwowano, że w grupie badanej dla mięśni prostowników (e) i mięśni zginaczy (f) pomiędzy pomiarem P1 a P2 zmiana średnich wartości szczytowego momentu siły (PT) była istotna statystycznie. Natomiast w grupie kontrolnej zmiany między pomiarami (P1 a P2) średnich wartości PT nie były istotne statystycznie. Różnice średnich wartości PT w grupie badanej były istotnie większe ( $\Delta_e = 14,13$  Nm oraz  $\Delta_f = 10,93$  Nm) niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_e = 2,63$  Nm oraz  $\Delta_f = 1,78$  Nm) (Rys. 17).

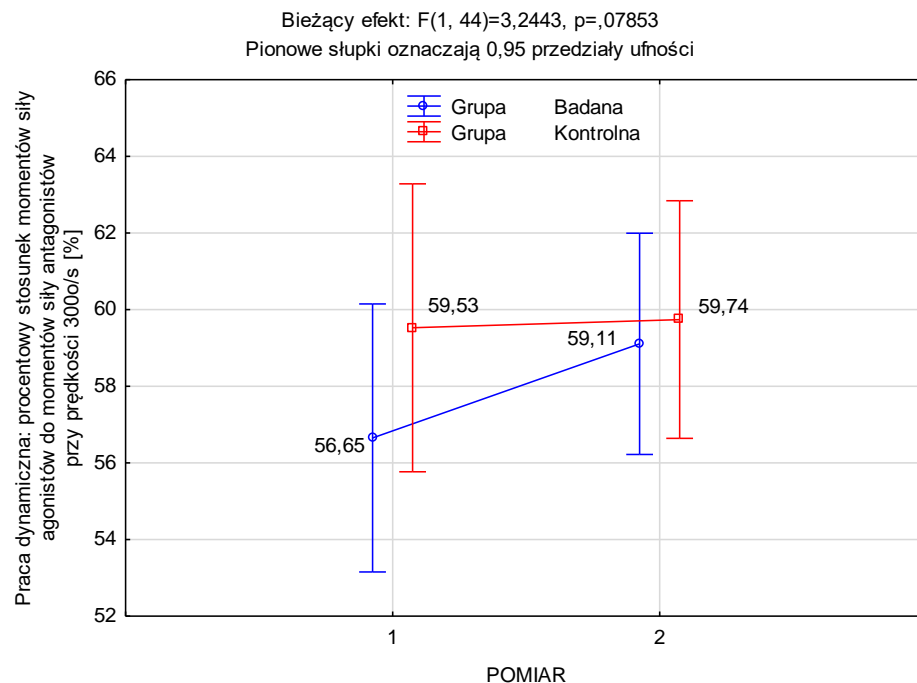


**Rysunek 17. Praca dynamiczna (300°/s): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych**

## **V 5.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (300°/s) (An/Ang) [%]**

Po wykonanych testach kolejnym analizowanym parametrem był procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 300°/s w obu grupach eksperymentalnych dla prostowników (e) i zginaczy (f) stawu kolanowego przed (P1) i po (P2) eksperymencie. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji (pomiary, grupy, płeć i lateralizacja), którą zredukowano do modelu dwuczynnikowej analizy (ponieważ płeć grup i lateralizacja nie były istotne statystycznie). Następnie wykonano test post-hoc (test Duncana). Grupy eksperymentalne w pomiarze P1 różniły się od siebie średnimi wartościami procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang). Średnia wartość procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang w grupie badanej wynosiła:  $56,65 \pm 7,07$  % w pomiarze P1 a w grupie kontrolnej  $59,53 \pm 6,95$  %. Zaobserwowane

zmiany analizowanych wartości dla grupy badanej wykazały istotność statystyczną ( $p=0,006$ ) natomiast dla grupy kontrolnej nie były istotne statystycznie ( $p=0,808$ ). Według wcześniej opisywanych kryteriów w warunkach pracy statycznej oraz w warunkach pracy dynamicznej przy prędkościach  $60^{\circ}/s$  i  $180^{\circ}/s$ , wyniki te dają w przypadku grupy kontrolnej ocenę bardzo dobrą a w przypadku grupy badanej ocenę dobrą. Zastosowane ćwiczenia nie zmieniły wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang w grupie kontrolnej, czyli nie zaobserwowano zmian istotnych statystycznie ( $59,74 \pm 6,01$  %). Natomiast w grupie badanej, jak już wspomniano, w pomiarze P1, wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang według kryteriów oceniane były jako dobre. Wyniki widoczne na wykresie 18 wykazały, że w grupie badanej zmiany między pomiarem P1 a P2 są istotne statystycznie ( $59,11 \pm 5,49$  %). Wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang w pomiarze P2, zwiększyły się istotnie statystycznie i według kryteriów miały ocenę bardzo dobrą (Rys. 18). Różnica średnich wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang między pomiarem P1 a P2 w grupie badanej ( $\Delta_{GB}=2,46$  %) była istotnie większa niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_{GK}=0,21$  %).

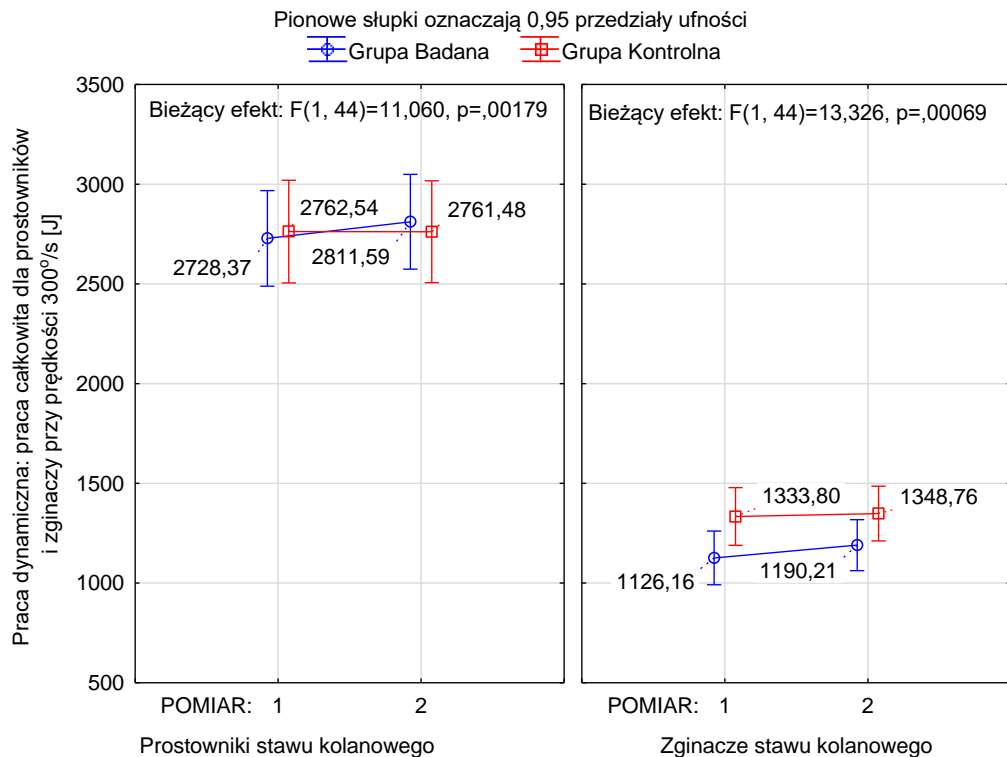


**Rysunek 18. Praca dynamiczna ( $300^{\circ}/s$ ): procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej**

### V 5.3. Praca całkowita (300°/s) prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J]

Kolejnym analizowanym parametrem w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 300°/s, w obu grupach eksperymentalnych w pomiarze P1 i P2, były wartości pracy całkowitej (PT) [J] dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) obu stawów kolanowych. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji, która wykazała, że ani płeć grup ani lateralizacja nie były istotne statystycznie. Zredukowano model do dwuczynnikowej analizy wariancji, a następnie wykonano test post-hoc (test Duncana). Wykazano, że obie grupy eksperymentalne dla mięśni prostowników (e) nie różniły się od siebie średnimi wartościami pracy całkowitej (TW) istotnie statystycznie w pomiarze P1. W grupie badanej wynosiły: e:  $2728,37 \pm 594,42$  J natomiast w grupie kontrolnej e:  $2762,54 \pm 639,85$  J. Dla mięśni zginaczy (f) różnice w pomiarze P1 między średnimi, grupy badanej (f:  $1126,16 \pm 198,21$  J), a grupy kontrolnej (f:  $1333,80 \pm 325,83$  J), były istotne statystycznie. W pomiarze P2 średnie wartości TW w grupie badanej istotnie wzrosły dla mięśni prostowników (e:  $2811,59 \pm 588,54$  J), a także dla mięśni zginaczy (f:  $1190,21 \pm 184,51$  J) (w każdym przypadku  $p < 0,001$ ). Natomiast w grupie kontrolnej w pomiarze P2 zmiany średniej wartości pracy całkowitej (TW) były nieistotne (e:  $2761,48 \pm 649,98$  J oraz f:  $1348,76 \pm 317,41$  J) (dla prostowników:  $p = 0,953$  oraz dla zginaczy:  $p = 121$ ). W grupie badanej wystąpiły istotne statystycznie różnice między średnimi wartościami pracy całkowitej (TW) ( $\Delta_e = 83,22$  J oraz  $\Delta_f = 64,05$  J) między pomiarem P1 a P2 w przeciwieństwie do grupy kontrolnej, gdzie różnice były nieistotne statystycznie ( $\Delta_e = -1,06$  J oraz  $\Delta_f = 14,96$  J) (Rys. 19).



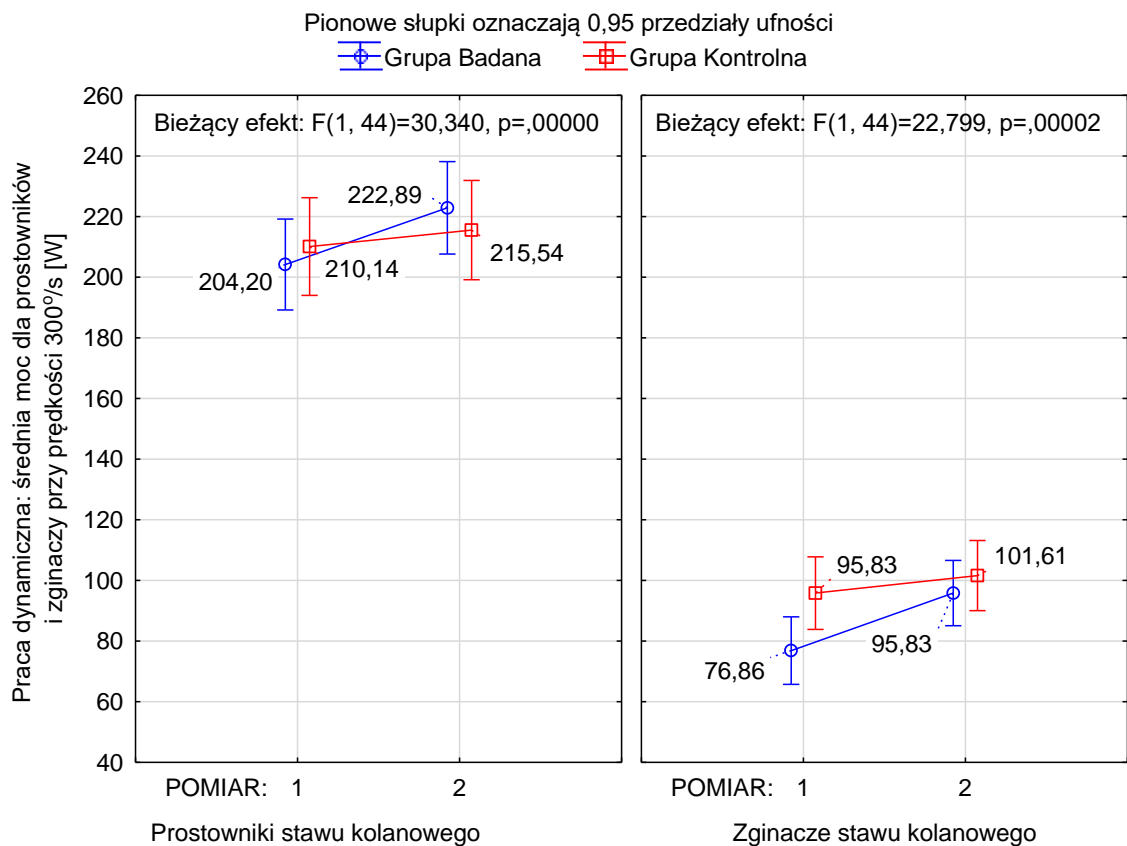


**Rysunek 19. Praca dynamiczna (300°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej.**

#### V.5.4. Średnia moc (300°/s) prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W]

Ostatnim wynikiem pomiarowym w warunkach pracy dynamicznej przy prędkości 300°/s wykonanych testów przeprowadzonych w obu grupach eksperymentalnych przed (P1) i po (P2), były wartości średniej mocy (AP) [W] dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) obu stawów kolanowych. Wykonano czteroczynnikową analizę wariancji (pomiary, grupy, płeć, lateralizacja), gdzie wykazano, że płeć grup i lateralizacja nie wchodzi do modelu istotnie statystycznie. Model zredukowano do dwuczynnikowej analizy wariancji (pomiar, grupy), a następnie wykonano test post-hoc (test Duncana). Wykazano, że obie grupy w pomiarze P1 dla prostowników (e) nie różniły się średnimi wartościami średniej mocy (APe) istotnie statystycznie. W grupie badanej wynosiły e:  $204,20 \pm 52,83$  W, a w grupie kontrolnej e:  $210,14 \pm 44,22$  W. Natomiast dla zginaczy (f) w pomiarze P1 różnice między średnimi APf były istotne statystycznie. W grupie badanej

wynosiły  $f$ :  $76,86 \pm 21,82$  W i były to wartości niższe niż w grupie kontrolnej  $f$ :  $95,83 \pm 23,15$  W. Jednak zarówno dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) w obu grupach eksperymentalnych doszło do zmian istotnych statystycznie między pomiarami P1 a P2 (w każdym przypadku  $p < 0,001$ ). W grupie badanej średnie wartości pracy całkowitej AP istotnie wzrosły e:  $222,89 \pm 56,76$  W oraz f:  $95,83 \pm 25,33$  W, a grupie kontrolnej e:  $215,54 \pm 44,53$  W oraz f:  $101,61 \pm 26,23$  W, ale nie były to zmiany tak duże jak w przypadku grupy kontrolnej. Zaobserwowano, że w grupie badanej różnica średnich wartości AP dla prostowników ( $\Delta_e = 18,69$  W) i zginaczy ( $\Delta_f = 5,4$  W) jest istotnie większa niż w grupie kontrolnej ( $\Delta_e = 18,97$  W oraz  $\Delta_f = 5,78$  W) (Rys. 20).



**Rysunek 20. Praca dynamiczna (300%/s): Średnia moc przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**

## VI Dyskusja

W ciągu ostatnich lat zabiegi elektrostymulacji są powszechnie stosowane zarówno w praktyce fizjoterapeutycznej, jako alternatywa dla treningu, dodatkowy bodziec podczas ćwiczeń czy zabieg odnowy biologicznej. Wiele badań wykazało, że elektrostymulacja znajduje zastosowanie u osób po kontuzjach, aby zapobiegać zanikowi masy mięśniowej stawu po urazie oraz odbudowywać masę i siłę mięśniową. Większość badań odnoszących się do wpływu elektrostymulacji na parametry siłowo-prędkościowe mięśnia czworogłowego uda dotyczy osób po urazach sportowych, głównie po zerwaniu więzadła krzyżowego przedniego (ACL) lub jego rekonstrukcji lub ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego. Jednak ilość uczestników jest niewielka, zazwyczaj od 10 do 15 osób. Badania własne wykonano na osobach zdrowych w wieku 22-30 lat. W grupie badanej (26 osób), zastosowano program treningowy metodą RSQ1, polegający na wykonaniu prostych, powtarzalnych ćwiczeń statycznych i dynamicznych z równoczesną elektrostymulacją RSQ1. Grupa kontrolna (22 osoby) natomiast wykonywała te same ćwiczenia według instruktażu bez elektrostymulacji RSQ1. Niewiele jest także badań, w których analizuje się inne parametry niż szczytowy moment siły (PT) [Nm] i pracę całkowitą (TW) [J] zarówno w warunkach pracy statycznej, jak i warunkach pracy dynamicznej. W badaniach własnych analizie poddano obwody uda w dwóch punktach antropometrycznych: C1 [cm] (najbardziej obszerna część głowy przysrodkowej mięśnia czworogłowego uda) oraz C2 [cm] (najbardziej obszerna część głowy bocznej i prostej mięśnia czworogłowego uda). W warunkach pracy statycznej analizowano szczytowy moment siły (PT) [Nm] oraz procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów [Ag/Ang] [%]. Natomiast w warunkach pracy dynamicznej zbadano zmiany szczytowego momentu siły (PT) [Nm], procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%], pracy całkowitej (TW) [J] oraz średniej mocy (AP) [W]. Wszystkie parametry w warunkach pracy dynamicznej analizowano przy prędkości 60°/s, 180°/s oraz 300°/s.

W badaniach Dziuby-Słoniny i wsp. w 2018 roku zastosowano nerwowomięśniową elektrostymulację (NMES) metodą ARPwave, w której stosowany elektrostymulator wykorzystuje te same parametry dwóch równoległe działających prądów

(pierwszy: 500 Hz i drugi: 10 000 Hz) oraz procedury zabiegu. Urządzenia tylko różnią się krajem pochodzenia. Celem badań było wykazanie wpływu metody ARPwave połączonej z dietą wysokobiałkową na obwody ud pacjentów po przebyłym urazie stawu kolanowego. Badania zostały wykonane na 96 osobach, u których kończyna po urazie była porównywana z kończyną zdrową. Terapia ARPwave składała się z 10 zabiegów, podczas których w trakcie stymulacji wykonywane były ćwiczenia dynamiczne według instruktażu. W wyniku prowadzonej terapii, zarówno w grupie kobiet, jak i mężczyzn, zauważono bardziej znaczące zwiększenie obwodów po stronie kończyny po przebyłym urazie w porównaniu z kończyną zdrową. W badaniach własnych grupy eksperymentalne (grupa badana i kontrolna) stanowiło 48 osób zdrowych, bez urazu w obrębie kończyn dolnych. W grupie badanej, tak samo jak w badaniu Dziuby-Słoniny i wsp. wykonano 10 zabiegów elektrostymulacji metodą RSQ1, podczas których uczestnicy wykonywali ćwiczenia statyczne i dynamiczne podczas przepływu prądu przez stymulowane mięśnie. Mimo, że grupy eksperymentalne w badaniach własnych stanowiły osoby zdrowe, to porównanie wyników z badaniami Dziuby-Słoniny i wsp. jest uzasadnione. Analizując obwody uda badań własnych po terapii RSQ1 zaobserwowano istotne statystycznie ich zwiększenie w grupie badanej w obu kończynach dolnych zarówno w punkcie antropometrycznym C1 ( $p < 0,001$ ), jak i w punkcie C2 ( $p < 0,001$ ). Płeć w grupach, w przypadku obu badań, nie wykazała istotności statystycznej w analizach. W badaniach Dziuby-Słoniny i wsp. większe przyrosty zaobserwowano w kończynie po urazie, w której doszło do zaniku mięśni w wyniku unieruchomienia. Natomiast w badaniach własnych terapia RSQ1 była stosowana symetrycznie (jednocześnie obie kończyny dolne), a więc obwody zwiększyły się także symetrycznie (w obu kończynach dolnych). Lateralizacja kończyn dolnych tak jak płeć nie była istotna statystycznie w analizach. Jeśli u uczestnika występowała różnica między obwodami kończyny dominującej a przeciwnej, to w większości przypadków obwody się wyrównywały. Co ważne przeprowadzony eksperyment nie powodował powstawania większych różnic ani w obwodach uda ani w momencie siły między kończynami dolnymi. Świadczyć to może o większym wpływie zastosowanego bodźca na słabsze grupy mięśniowe, co w konsekwencji zarówno w badaniach własnych, jak i Dziuby-Słoniny i wsp. prowadziło do zwiększenia symetrii obwodów (Dziuba-Słonina i wsp., 2018). Podobną zależność zaobserwowano analizując maksymalne momenty siły

(PT) mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) stawu kolanowego oraz procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] w warunkach pracy statycznej i dynamicznej. U większości uczestników zaobserwowano znaczną przewagę mięśni prostowników (e) nad zginaczami (f). Takie dysproporcje mogą być przyczyną wystąpienia kontuzji w przyszłości. Możliwości siłowe słabszej grupy mięśniowej (zginaczy) w pomiarze P1 (przed eksperymentem), a po terapii z wykorzystaniem RSQ1 w pomiarze P2 (3 dni po eksperymencie) zwiększyły się istotnie statystycznie poprawiając tym samym bilans siłowy mięśni antagonistycznych. Ponadto zaobserwowano, że poprawa bilansu była także w grupie kontrolnej, a więc zastosowanie samych ćwiczeń miało już pozytywny wpływ i działanie profilaktyczne. Jednak zmiany w grupie kontrolnej nie były tak duże jak w grupie badanej i nie w każdym przypadku były istotne statystycznie. Wykazano, że procentowy stosunek momentów siły Ag/Ang [%] przed eksperymentem (P1) wynosił <51 %, w opisanej skali oceniany był jako bilans zły (duża przewaga mięśni prostowników). W pomiarze P2 w obu grupach eksperymentalnych doszło do poprawy tego bilansu. W obu grupach zmiany te były istotne statystycznie, ale w grupie badanej wzrosty we wszystkich analizowanych parametrach były większe niż w grupie kontrolnej.

Jedną z głównych metod pomiarowych mierzących parametry siłowo-prędkościowe mięśni w warunkach pracy: izometrycznej, izotonicznej oraz izokinetycznej jest dynamometr - Biodex. Clements i wsp. w 2014 roku w swoich badaniach potwierdzili, że Biodex jest obiektywną metodą pomiarową, dającą możliwość archiwizacji wyników i eksportu danych do analizy statystycznej. W badaniu wzięło udział 30 zdrowych uczestników w wieku 22-35 lat, poddanych elektrostymulacji 3 razy w tygodniu przez 3 tygodnie. Do pomiaru i analizy wyników wykorzystano dwie metody pomiarowe. Porównywano wyniki z Biodex system z ręcznym dynamometrem (HHD). Badano szczytowy moment siły (PT) [Nm] mięśni prostowników (e) stawu kolanowego kończyny dolnej dominującej i przeciwnej. Zgodność otrzymanych wyników analizowano za pomocą korelacji Pearsona i analizy Blanda-Altmana. Średni szczytowy moment siły otrzymany dla Biodex wyniósł 191,1 Nm dla kończyny dominującej i 188,2 Nm dla kończyny przeciwnej, a dla ręcznego dynamometru HHD - 167,5 Nm dla kończyny dominującej oraz 165,4 Nm dla kończyny przeciwnej. Średnia różnica szczytowego momentu siły (PT)

[Nm] otrzymanej przez Biodex i HHD wynosiła  $\Delta=24,1$  dla kończyny dominującej oraz  $\Delta=22,8$  Nm dla kończyny przeciwnej. Zaobserwowano, że otrzymane wyniki na ręcznym dynamometrze były niższe niż wyniki otrzymane na Biodex. Badacze wyciągnęli wnioski, że na wyniki nie wpłynęła siła badanego, tylko dokładność i powtarzalność pomiarów (Clements i wsp., 2014). Istnieje wiele badań potwierdzających zastosowanie Biodex jako obiektywnej metody pomiarowej. Dlatego w badaniach własnych także wykorzystano Biodex 3 Pro jako obiektywną metodę do pomiaru parametrów siłowo-prędkościowych. W eksperymencie własnym wiek uczestników badania był podobny jak w badaniach Clements i wsp. oraz zbliżona ilość i częstotliwość zabiegów (3-4 razy w tygodniu przez 3 tygodnie). W badaniach własnych analizowano wpływ elektrostymulacji RSQ1 i ćwiczeń na parametry siłowo-prędkościowe w warunkach pracy statycznej i dynamicznej przy trzech prędkościach. Możliwości siłowe uczestnika eksperymentu analizowane były przy prędkości  $60^{\circ}/s$ , możliwości siłowo-wytrzymałościowe przy prędkości  $180^{\circ}/s$ , a wytrzymałościowe przy prędkości  $300^{\circ}/s$ . W wynikach zaobserwowano, że im większa prędkość przy wykonywanych testach, tym większe ryzyko błędu pomiarowego. Może jest to przyczyna, dla której większość badaczy w swoich pomiarach analizuje parametry przy małych prędkościach np.  $60^{\circ}/s$ . Przy prędkości  $60^{\circ}/s$  wszystkie parametry w grupie badanej istotnie się zwiększyły. Jeśli w grupie kontrolnej parametry też się zwiększały, to i tak różnica średnich ( $\Delta$ ) wartości była mniejsza niż w grupie badanej. Świadczy to o tym, że w aspekcie parametrów siłowych zmiany były istotne statystycznie. W przypadku prędkości  $180^{\circ}/s$  czyli analizy siłowo-wytrzymałościowej parametry w grupach eksperymentalnych się zwiększały. Jednak nie we wszystkich mierzonych parametrach zmiany były istotne statystycznie, tj. procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%]. Natomiast jeśli chodzi o parametry wytrzymałościowe przy prędkości  $300^{\circ}/s$ , to zmiany w grupie badanej między pomiarami P1 (przed eksperymentem) a P2 (3 dni po eksperymencie) były istotne statystycznie, a w grupie kontrolnej nie każdy parametr zmieniał się istotnie statystycznie.

Filipovic i wsp. w 2012 roku wykonali przegląd literatury, gdzie spośród 200 badań wybrano 89 do analizy. Porównali działanie różnych metod elektrostymulacji na parametry siłowo-prędkościowe (tj. maksymalny moment siły, moc, skoczność i sprint) u osób prowadzących aktywny tryb życia, a także u zawodowych sportowców. Analizowane

badania dotyczyły elektrostymulacji miejscowej lub globalnej. Ta analiza naukowa wykazała, że ogólne stosowanie elektrostymulacji pozytywnie wpływa na rozwój sprawności fizycznej. W licznych badaniach wykazano, że najbardziej optymalny czas i częstotliwość stosowania elektrostymulacji to 3 razy w tygodniu przez 3 do 6 tygodni. Stosowanie elektrostymulacji dłużej niż 6 tygodni powoduje z jednej strony przyzwyczajenie się organizmu do stosowanego bodźca, a z drugiej strony zmęczenie stymulowanego mięśnia czy grupy mięśni, co może wpływać na wyniki i efekty sesji elektrostymulacji. Dlatego eksperyment własny trwał 3 tygodnie, a sesje odbywały się w pierwszym tygodniu 4 razy, a w dwóch pozostałych po 3 razy w każdym tygodniu. Jednak wiele z analizowanych badań potwierdza, że miejscowa elektrostymulacja (EMS) połączona z treningiem znacząco poprawia szczytowe momenty siły (PT) [Nm] prostowników (e) i zginaczy (f) stawu kolanowego (Filipovic i wsp., 2012). Badania własne dotyczą elektrostymulacji (EMS) miejscowej metodą RSQ1, gdzie stymulacji poddane zostały: głowa przysrodkowa i obszerna prosta mięśnia czworogłowego uda. Ćwiczenia były symetryczne, więc stosowana elektrostymulacja także była wykonywana na obu kończynach dolnych. Wiele badań z metaanalizy Filipovica i wsp. wykazało pozytywny wpływ elektrostymulacji miejscowej na szczytowy moment siły (PT) [Nm], pracę całkowitą (TW) [J] oraz skoczność czy szybkość. W badaniach własnych analizowano parametry siłowo-prędkościowe, ale zarówno w warunkach pracy statycznej, jak i w warunkach pracy dynamicznej. W wynikach zaobserwowano, że parametry, tj. szczytowy moment siły (PT) [Nm], procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%], praca całkowita (TW) [J] oraz średnia moc (AP) [W] istotnie się zwiększyły w grupie badanej tak jak w badaniach licznych autorów z przeglądu literatury Filipovica i wsp. Jeśli w grupie kontrolnej zmiany były także istotne statystycznie, to po obliczeniu różnic ( $\Delta$ ) pomiędzy pomiarami P1 a P2 wykazano, że w grupie badanej zmiany zawsze były większe. Co ważne, zaobserwowano, że nie powstawały dysproporcje w procentowym stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang), a wręcz przeciwnie - słabsze grupy mięśniowe wzmacniały się. Co może oznaczać, że słabsze grupy mięśniowe są bardziej podatne na stosowany w sesjach RSQ1 bodziec. Jeśli któryś z parametrów dla mięśni prostowników wzrastał, to dla mięśni zginaczy także. Dlatego wartość procentowego bilansu momentów

siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] w warunkach pracy statycznej oraz dynamicznej przy wszystkich prędkościach (60°/s, 180°/s, 300°/s) poprawił się.

Avila i wsp. w 2008 roku w swoich badaniach ocenili skutki nerwowo-mięśniowej elektrostymulacji (NMES) w połączeniu z programem treningu izokinetycznego. W eksperymencie wzięło udział 20 uczestników, zdrowych kobiet i mężczyzn w wieku 18 - 25 lat. W badaniach Avila i wsp. grupę kontrolną stanowiło 10 osób, a w badaniach własnych 22 osoby. Grupy kontrolne w obu badaniach miały tylko ćwiczenia. Natomiast grupa badana w eksperymencie Avila i wsp. składała się także z 10 osób, a w badaniach własnych z 26 osób. Obie grupy badane miały ćwiczenia z jednoczesną elektrostymulacją. W badaniach Avila i wsp. sesje odbywały się 2 razy w tygodniu przez 4 tygodnie. Natomiast w badaniach własnych sesje odbywały się 4 razy w pierwszym tygodniu i 3 razy w drugim i trzecim tygodniu eksperymentu przez 3 tygodnie. Avil i wsp. zastosowali u uczestników rosyjską (Yakova Kotza) stymulację, wykorzystującą prądy średniej częstotliwości: 2500 Hz. W obu grupach doszło do zwiększenia szczytowego momentu sił (PT) [Nm] mięśni prostowników (e) stawu kolanowego ( $p < 0,01$ ) oraz nastąpiło także skrócenie czasu przyśpieszenia ( $p < 0,01$ ) w obu kończynach (bez względu na płeć), ale bez zmian istotnie statystycznych między grupami. Brak zmian istotnie statystycznych może wynikać z tego, że zabiegi były stosowane ze zbyt małą częstotliwością, bo tylko 2 razy w tygodniu, ale ważny jest fakt, że już to wystarczyło, żeby doszło do zmian w wartościach szczytowego momentu siły (PT) [Nm]. W badaniach własnych, tak jak w badaniach Avila i wsp. kobiety i mężczyźni stanowili grupy eksperymentalne. Jednak oba badania wykazały, że płeć nie wykazuje w analizie istotności statystycznej. W eksperymencie własnym również zaobserwowano zmiany istotnie statystycznie wartości szczytowego momentu siły (PT) [Nm], zarówno w warunkach pracy statycznej, jak i dynamicznej przy trzech prędkościach (60°/s, 180°/s, 300°/s). Trzeba podkreślić, że w badaniach własnych analizowano także zmiany obwodów uda [cm] oraz wcześniej opisane parametry siłowo-prędkościowe, w których też doszło do zmian istotnych statystycznie w grupie badanej.

W 2014 roku Canning i Grenier wykazali wpływ EMS na przyrost szczytowego momentu siły (PT) [Nm] głowy przyśrodkowej mięśnia czworogłowego uda (VMO).



W badaniach własnych, u każdego uczestnika, poddano elektrostymulacji nie tylko głowę przyśrodkową, ale również głowę obszerną prostą mięśnia czworogłowego uda. W badaniu wzięło udział 15 zdrowych, nietreningujących mężczyzn w wieku 18 - 25 lat. Zostali podzieleni na 3 grupy: pierwsza wykonywała tylko ćwiczenia, druga miała tylko zabiegi EMS, a trzecia miała i ćwiczenia i zabiegi EMS. Eksperyment trwał 4 tygodnie, zabiegi były 3 razy w tygodniu. Wykonano 3 pomiary na BIODEX (przed, w trakcie i po eksperymencie). Porównanie wyników pomiędzy grupami przy użyciu testu Fisher LSD wykazało, że w grupie poddanej tylko stymulacji EMS doszło do znaczących przyrostów szczytowych momentów sił (PT) [Nm] głowy przyśrodkowej mięśnia czworogłowego uda pomiędzy testem początkowym, a końcowym ( $p=0,012$ ). Żadna inna grupa nie wykazała takich zmian. Takie wyniki mogą być efektem braku odpoczynku po eksperymencie. Dlatego w badaniach własnych zrobiono 3-dniową przerwę przed wykonaniem końcowego pomiaru na BIODEX pro 3, aby każdy uczestnik miał czas na odpoczynek i regenerację po eksperymencie. Mimo tak krótkich zabiegów EMS w badaniach Canninga i Greniera (5 minut każdy) doszło do istotnych statystycznie zmian. W badaniach własnych każdy zabieg trwał 25 minut, a więc 5 razy dłużej niż w eksperymencie Canninga i Greniera. A obszar poddany elektrostymulacji był większy, bo obejmował i głowę przyśrodkową, i obszerną prostą mięśnia czworogłowego uda. Trzeba podkreślić, że w badaniach Canninga i Greniera zaobserwowano, że w grupie, która miała jednocześnie elektrostymulację i ćwiczenia, nie zaobserwowano istotnych zmian, a grupa, która poddana była tylko elektrostymulacji, wykazała zmiany istotne statystycznie. Fakt ten nie jest logiczny, bo jeśli sama elektrostymulacja wpłynęła istotnie na badane parametry to w grupie, gdzie oprócz elektrostymulacji uczestnicy wykonywali ćwiczenia, zmiany powinny być jeszcze większe lub przynajmniej na podobnym poziomie, bo zastosowane ćwiczenia to przecież dodatkowy bodziec dla stymulowanego mięśnia. Jednak takiego efektu nie było, a przyczyny braku istotnych zmian mogły być różne: zbyt mała częstotliwość sesji w tygodniu, zbyt duża intensywność zastosowanych ćwiczeń, gdzie zbyt intensywny bodziec mógł spowodować zmęczenie i zahamowanie efektów lub za mała liczba uczestników w poszczególnych grupach (w każdej tylko po 5 osób) (Canning i Grenier, 2014). W badaniach własnych, oprócz analizy szczytowego momentu siły (PT) [Nm], gdzie zarówno w pracy statycznej, jak i dynamicznej zaobserwowano zmiany

istotne statystycznie, analizowano także inne parametry siłowo-prędkościowe przy trzech prędkościach (60°/s. 180°/s. 300°/s), w których wykazano zmiany istotne statystycznie w grupie badanej. Niższe prędkości w pracy dynamicznej odpowiadają parametrom siłowym, natomiast wyższe parametrom wytrzymałościowym. Im wyższe prędkości, tym większe ryzyko błędu pomiarowego. Sama analiza szczytowego momentu siły (PT) [Nm] nie jest wystarczająca, dlatego w badaniach własnych wzięto pod uwagę także procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%], pracę całkowitą (TW) [J] oraz średnią moc (AP) [W]. Podsumowując w badaniach własnych zabiegi były wykonywane częściej (3 - 4 razy w tygodniu), sesje trwały dłużej (25 minut każda) oraz grupy były liczniejsze (22 osoby w grupie kontrolnej, 26 osób w grupie badanej), a pomiar P2 wykonano 3 dni po zakończonym eksperymencie. Wszystkie te czynniki pozytywnie wpłynęły na wyniki badania, które w analizowanych parametrach były istotne statystycznie.

Paillard i in. w 2008 roku wykonali badania na grupie 15 osób zdrowych, nieuprawiających sportu. Eksperyment trwał przez 3 tygodnie, czas każdej sesji elektrostymulacji wynosił 10 minut, a sesje odbywały się 2 razy w tygodniu. W badaniach własnych eksperyment trwał tyle samo, ale zabiegi były wykonywane częściej w tygodniu (3-4 razy), czas stymulacji prądami RSQ1 był dłuższy (25 minut), a grupy eksperymentalne liczniejsze (26 osób-grupa badana, 22 osoby-grupa kontrolna). Paillard i wsp. w swoich badaniach wykazali, że elektrostymulacja (EMS), a dobrowolny skurcz mięśni powodują różne sposoby aktywacji mięśni i inne efekty na układ nerwowo-mięśniowy. Po uzyskanych wynikach stwierdzono, że elektrostymulacja (EMS) nie poprawia koordynacji między mięśniami agonistycznymi i antagonistycznymi, a zatem nie ułatwia uczenia się koordynacji złożonych ruchów. Dlatego stwierdzono, że elektrostymulację (EMS) powinno łączyć się z konkretnym treningiem sportowym, aby „nadać kierunek” stymulowanej grupie mięśniowej. W efekcie połączenia elektrostymulacji z ćwiczeniami dochodzi do poprawy procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%]. Paillard i wsp. zaobserwowali, że elektrostymulacja (EMS) połączona z ćwiczeniami optymalizuje właściwości mięśni i ich moment siły. Dlatego w badaniach własnych każdy uczestnik w grupie badanej podczas elektrostymulacji wykonywał ćwiczenia. Tak jak w badaniach

Paillarda i wsp. w badaniach własnych, wartości procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] istotnie się poprawiły. W badaniach własnych dodatkowo wykazano, że do tych istotnych zmian doszło zarówno w warunkach pracy statycznej, jak i dynamicznej pomiędzy pomiarem P1 (przed eksperymentem) a P2 (3 dni po zakończonym eksperymencie). Poprawę oceny procentowego bilansu momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] w pomiarze P2 w badaniach własnych także potwierdziły wyniki Paillarda i wsp. (Paillard i wsp., 2008a).

Jeśli chodzi o różne typy elektrostymulacji (EMS), dalsze badania Paillarda i wsp. wykazały, że prądy o wielkiej częstotliwości (>10 000 Hz) inaczej oddziałują na tkankę mięśniową niż prądy o średniej (500 - 10 000 Hz) czy małej (0,5 - 500 Hz) częstotliwości. Elektrostymulacja (EMS) o średniej częstotliwości daje efekt lepszego napięcia mięśniowego poprzez poprawę jego struktury oraz stymuluje mięśnie do pracy. Natomiast elektrostymulacja (EMS) o wielkiej częstotliwości powoduje przyspieszenie mikrokrażenia, polepszenie ukrwienia i działa przeciwzapalnie i przeciwbólowo. W badaniach Paillarda i wsp. wzięło udział 27 zdrowych mężczyzn, przydzielonych losowo do trzech grup. W badaniach własnych było 48 uczestników podzielonych na 2 grupy. Grupę badaną stanowiło 26 osób poddanych elektrostymulacji RSQ1, czyli jednoczesnym działaniu dwóch nakładających się na siebie prądów. W badaniach Paillarda i wsp. z pośród 3 grup, dwie grupy przeszły 3 sesje treningowe w tygodniu przez okres 5 tygodni, zabiegi wykonywane były na mięśnie czworogłowe ud. Grupa F miała stymulację prądem średniej częstotliwości przez 15 minut w celu poprawy siły mięśniowej. Grupa E miała stymulację prądem wielkiej częstotliwości przez 60 minut w celu poprawy wytrzymałości mięśni. Grupy kontrolne (C) w badaniach Paillarda i wsp. oraz w badaniach własnych (22 osoby) nie miały elektrostymulacji. Paillard i wsp. analizował wpływ różnych typów elektrostymulacji (EMS) na wydajność skoku pionowego. Wykonano 3 pomiary: przed eksperymentem, tydzień po i pięć tygodni po zakończonym badaniu. Wyniki pokazały, że w grupie E i F wysokość skoku wzrosła między pomiarem P1 (przed eksperymentem) a P2 (tydzień po eksperymencie). Natomiast pomiar P3 (pięć tygodni po badaniu) wykazał, że efekty się utrzymywały. W badaniach własnych elektrostymulacja RSQ1 to jednoczesne zastosowanie dwóch działających prądów: pierwszy o średniej

częstotliwości (500 Hz), który stymuluje mięśnie do pracy, czyli wpływa na parametry siłowo-prędkościowe oraz drugi prąd o wielkiej częstotliwości (10 000 Hz), który zmniejsza zmęczenie mięśni po elektrostymulacji oraz powoduje ich szybszą regenerację. Mimo, że w badaniach Paillarda i wsp. w 2008b roku, każda ze stymulowanych grup (E i F) miała tylko jeden rodzaj prądu, uzyskane efekty można porównać z wynikami badań własnych. Uczestnicy badań własnych uzyskali efekty w wyniku działania jednocześnie dwóch prądów. Istotne zwiększenie obwodów uda w grupie badanej, w dwóch punktach antropometrycznych (C1, C2) oraz istotne zmiany w parametrach siłowych w pomiarze P2 są potwierdzeniem wyników badań Paillarda i wsp. (Paillard i wsp., 2008b).

10 lat później Paillard i wsp. w 2018 roku wykazali w swoich badaniach, że jednoczesne zastosowanie ćwiczeń aerobowych o wysokiej intensywności z elektrostymulacją może rekrutować zbyt dużą ilość jednostek motorycznych, co będzie negatywnie wpływać na efekty terapii. Zastosowanie zbyt dużego bodźca w postaci intensywnych ćwiczeń lub zbyt długiego zabiegu elektrostymulacji ma odwrotny efekt. Ważne jest, aby ćwiczenia dobrać do możliwości grupy uczestników, aby dla stymulowanych mięśni obciążenie nie było zbyt duże. Dlatego w badaniach własnych zastosowano ćwiczenia o średniej intensywności, inaczej niż Paillard i wsp., aby nie uzyskać negatywnego efektu badań, jakim u innych badaczy było zbyt duże zmęczenie. Ćwiczenia zostały dostosowane do uczestników badania, czyli osób nieuprawiających systematycznie sportu, ale prowadzących aktywny tryb życia. Analizując badania Paillarda i wsp. można wnioskować, że terapia RSQ1 nie tylko wpływa na moment siły stymulowanych mięśni, ale także na ich wytrzymałość (Paillard i wsp., 2008; Paillard i wsp., 2018). Analizując wyniki Paillarda i wsp. można oczekiwać w badaniach własnych polepszenia wartości parametrów siłowo-prędkościowych, ponieważ elektrostymulator RSQ1 generuje dwa prądy (500 Hz oraz 10 000 Hz). Badania własne wykazały wzrost obwodów ud oraz zwiększenie szczytowego momentu siły (PT) [Nm], pracy całkowitej (TW) [J] oraz średniej pracy (AP) [W] dzięki działaniu prądu o średniej częstotliwości (500 Hz). Drugi prąd o wysokiej częstotliwości (10 000 Hz), który oddziałuje na tkanki jak diatermia, powodując ich lepsze ukrwienie, odżywienie i w wyniku tego rozluźnienie oraz działanie przeciwzapalne. Analizując badania Paillarda i in. można wnioskować, że elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na budowę masy, objętości mięśni oraz

zwiększenie parametrów siłowo-prędkościowych. W badaniach własnych, w grupie badanej, zaobserwowano zmiany istotne statystycznie zarówno w obwodach (C1, C2), jak i w wartościach szczytowego momentu siły (PT) [Nm] w warunkach pracy statycznej oraz wartościach szczytowego momentu siły (PT) [Nm], pracy całkowitej (TW) [J] i średniej mocy (AP) [W] w warunkach pracy dynamicznej w trzech prędkościach (60°/s, 180°/s, 300°/s). Zaobserwowano, że sesje RSQ1 pozytywnie wpłynęły na procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%]. W warunkach pracy statycznej poprawę procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang [%] zaobserwowano w obu grupach eksperymentalnych. Jednak obliczając różnice wartości pomiędzy pomiarem P1 (przed eksperymentem) a P2 (3 dni po eksperymencie) wykazano, że wyraźniejsza poprawa była w grupie badanej. Natomiast w warunkach pracy dynamicznej procentowy stosunek momentów siły Ag/Ang [%] w pomiarze P2 według kryteriów oceniany był na bardzo dobry w obu grupach eksperymentalnych przy wszystkich trzech prędkościach (60°/s, 180°/s, 300°/s). Warto zaznaczyć, że w grupie kontrolnej już same ćwiczenia pozytywnie wpłynęły na poprawę procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang [%], ale ta poprawa była bardziej widoczna w grupie badanej po sesjach RSQ1.

Kammler i wsp. w 2016 roku porównali efekt 16-tygodniowego programu elektrostymulacji Whole Body Electromyostimulation (WB-EMS) z treningiem HIT-Resistance na skład ciała i siłę zdrowych mężczyzn. Badacze zaobserwowali porównywalny lub przynajmniej podobny wpływ 16-tygodniowych programów treningowych na szczytowy moment siły (PT) [Nm] mięśni prostowników (e) kończyn dolnych i mięśni prostowników tułowia. Jednak autorzy podkreślają, że istnieje znacząca różnica między grupami w całkowitym czasie trwania zabiegów (WB-EMS  $403 \pm 37$  min w porównaniu z HIT  $847 \pm 87$  min) z czego wynika, że trening WB-EMS skutkowałam porównywalną poprawą badanych parametrów przy ponad dwukrotnie krótszym czasie treningu. W badaniach własnych zastosowano program elektrostymulacji metodą RSQ1 przez 3 tygodnie, a każdy zabieg trwał 25 minut. Łączny czas wszystkich dziesięciu sesji RSQ1 u każdego uczestnika wynosił 250 minut, czyli dużo dłużej niż w eksperymencie Kammlera. Według badań Kammlera i wsp. w 2016 roku wystarczyło już 37 minut elektrostymulacji, aby uzyskać zwiększenie badanych parametrów. Podobne wyniki

uzyskała grupa kontrolna, która wykonywała tylko trening HIT, ale ponad dwa razy dłużej (87 minut). Jednak Kammler w swoich badaniach wykorzystywał globalną elektrostymulację (WB-EMS), więc dłuższa stymulacja mogłaby powodować zmęczenie u uczestników, a w wyniku tego zahamowanie lub brak postępów (Kammler i wsp., 2016). W badaniach własnych zastosowano miejscową elektrostymulację RSQ1 na mięsień czworogłowy uda, dlatego sesje mogły być dłuższe, ponieważ nie są tak obciążające dla organizmu, jak globalna elektrostymulacja (WB-EMS). Jednak warto podkreślić, że w badaniach własnych duże znaczenie miała specyfika zastosowanej elektrostymulacji RSQ1. Dwa jednocześnie działające prądy, pierwszy o średniej częstotliwości, a drugi o wielkiej częstotliwości, dzięki którym - mimo dłuższego trwania pojedynczej sesji (25 minut) - nie dochodziło do nadmiernego zmęczenia mięśni. Zastosowane ćwiczenia miały odpowiednio dostosowaną do uczestników intensywność, co doprowadziło do uzyskanych rezultatów. Metoda RSQ1 może być więc dobrą alternatywą dla szerokiej grupy osób po zabiegach operacyjnych, pacjentów neurologicznych, reumatycznych czy z otyłością. Takie osoby często nie mogą wykonywać intensywnych ćwiczeń z powodu obrzęków pooperacyjnych, ograniczonego zakresu ruchomości czy dużej bolesności. Terapia RSQ1 pozwala na utrzymanie prawidłowej siły i masy mięśniowej lub jej odbudowę bez przeciążenia stawów, a jednocześnie nie powoduje takiego zmęczenia organizmu, bo stymuluje do pracy tylko wybrane grupy mięśniowe.

Pano-Rodriguez i wsp. w 2019 roku wykonali systematyczny przegląd literatury na temat wpływu i zastosowania elektrostymulacji globalnej (WB-EMS - whole body electrostimulation) jako formy treningowej u osób zdrowych, prowadzących siedzący tryb życia. Celem tej analizy było określenie efektów wywołanych przez zabiegi WB-EMS. Osoby poddane zabiegom WB-EMS stymulowane miały jednocześnie mięśnie kończyn górnych i dolnych. Przeszukano PubMed, Web of Science i Scopus, aby zidentyfikować wszystkie badania. Ostatnie wyszukiwanie przeprowadzono 9 września 2018 roku. Uwzględniono opracowania w języku angielskim i niemieckim. Ostatecznie poddano analizie 21 artykułów, w których badano obwody, parametry siłowe oraz parametry krwi. Większość badań realizowana była na małej grupie uczestników. Zachodzące zmiany mierzonych obwodów i parametrów siłowych nie były istotne statystycznie. Przyczyną braku istotnych zmian mogła być jednoczesna stymulacja EMS zbyt dużej ilości grup

mięśniowych albo wykonanie pomiaru P2 bezpośrednio po zakończonym eksperymencie lub zbyt małej częstotliwości zabiegów w tygodniu czy zbyt krótkich sesji elektrostymulacji. Wyniki przeglądu sugerują, że potrzeba więcej badań, które obejmują populację osób bez urazów, aby móc ustalić skutki wywołane przez różne parametry stosowane w zabiegach WB-EMS. W badaniach własnych zastosowano miejscową elektrostymulację (EMS), której zastosowanie potwierdziło wielu autorów innych badań. Jednak większość badań dotyczy osób po urazach. Dlatego zdecydowano się w eksperymencie własnym zastosować metodę RSQ1 na osobach zdrowych, bez przebytych wcześniej urazów w obrębie kończyn dolnych. W badaniach własnych, grupy eksperymentalne także stanowiły osoby zdrowe nie uprawiających zawodowo sportów ale prowadzące aktywny tryb życia aby wykazać wpływ elektrostymulacji RSQ1 na stymulowane partie mięśni kończyn dolnych. Analizie poddano obwody uda w dwóch punktach antropometrycznych (C1, C2) i parametry siłowo-prędkościowe w warunkach pracy statycznej i dynamicznej. Wartości analizowanych parametrów istotnie się zwiększyły w grupie badanej. W grupie kontrolnej, gdzie uczestnicy wykonywali tylko program ćwiczeń bez elektrostymulacji metodą RSQ1, także doszło do zwiększenia analizowanych parametrów. Jednak różnice ( $\Delta$ ) wartości analizowanych parametrów w grupie badanej były zawsze większe.

Maffiuletti i wsp. w 2009 roku zaprezentowali wyniki swoich badań przeprowadzonych na 12 dobrze wyszkolonych włoskich tenisistach poddanych 3-tygodniowemu programowi elektrostymulacji mięśni czworogłowych uda, składającego się z 9 sesji po 16 min przed treningiem tenisowym. W badaniach własnych osoby objęte eksperymentem nie uprawiały zawodowo sportu, ale zabiegi elektrostymulacji były znacznie dłuższe, bo każdy trwał 25 minut, sesji było 10 w ciągu 3 tygodni. Maffiuletti i wsp. zaobserwowali największe zmiany w wartościach maximal voluntary contraction (MVC) 3 tygodnie po zakończonym eksperymencie i w counter movement jump (CMJ) 2 tygodnie po zakończonym badaniu. W badaniach własnych także drugi pomiar wykonano dopiero 3 dni po zakończonym eksperymencie. Maffiuletti i wsp. w swoich badaniach pomiar P2 wykonali po 2-3 tygodniach po zakończonym eksperymencie. Mimo, że sesje EMS trwały tylko po 16 minut, to trzeba zaznaczyć, że intensywność treningów była dużo większa, a uczestnikami były osoby wysportowane. W badaniach własnych intensywność

ćwiczeń była średnia, ale za to zabiegi trwały 9 minut dłużej każdy (Maffiuletti i wsp., 2009). To kolejny dowód na to, że ważne jest odpowiednie dostosowanie elektrostymulacji i intensywności ćwiczeń do sprawności osób biorących udział w eksperymencie. Gdyby zastosowano program Maffiuletiego i wsp. u uczestników niewysportowanych, jak w badaniu własnym, mogło by dojść do zbyt dużego zmęczenia mięśni, a w wyniku tego braku efektów.

Babault i wsp. w 2007 roku wykonali badania na temat wpływu 12-tygodniowego programu treningowego elektrostymulacji, połączonej z ćwiczeniami na szczytowy moment siły (PT) [Nm] oraz średnią moc (AP) [W] mięśni prostowników (e) stawu kolanowego oraz mięśni pośladkowych. W badaniu uczestniczyło 25 rugbyistów, 15 w grupie badanej i 10 w grupie kontrolnej. W badaniach własnych grupy eksperymentalne (48 osób) stanowiły osoby prowadzące aktywny tryb życia, ale nieuprawiające zawodowo sportu. Babault i wsp. przez pierwsze 6 tygodni stosowali u uczestników zabiegi 3 razy w tygodniu, a przez kolejne 6 tygodni tylko raz w tygodniu. Wykonano 3 pomiary: przed rozpoczęciem eksperymentu, po pierwszych 6 tygodniach i na koniec eksperymentu. Po pierwszych 6 tygodniach doszło do znacznej poprawy szczytowego momentu siły (PT) [Nm] badanych mięśni ( $p < 0,01$ ). Po 12 tygodniach także doszło do poprawy badanych parametrów, ale zmiany były nieistotne statystycznie. Na wyniki mogła wpłynąć zbyt duża ilość zabiegów elektrostymulacji, zbyt długi czas trwania eksperymentu albo mało liczne grupy uczestników. W grupie kontrolnej nie zaobserwowano istotnych zmian. W badaniach własnych eksperyment trwał 3 tygodnie, bo taki czas jest określony przez inne badania jako najbardziej optymalny. Jednak w eksperymencie własnym częstotliwość wykonywanych zabiegów była większa niż w badaniach Babaulta i wsp. Z badań Babault i in. wynika, że zabieg jeden raz w tygodniu to za mało, żeby doszło do zmian istotnie statystycznych w analizowanych parametrach siłowo-prędkościowych (Babault i wsp., 2007). Dlatego w badaniach własnych zabiegi odbywały się 4 razy w pierwszym tygodniu i po 3 razy w drugim i trzecim tygodniu. W badaniach Babault i wsp. pomiary końcowe wykonano 2 tygodnie po zakończonym eksperymencie, aby uniknąć błędów wynikających ze zmęczenia uczestników. W badaniach własnych także pomiar P2 wykonano 3 dni po zakończeniu eksperymentu, aby każdy uczestnik miał czas się zregenerować.



Writz i wsp. w 2015 roku wykonali eksperyment mający na celu wykazanie wpływu elektrostymulacji na szczytowy moment siły (PT) [Nm], średnią moc (AP) [W], sprint i skok. W badaniu wzięło udział 18 osób (9 w grupie badanej oraz 9 w grupie kontrolnej). Autorzy potwierdzają istotny statystycznie wzrost szczytowego momentu siły (PT) [Nm], wydajność squat jump, counter movement jump i sprintu wahadłowego zarówno w grupie badanej poddanej treningowi i elektrostymulacji (przez 4 tygodnie, 3 razy w tygodniu, każdy zabieg EMS trwał 10 minut), jak i grupie kontrolnej poddanej jedynie treningowi, jednak bez istotnych statystycznie różnic między grupami. Może to wynikać ze zbyt krótkich sesji elektrostymulacji (EMS), albo braku przerwy między zakończonym eksperymentem a wykonaniem pomiaru końcowego, a w wyniku tego zmęczenia uczestników i braku efektów istotnych statystycznie (Writz i wsp., 2015). W badaniach własnych każdy zabieg trwał dłużej (25 minut), a grupy eksperymentalne były liczniejsze (22 osoby w grupie kontrolnej i 26 osób w grupie badanej). Zaobserwowano istotne zmiany w analizowanych parametrach zarówno w grupie badanej, jak i kontrolnej. Jednak w grupie badanej różnice ( $\Delta$ ) analizowanych parametrów były większe. Autorzy ocenę przeprowadzili dwukrotnie: przed procesem treningowym i bezpośrednio po ostatniej sesji, co może być powodem braku różnic pomiędzy grupą badaną i kontrolną, bo uczestnicy nie mieli odpoczynku po eksperymencie. W badaniach własnych także wykonano dwa pomiary. Pierwszy pomiar wykonano przed rozpoczęciem eksperymentu (P1). Natomiast drugi 3 dni po zakończeniu eksperymentu (P2), aby mięśnie zarówno w grupie kontrolnej, jak i badanej miały czas na regenerację.

W 2005 roku Bax i wsp. zrobili metaanalizę badań, aby odpowiedzieć na pytanie czy nerwowo-mięśniowa elektrostymulacja (NMES) zwiększa maksymalny moment siły mięśnia czworogłowego uda, który jest najczęściej stymulowaną grupą mięśniową przy użyciu miejscowej elektrostymulacji (EMS). Analizie poddano 35 badań, uwzględniających trzy grupy uczestników: osoby bez wcześniejszych urazów kończyn dolnych, osoby po urazach, a także osoby po zabiegach operacyjnych. W grupie, w której uczestnicy byli bez wcześniejszych kontuzji stawu kolanowego zastosowano sesje elektrostymulacji z ćwiczeniami i porównano z grupą kontrolną, wykonującą same ćwiczenia bez elektrostymulacji. Z przeglądu literatury wynika, że zarówno u osób po urazach czy operacjach, jak i osób bez urazów, NMES ma istotny wpływ na badane

parametry i jest dobrą alternatywą, aby odbudować siłę mięśniową czy zapobiegać jej utracie (u osób po kontuzji) oraz zwiększyć siłę mięśniową nieuszkodzonego stawu (u osób bez kontuzji) (Bax i wsp., 2015). Dlatego w badaniach własnych osoby zdrowe stanowiły grupy eksperymentalne. Elektrostymulacja znajduje także zastosowanie w przypadku, kiedy z jakiegoś powodu osoba nie może wykonywać intensywnych ćwiczeń, np. otyłość czy choroby układu krążeniowego. Jednak dostępne badania mają pewne ograniczenia, tj. wykorzystanie różnych parametrów prądu, brak dokładnego opisu eksperymentu czy nieujednoliconą ilość zabiegów w tygodniu. Przed rozpoczęciem badań własnych wykonano przegląd literatury w celu ujednoczenia i wybrania najbardziej odpowiedniego czasu trwania każdej sesji, częstotliwości terapii w ciągu tygodnia, ilości sesji podczas całego eksperymentu czy intensywności ćwiczeń wykonywanych przez uczestników. Dlatego należy je interpretować z ostrożnością. Jednak na podstawie metaanalizy Baxa i wsp. można stwierdzić, że w przypadku osób zdrowych oraz po urazie zabiegi elektrostymulacji (EMS) są dobrą formą treningu i jego uzupełnieniem. W badaniach własnych wykonano eksperyment na osobach bez urazu, ale nieuprawiających regularnie sportu, aby potwierdzić skuteczność i pozytywny wpływ na parametry siłowo-prędkościowe mięśnia czworogłowego uda. Analizie poddano nie tylko szczytowy moment siły (PT) [Nm], jak w większości badań, ale także inne parametry siłowo-prędkościowe. Eksperyment własny został szczegółowo opisany, aby inni badacze mogli go powtórzyć lub wyniki wzbogacić o kolejne obiektywne metody pomiarowe. Sesje były wykonywane 3-4 razy w tygodniu przez okres 3 tygodni, a każda sesja trwała 25 minut, ponieważ w wielu badaniach innych autorów uznano to za najbardziej optymalną częstotliwość, przy której mięśnie pracują, ale nie ulegają zbyt dużemu zmęczeniu.

Bardzo istotną kwestią jest bezpieczeństwo i brak negatywnych efektów obserwowanych podczas terapii WB-EMS (Kammler i wsp., 2016; Kammler i wsp., 2018) w połączeniu z potwierdzonym wpływem stymulacji na zwiększenie masy mięśniowej u niewytrenowanych osób niezależnie od ich wieku, płci i stanu mięśni (Dziuba-Słonina i wsp., 2018), zwiększenie szczytowego momentu siły (PT) [Nm], pracy całkowitej (TW) [J], średniej mocy (AP) [J] (Writz i wsp., 2015), poprawę efektywności skoku i sprintu (Conning i wsp., 2014), poprawę równowagi dynamicznej i statycznej (Maffiuletti i wsp., 2009). Można sugerować, że elektrostymulacja powinna być stosowana jako jeden

z częściej wykorzystywanych elementów procesu terapeutycznego w różnych dysfunkcjach, ale także u osób zdrowych jako formy treningowej czy poprawiającej sprawność fizyczną. W badaniach własnych analizowano procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] w warunkach pracy statycznej i dynamicznej przy trzech prędkościach ( $60^{\circ}/s$ ,  $180^{\circ}/s$ ,  $300^{\circ}/s$ ). We wszystkich przypadkach procentowy stosunek momentów siły Ag/Ang [%] poprawił się. Wynika z tego, że elektrostymulacja RSQ1 i ćwiczenia mają pozytywny wpływ i mimo, że osoby zdrowe brały udział w eksperymencie to okazało się, że w pomiarze P1 procentowy stosunek momentów siły Ag/Ang [%] był oceniany jako zły lub dobry (duża przewaga mięśni prostowników), a eksperyment polepszył go do oceny bardzo dobrej. Równowaga między agonistami, a antagonistami zmniejsza ryzyko kontuzji.

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu można stwierdzić, że metoda RSQ1, czyli połączenie elektrostymulacji mięśniowej z ćwiczeniami, jest dobrą alternatywą dla osób, które z różnych przyczyn nie mogą wykonywać intensywnych ćwiczeń z obciążeniem, a chcą utrzymać lub poprawić swoją sprawność fizyczną. Terapia RSQ1 może być dobrym rozwiązaniem dla osób uprawiających sport amatorsko lub zawodowo, kiedy chcą urozmaicić standardowy trening o dodatkowy bodziec lub zredukować zmęczenie poprzez pobudzenie procesów regeneracji w wyniku zabiegów elektrostymulacji, a także zapobiegać czy zmniejszyć ryzyko urazów. Warto podkreślić, że RSQ1 znajduje zastosowanie także u pacjentów ortopedycznych czy neurologicznych, u których w wyniku wystąpienia choroby dochodzi do zaniku siły i masy mięśniowej i nie jest możliwe wykonywanie ćwiczeń z obciążeniem oraz dużej liczby ich powtórzeń, ale także pełni rolę prewencji i zmniejszenia ryzyka wystąpienia urazu.

Różnorodność parametrów stosowanych w elektrostymulacji, tj. częstotliwość, natężenie, długość przerwy między impulsami, kształt zastosowanego prądu czy ilość zabiegów i częstotliwość ich wykonywania w tygodniu sprawia, że trudne jest określenie przez badaczy właściwości prądu w elektrostymulacji, które powodują największy przyrost siły i masy mięśniowej (Mc Donough, 2008). Dlatego w badaniach własnych opisano szczegółowo eksperyment i sesje RSQ1, aby usystematyzować i ujednolicić zabiegi.

## VII WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. W grupie badanej, 10 sesji metodą RSQ1 wykazało istotne statystycznie zwiększenie obwodów ud zarówno w punkcie antropometrycznym C1 (najbardziej obszerna część głowy przysródkowej mięśnia czworogłowego uda, po stronie przysródkowej), jak i w punkcie C2 (najbardziej obszerna część głowy bocznej i prostej mięśnia czworogłowego uda, po stronie bocznej). W grupie kontrolnej, która wykonywała ćwiczenia bez elektrostymulacji metodą RSQ1 nie doszło do zmian istotnie statystycznych.

W warunkach pracy statycznej:

2. Wystarczyło 10 treningów metodą RSQ1, aby doszło do istotnego statystycznie zwiększenia wartości szczytowego momentu siły mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego w grupie badanej. W grupie kontrolnej wartości szczytowego momentu siły mięśni prostowników stawu kolanowego nie zmieniły się istotnie statystycznie. Natomiast wartości szczytowego momentu siły mięśni zginaczy stawu kolanowego wykazały zmiany istotne statystycznie, tak jak w przypadku grupy kontrolnej.
3. W obu grupach eksperymentalnych doszło do istotnie statystycznej poprawy procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów między pomiarem P1 (przed eksperymentem), a pomiarem P2 (3 dni po zakończonym eksperymencie). Zarówno ćwiczenia połączone z elektrostymulacją RSQ1 (grupa badana), jak i same ćwiczenia (grupa kontrolna) miały pozytywny wpływ na procentowy bilans momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów.

W warunkach pracy dynamicznej:

4. W grupie badanej, poddanej 10 sesjom metodą RSQ1 doszło do istotnie statystycznego wzrostu wartości szczytowego momentu siły zarówno dla mięśni prostowników, jak i mięśni zginaczy stawu kolanowego przy prędkości 60°/s, 180°/s oraz 300°/s. W grupie kontrolnej przy prędkości 60°/s i 180°/s zaobserwowano zmiany istotne statystycznie dla mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego. Ważne, aby podkreślić, że zmiany między pomiarem P1 a P2 w grupie kontrolnej były

- większe. Natomiast przy prędkości 300°/s, w grupie kontrolnej, nie wykazano zmian istotnych statystycznie dla mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego.
5. Po zastosowanej elektrostymulacji metodą RSQ1 z ćwiczeniami, w grupie badanej, zaobserwowano istotnie statystyczną poprawę procentowego stosunku momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów przy analizowanych prędkościach: 60°/s, 180°/s oraz 300°/s. Natomiast w grupie kontrolnej do zmian istotnie statystycznych doszło tylko przy prędkości 60°/s (ale te zmiany były mniejsze niż w grupie badanej). Przy prędkościach 180°/s i 300°/s nie zaobserwowano zmian istotnie statystycznych.
  6. Grupa badana (RSQ1) wykazała istotny statystycznie wpływ na zwiększenie wartości pracy całkowitej dla mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego przy trzech analizowanych prędkościach (60°/s, 180°/s oraz 300°/s). W grupie kontrolnej do zmian istotnych wartości pracy całkowitej dla mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego doszło tylko przy prędkości 60°/s. Natomiast przy prędkości 180°/s oraz 300°/s analizowane wartości nie wykazały istotności statystycznej.
  7. Analizowane wartości średniej mocy dla mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego, dla grupy badanej, wykazały zmiany istotne statystycznie przy trzech prędkościach 60°/s, 180°/s oraz 300°/s. W grupie kontrolnej przy prędkości 60°/s zmiany wartości średniej mocy nie były istotne statystycznie. Przy prędkościach 180°/s oraz 300°/s zaobserwowano istotne zwiększenie wartości średniej mocy dla mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego.
  8. U osób, które były poddane elektrostymulacji RSQ1 z ćwiczeniami (grupa badana), zaobserwowano istotne statystycznie zmiany we wszystkich analizowanych parametrach: obwody uda oraz parametry siłowo-prędkościowe w warunkach pracy statycznej oraz dynamicznej przy trzech prędkościach: 60°/s, 180°/s oraz 300°/s. W grupie kontrolnej nie we wszystkich analizowanych parametrach doszło do zmian istotnych statystycznie. Jeśli w grupie kontrolnej, w którymś z analizowanych parametrów wykazano zmiany istotne statystycznie to i tak były one istotnie mniejsze niż w grupie badanej (RSQ1).

## VIII PIŚMIENICTWO

1. Adams D, Logerstedt DS, Hunter-Giordano A, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Current concepts for anterior cruciate, ligament reconstruction: a criterion-based rehabilitation progression. *Journal of Orthopaedics and Sports Physical Therapy* 2012, 42(7): 601-614.
2. Arakawa T, Katada A, Shigyo H. Electrical stimulation prevents apoptosis in denervated skeletal muscle. *NeuroRehabilitation* 2010, 27(2): 147-154.
3. Avila, MA, Brasileiro, JS, and Salvini, TF. Electrical stimulation and isokinetic training: effects on strength and neuromuscular properties of healthy young adults. *Rev Bras Fisioter* 2008, 12(6): 435-440.
4. Babault N, Cometti N, Maffiuletti A, O Deley G. Does electrical stimulation enhance post-exercise performance recovery? *Eur J Appl Physiol* 2011, 111: 25-29.
5. Babault N, Cometti N, Bernardin M, Pousson M, Chatard J. Effect of Electrostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *The Journal Strength Cond Res* 2007, 21(2): 431–437.
6. Bax L, Staes F, Verhagen A. Does Neuromuscular Electrical Stimulation Strengthen the Quadriceps Femoris? A Systematic Review of Randomised Controlled Trials. *Sports Med* 2005, 35(3): 191-212.
7. Benito E, Amador J, Lara A, Bardejo-Del-Fresno D, Emilio J. Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump, *Revista Internacional de Ciencias del Deporte* 2010, 6(21): 322-324.
8. Bircan C, Senocak O, Peker O, Kaya A, Tamc SA, Gulbahar S, Akalin E. Efficacy of two forms of electrical stimulation in increasing quadriceps strength: A randomized controlled trial. *Clin Rehab* 2002, 16: 194.
9. Brighton CT, Wang W, Seldes R, Zhang G, Pollack S: Signal transduction in electrically stimulated bone cells. *J Bone Joint Surg* 2001, 83A:1514-1523.
10. Brocherie F, Babault N, Cometti N, Maffiuletti A. Electrostimulation Training Effects on the Physical Performance of Ice Hockey Players. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2004 (37): 455-460.

11. Canning A, Grenier S, Does Neuromuscular Electrical Stimulation Improve Muscular Strength Gains of the Vastus Medialis Muscle. *Int J Phys Med Rehab* 2014, 2: 4.
12. Chen YJ, Wurtz CJ, Wang CJ, Kuo YR, Yang KD, Huang HC, Wang FS: Recruitment of mesenchymal stem cells and expression of TGF – beta1 and VEGF in early stage of shock wave – promoted bone regeneration of segmental defect in rats. *J Orthop Res* 2004, 22: 526-534.
13. Clements S, Samuel D, Knee extensor strength measured using a Biodex dynamometer and an adapted hand held dynamometer. *Inter J of The and Rehab* 2014, 21 (6).
14. Cometti, C, Babault N, Deley G. Effects of Constant and Doublet Frequency Electrical Stimulation Patterns on Force Production of Knee Extensor Muscles. *PLoS One* 2016, 11(5).
15. Davies G. A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation techniques. Wydanie IV. S&S Publishers. Onalaska 1992.
16. Di Filippo, ES, Mancinelli R, Marrone M, Doria C, Verratti V, Toniolo L, Dantas JL, Fulle S, Pietrangelo T. Neuromuscular electrical stimulation improves skeletal muscle regeneration through satellite cell fusion with myofibers in healthy elderly subjects. *Journal of Applied Physiology* 2017, 123(3): 501-512.
17. Drygalski M, Bożek M, Bielecki T, Gaździk T.Sz, Clinical effects of electromagnetic and electric fields stimulation on bone and soft tissue healing processes, *Ortho & Trauma* 2006, 3(3): 35-46.
18. Filipovic A, Kleinöder H, Dormann U, Master J. Electromyostimulation—A systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2011, 25(11): 3218-3238.
19. Filipovic A, Kleinöder H, Dormann U, Master J. Electromyostimulation—A systematic review of the effects of different electromyostimulation methods on selected strength parameter in trained and elite athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2012, 26(9): 2600-2614.
20. Fitzgerald GK, Piva SR, Irrgang JJ. A modified neuromuscular electrical stimulation protocol for quadriceps strength training following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2003, 33: 492-501.

21. Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A, Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture, *Medicine and science in sports and exercise*, 2005, 17(8): 55-67.
22. Grygorowicz M, Głowacka A, Wiernicka M, Kamińska E. Kompleksowa ocena fizjoterapeutyczna podstawą profilaktyki pierwotnej urazów sportowych. *Nowiny lekarskie* 2010, 79(3): 240-244.
23. Guan Y, Wacnik PW, Yang F. Spinal cord stimulation induced analgesia: electrical stimulation of dorsal column and dorsal roots attenuates dorsal horn neuronal excitability in neuropathic rats. *Anesthesiology* 2010, 113(6): 1392-1405.
24. Hakkinen A, Pakarinen A, Hannonen P, Kautiainen H, Nyman K, Kraemer WJ, Hakkinen K. Effects of prolonged combined strength and endurance training on physical fitness, body composition, and serum hormones, in women with rheumatoid arthritis and in healthy controls. *Clin Exp Rheumatol* 2005, 23: 505-512.
25. Herrero AJ, Martin J, Martin T, Abadia O, Fernandez B, Garcia-Lopez D. Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance. A randomized controlled trial. Part I. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2010, 24(6): 1609-1615.
26. Hollmann, W, and Strüder, HK. *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart: Schattauer, 2009, 11(5).
27. Kästner A, Braun M, Meyer T. Two Cases of Rhabdomyolysis After Training With Electromyostimulation by 2 Young Male Professional Soccer Players. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2015, 25(6): e71-e73.
28. Kim JH, Trew ML, Pullan AJ, Rohrlé O. Simulating a dual-array electrode configuration to investigate the influence of skeletal muscle fatigue following functional electrical stimulation. *Computers in Biology and Medicine* 2012, 42(9): 915-924.
29. Kammler W, Stengel S, Schwarz J, Mayhew L, Effect of whole-body electromyostimulation on energy expenditure during exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2012, 26(1): 240-245.
30. Kammler W, Bebenek M, Engelke K, Stengel S. Impact of whole-body electromyostimulation on body composition in elderly women at risk for sarcopenia: the Training and ElectroStimulation Trial (TEST-III) 2014, 36(1): 395-406.



31. Kammler W, Teschler M. "Hohe Kreatinkinase-Werte nach exzessiver Ganzkörper-Elektromyostimulation: gesundheitliche Relevanz und Entwicklung im Trainingsverlauf", Wiener Medizinische Wochenschrift 2015, 165(21-22): 427-435.
32. Kammler W, Teschler M, Weißenfels A, Bebenek M, Fröhlich M, Kohl M, Stengel S, Effects of Whole-Body Electromyostimulation versus High-Intensity Resistance Exercise on Body Composition and Strength: A Randomized Controlled Study, Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2016, 8(5): 34-39.
33. Kleinöder H, Muskeltraining der Zukunft: Wissenschaftliche und praktische Anwendung von Ganz-körper-Elektromyostimulations-Training (GK-EMS) unter besonderer Berücksichtigung des Krafttrainings. Medical sports network 2007, 4(7): 52-61.
34. Korbolewska O, Plenzler M. Właściwości dynamiczne mięśni prostujących i zginających w stawie kolanowym przed i po okresie przygotowawczym u zawodników piłkarzy nożnych. Aktualne problemy biomechaniki 2012, 6: 65-74.
35. Kots Y, Chilon V. The training of muscular power by method of electrical stimulation. State Central Institute of Physical Culture, Moscow 1975: 114-138.
36. Kowza – Dzwonkowska M. Electromyostimulation as an element supporting sports training. Quality in sport 2018, 1(4) 27-34.
37. Kreuzer, S, Kleinoeder, H, and Mester, J. Effects of whole body electro stimulation training and traditional strength training on various strength and blood parameter in juvenile elite water polo players. In: Book of abstracts Lausanne, ECSS. Hoppeler, H, Reilly, T, Tsolakidis, E, Gfeller, L, and Klossner S. (eds.) Cologne: Sportverlag Strauss 2006, 11: 264-268.
38. Kyung-Min K, Croy T, Hertel J, Saliba S. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on Quadriceps Strength, Function, and Patient-Oriented Outcomes: A Systematic Review. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 2010, 7: 383-391.
39. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of Eccentric Exercise and Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Biomechanical Limb Symmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, Clin Biomech (Bristol, Avon) 2015, 30(7): 738-747.

40. Maffiuletti NA, Bramanti J, Jubeau M, Bizzini M, Deley G, Cometti G. Feasibility and Efficacy of Progressive Electrostimulation Strength Training for Competitive Tennis Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2009, 23(2): 677-682.
41. Martijn van Erp. Effect van weerstandstraining in combinatie met elektrotherapie (middels RSQ1) op functionele uitkomsten (via Victorian Institute of Sport Assessment-patella vragenlijst) bij een tendinopathie van de patellapees. *Physicare International BV* 2017,13(4): 1-13.
42. McDonough S. Neuromuscular and muscular electrical stimulation. *Electrotherapy: Evidence-based practice*. Edinburgh: Churchill Livingstone 2008, 233-247.
43. Otzel DM, Chow JW, Tillman MD. Long-term deficits in quadriceps strength and activation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport* 2015, 16 (1): 22-28.
44. Paillard T. Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Med* 2008a, 38(2): 161-177.
45. Paillard T, Noe F, Bernard P, Dupui C, Hazard A. Effect of two types of neuromuscular electrical stimulation training on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2008b, 22 (4): 1273-1278.
46. Paillard T. Training based on electrical stimulation superimposed onto voluntary contraction would be relevant only as part of submaximal contractions in healthy subjects. *Frontiers in Physiology* 2018, 9, 1428.
47. Pano-Rodriguez A, Beltran-Garrido JV, Hernandez-Gonzalez V, Reverter-Masia J. Effects of whole-body electrostimulation on health and performance: a systematic review. *BMC Com and Alt Med* 2019, 19: 87.
48. Parker MG, Bennett MJ, Hieb MA, Holler AC, Roe AA. Strength response in human quadriceps femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs. *Jour of Orth and Spor Phy Ther* 2003, 33(12): 719-726.
49. Pezdek K, Michaluk T. Fizjoterapia jako nauka integrująca działalność terapeutyczną. *Fizjoterapia* 2013, 21(2): 3 – 6.
50. Pette, DWG. Skeletal muscle plasticity—history, facts and concepts, *Skeletal Muscle Plasticity in Health and Disease* 2006, 1, 27.

51. Piva SR, Goodnite EA, Azuma K, Woollard JD, Goodpaster BH, Wasko MC, Fitzgerald GK. Neuromuscular electrical stimulation and volitional exercise for individuals with rheumatoid arthritis: a multiple patient case report. *Phys Ther* 2007, 87: 1064-1077.
52. Płaszewski M. Maksymalna siła mięśni prostowników stawu kolanowego podczas skurczów dowolnych i rosyjskiej elektrostymulacji u pacjentów po uszkodzeniu stawu kolanowego. *Med Sport* 2005, 6: 401-408.
53. Płaszewski M. Zmiana częstości skurczów serca pod wpływem ćwiczeń izometrycznych i rosyjskiej stymulacji mięśni prostowników stawu kolanowego. *Ortop Traumatol Rehabil* 2006, 4: 680-685.
54. Rosiński M. Przygotowanie pacjenta do zabiegu rekonstrukcji ACL po urazie stawu kolanowego. *Praktyczna Fizjoterapia i Rehabilitacja* 2011, 23: 8-14.
55. Rzepka R, Grygorowicz M. Obiektywna ocena w warunkach izokinetycznych w medycynie i sporcie – jej przydatność i zastosowanie. *Rehab w praktyce* 2007(4): 14-16.
56. Skinner H.: *Current diagnostic and treatment in orthopaedics*. The McGraw-Hill Companies. 2003, 2-449.
57. Skolimowski T. *Badanie czynnościowe narządu ruchu w fizjoterapii*. Wrocław 2012, Wydanie II, ss: 201-223.
58. Taradaj J, Halski T, Kucharzewski M, Walewicz K, Ozon M. The Effect of NeuroMuscular Electrical Stimulation on Quadriceps Strength and Knee Function in Professional Soccer Players: Return to Sport after ACL Reconstruction. *BioMed Research International* 2013: 9-14.
59. Taylor, T, West DJ. "The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players", *Journal of Science and Medicine in Sport* 2015, 18(3): 328-332.
60. Thomson S., May M., Banks C. Neuroaugmentative techniques (including TENS, stimulative techniques). W: Jensen TS, Wilson PR, Rice AS. (red.) *Chronic pain*. Arnold, London 2003, 285-288.

61. Veldman M, Gondin J, Place N, Maffiuletti N. Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation Training on Endurance Performance. *Frontiers in Physiotherapy* 2016, 7: 544.
62. van Buuren, F, Mellwig KP. "Electrical myostimulation: improvement of quality of life, oxygen uptake and left ventricular function in chronic heart failure", *Rehabilitation*, 2014, 53(5): 321-326.
63. Wilk M, Trąbka R, Tomaszewski W. Wstępne wyniki zastosowania Protokołu rehabilitacyjnego we wczesnym okresie u pacjentów po artroskopowej przezportalowej jedno- i dwupęczkowej rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego z użyciem ścięgna mięśnia półścięgnistego i smukłego. *Fizjoterapia Polska* 2009, 1(4): 97-103.
64. Wirtz N, Wahl P, H. Kleinöder H, Wechsler K, Achtzehn S, Mester J. Acute metabolic, hormonal, and psychological responses to strength training with superimposed EMS at the beginning and the end of a 6 week training period. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2016, 15: 325-332.
65. Wolski W. Zanik mięśni z nieczynności – zanik prosty – jak przywrócić prawidłowy stosunek anatomiczny i fizjologiczny tkanki mięśniowej. *Praktyczna Fizjoterapia i Rehabilitacja* 2011, 19: 50-55.
66. Yamamoto R, Takasuga S, Kominami K, Sutoh Ch, Kimoshita M, Kanamura K. Inotophoretic transdermal delivery of glycyrrhizin: Effects of pH, drug concentration, co-ions, current intensity, and chemical enhancers. *Chem Pharm Bull* 2013, 61:1275-81.

## STRESZCZENIE

**Tytuł rozprawy doktorskiej:** Wpływ neuroelektrostymulacji na parametry siłowo-prędkościowe mięśni prostowników stawu kolanowego u osób zdrowych w wieku 22 - 30 lat.

**Słowa kluczowe:** elektrostymulacja mięśni, EMS, elektrostymulacja nerwowo-mięśniowa, NMES, metoda RSQ1.

**Cel pracy:** Celem pracy jest ocena efektu 3-tygodniowego programu treningowego przy zastosowaniu jednocześnie nerwowo-mięśniowej elektrostymulacji (NMES) oraz ćwiczeń mięśni czworogłowych ud (metoda RSQ1) u osób zdrowych w wieku 22 - 30 lat.

### **Pytania badawcze:**

1. Czy 10 zabiegów metodą RSQ1 powodują zwiększenie obwodów ud kończyn dolnych u osób bez objawów chorobowych?
2. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na wartości szczytowych momentów sił mięśni prostowników i mięśni zginaczy stawów kolanowych w warunkach pracy statycznej u osób bez objawów chorobowych?
3. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów mięśni kończyn dolnych w warunkach pracy statycznej u osób bez objawów chorobowych?
4. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na wartości szczytowych momentów sił mięśni prostowników i mięśni zginaczy stawów kolanowych w warunkach pracy dynamicznej u osób bez objawów chorobowych?
5. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów mięśni kończyn dolnych w warunkach pracy dynamicznej u osób bez objawów chorobowych?
6. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na pracę całkowitą mięśni prostowników i mięśni zginaczy stawów kolanowych kończyn w warunkach pracy dynamicznej u osób bez objawów chorobowych?
7. Czy elektrostymulacja metodą RSQ1 wpływa na średnią moc mięśni prostowników i mięśni zginaczy stawów kolanowych u osób bez objawów chorobowych?

8. Czy u osób poddanych elektrostymulacji metodą RSQ1 obserwuje się większe zmiany w parametrach siłowo – prędkościowych niż u osób wykonujących wyłącznie ćwiczenia?

**Material badawczy:** W badaniu wzięły udział 48 osób podzielonych na dwie grupy eksperymentalne. W grupie badanej 26 osób (15 kobiet i 11 mężczyzn), a w grupie kontrolnej 22 uczestników (11 kobiet i 11 mężczyzn) dobranych losowo. Kobiety i mężczyźni w wieku od 22. do 30. roku życia. Grupa badana przez 3 tygodnie była poddana 10 sesjom metodą RSQ1. Uczestnicy grupy kontrolnej wykonywali ćwiczenia bez NMES.

**Metody badawcze:** W proponowanych badaniach wykorzystane zostały:

- A. Wywiad (kwestionariusz dla uczestnika badań).
- B. Taśma antropometryczna pomiar przed i 3 dni po eksperymencie, wykonano 3 pomiary w punkcie C1 (najbardziej obszerna część głowy przysrodkowej mięśnia czworogłowego uda) i 3 pomiary w punkcie C2 (najbardziej obszerna część głowy bocznej i prostej mięśnia czworogłowego uda) i obliczono średnią arytmetyczną.
- C. System do oceny dynamicznej mięśni Biodex System 3 Pro (pomiar przed i 3 dni po eksperymencie, analiza parametrów siłowo - prędkościowych w warunkach pracy statycznej oraz dynamicznej przy trzech prędkościach: 60°/s. 180°/s i 300°/s).

**Metody statystyczne:** Analiza statystyczna materiału eksperymentalnego została przeprowadzona przy pomocy oprogramowania STATISTICA PL wersja 13,1 z licencją dla AWF we Wrocławiu. Wykonano:

- ✓ statystykę opisową: średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe, mediana, kwartyle, minimum, maksimum oraz przedział ufności,
- ✓ test Shapiro-Wilka (weryfikacja normalności rozkładu) oraz test Levene'a (weryfikacja jednorodności wariancji),
- ✓ nieparametryczny test rang Kruskala-Wallisa oraz ANOVA Friedmana (gdy założenie o jednorodności wariancji nie było spełnione),
- ✓ czteroczynnikową analizę wariancji (w celu sprawdzenia zmian wartości poszczególnych parametrów).

*Za istotne statystycznie przyjęte zostały zależności na poziomie  $p < 0,05$ .*

**Wyniki:** W badaniu, u każdego uczestnika, wykonano dwa pomiary: P1 - przed oraz P2 - trzy dni po zakończonym eksperymencie. W grupie badanej doszło do zmian istotnie statystycznych w analizie obwodów uda w dwóch punktach antropometrycznych (C1:  $p < 0,001$ , C2:  $p < 0,001$ ). W warunkach pracy statycznej, wyniki grupy badanej, wykazały zmiany istotne statystycznie wartości szczytowego momentu siły (PT) [Nm] dla mięśni zginaczy i prostowników stawu kolanowego. W grupie kontrolnej nie doszło do istotnych zmian dla mięśni prostowników, a dla mięśni zginaczy zmiany były istotne ale nie tak duże jak w grupie badanej. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] w obu grupach eksperymentalnych istotnie się poprawił (między pomiarem przed badaniem - P1, a pomiarem po zakończonym badaniu - P2:  $\Delta_{GB} = 5,38$  % oraz  $\Delta_{GK} = 5,12$  %). W warunkach pracy dynamicznej, w grupie badanej zaobserwowano, że wszystkie analizowane parametry siłowo – prędkościowe dla mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego przy trzech prędkościach ( $60^\circ/s$ ,  $180^\circ/s$  oraz  $300^\circ/s$ ) zwiększyły się istotnie statystycznie. Wyniki grupy kontrolnej wykazały, że przy prędkości  $60^\circ/s$  dochodziło do zmian istotnie statystycznych we wszystkich analizowanych parametrach. Przy prędkości  $180^\circ/s$  oraz  $300^\circ/s$  analizowane parametry istotność statystyczną wykazały wartości średniej mocy. Natomiast w analizie innych parametrów nie wykazano istotnych zmian. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przy każdej analizowanej prędkości istotnie się poprawił zarówno w grupie badanej, jak i kontrolnej.

**Wnioski:** W grupie badanej zaobserwowano istotne statystycznie zmiany we wszystkich analizowanych parametrach: obwody uda oraz parametry siłowo-prędkościowe w warunkach pracy statycznej oraz dynamicznej przy trzech prędkościach:  $60^\circ/s$ ,  $180^\circ/s$  oraz  $300^\circ/s$ . W grupie kontrolnej nie we wszystkich analizowanych parametrach doszło do zmian istotnych statystycznie. Jeśli w grupie kontrolnej, w którymś z analizowanych parametrów wykazano zmiany istotne statystycznie to i tak były one istotnie mniejsze niż w grupie badanej.

## ABSTRACT

**Title of doctoral dissertation:** Effect of neuro-electrostimulation on strength and speed parameters of extensor muscles of the knee joint in healthy people aged 22 - 30 years.

**Key words:** muscle electrostimulation, EMS, neuromuscular electrostimulation, NMES, RSQ1 method

**Aim of the study:** The aim of the study is to evaluate the effect of a 3-week training program using both neuromuscular electrostimulation (NMES) and exercises (according to instruction) of the quadriceps muscles (RSQ1 method) in healthy people aged 22 - 30.

**Research questions:**

1. Do 10 treatments with the RSQ1 method increase the circumference of the lower limbs in patients without any symptoms?
2. Does electrostimulation with the RSQ1 method affect the peak values of the moments of strength of the extensor and flexor muscles of the knee joints under static work conditions in people without symptoms?
3. Does the RSQ1 electrostimulation influence the percentage ratio of agonist moments of strength to the antagonist moments of strength of lower limb muscle under static work conditions in asymptomatic patients?
4. Does electrostimulation with the RSQ1 method affect the peak values of the moments of strength of the extensor and flexor muscles of the knee joints under dynamic working conditions in patients without disease symptoms?
5. Does electrostimulation with RSQ1 method influence the percentage ratio of agonist moments of strength to the antagonist moments of strength of lower limbs' muscles under dynamic working conditions in patients without symptoms?
6. Does electrostimulation with the RSQ1 method affect the total work of the extensor muscles and the flexor muscles of the knee joints in dynamic work conditions in patients without disease symptoms?
7. Does RSQ1 electrostimulation affect the average power of the extensor and flexor muscles of the knee joints in asymptomatic people?



8. Are there greater changes in strength and speed parameters in people subjected to electrostimulation using the RSQ1 method than in people who perform only exercises?

**Participants:** The study involved 48 people divided into two experimental groups. There were 26 people (15 women and 11 men), 22 participants (11 women and 11 men) were randomly selected for the study group and control group respectively. All women and men were within the range of 22 to 30 years old. The study group underwent 10 sessions using the RSQ1 method for 3 weeks. The participants of the control group performed exercises without electrostimulation (EMS).

**Research methods:** In the research, the methods used were:

- A. Interview (questionnaire for research participants),
- B. Anthropometric tape; measurement before and 3 days after the experiment, 3 measurements were taken at point C1 (the most extensive part of the medial head of the quadriceps muscle of the thigh) and 3 measurements at the point C2 (the most extensive part of the lateral and straight heads of the quadriceps muscle) and the arithmetic mean was calculated,
- C. System for dynamic muscle evaluation Biodex System 3 Pro (measurement before and 3 days after the experiment, analysis of strength and speed parameters in static and dynamic work conditions at three speeds: 60°/s, 180°/s i 300°/s).

**Statistical methods:** Statistical analysis of the experimental material was carried out using the STATISTICA PL version 13.1 software with a license for the University of Physical Education in Wrocław. The analyses carried out were:

- ✓ Descriptive statistics: arithmetic mean, standard deviation, median, quartiles, minimum, maximum and confidence interval,
- ✓ Shapiro-Wilk test (verification of the normality of distribution) and Levene's test (verification of homogeneity of variance),
- ✓ Nonparametric rank test of Kruskal-Wallis and Anov Friedman (when the assumptions or conditions of homogeneity of variance was not met),
- ✓ Four-way analysis of variance (to check changes in the values of individual parameters),

*The correlations at the level of  $p < 0.05$  were considered statistically significant*

**Results:** In the study, each participant had two measurements: P1 - before and P2 - three days after the end of the experiment. In the study group, there were statistically significant changes in the analysis of the thigh circumference at two anthropometric points (C1:  $p < 0.001$ , C2:  $p < 0.001$ ). In static work conditions, the results of the study group showed statistically significant changes in the value of the peak moment of force (PT) [Nm] for the knee flexor and extensor muscles. In the control group, there were no significant changes in the extensor muscles, and for the flexor muscles the changes were significant but not as large as in the study group. The ratio of agonists to antagonists (Ag / Ang) [%] in both experimental groups improved significantly (between the pre-study measurement - P1, and the post-study measurement - P2:  $\Delta_{GB}=5,38 \%$  and  $\Delta_{GK}=5,12 \%$ ). In the dynamic work conditions, it was observed in the study group that all the analyzed strength and speed parameters for the extensor and flexor muscles of the knee joint at three speeds ( $60^\circ/s$ ,  $180^\circ/s$ ,  $300^\circ/s$ ) increased statistically significantly. The results of the control group showed that at the speed of  $60^\circ/s$  there were significant statistical changes in all of the analyzed parameters. At the speed of  $180^\circ/s$  or  $300^\circ/s$ , the analyzed parameters showed the statistical significance of the average power. However, the analysis of other parameters showed no statistically significant changes. The agonist to antagonist ratio (Ag / Ang) [%] at each analyzed velocity significantly improved in both the study and control groups.

**Conclusions:** In the study group, statistically significant changes were observed in all analyzed parameters: thigh circumference and force-speed parameters in static and dynamic work conditions at three speeds:  $60^\circ/s$ ,  $180^\circ/s$  or  $300^\circ/s$ . In the control group, not all of the analyzed parameters had statistically significant changes. If statistically significant changes were found in any of the analyzed parameters in the control group, they were still significantly smaller than in the study group.

## SPIS RYCIN

Rysunek 1. Położenie filamentów cienkich (aktynowych) oraz filamentów grubych (miozynowych) w obrębie sarkomeru. ....	7
Rysunek 2. Mechanizmy ślizgowy skurczu mięśnia szkieletowego w obrębie sarkomeru. ....	8
Rysunek 3. Elektrostymulator RSQ1.....	15
Rysunek 4. Pomiar obwodów ud: oznaczenie dwóch punktów antropometrycznych (C1, C2). ....	23
Rysunek 5. Symetryczne rozmieszczenie elektrod (katody i anody) podczas sesji RSQ1..	26
Rysunek 6. Dwuczynnikowa analiza wariancji dla obu grup eksperymentalnych (badanej, kontrolnej) pomiędzy pomiarami (P1, a P2) w punktach antropometrycznych: C1 i C2.....	29
Rysunek 7. Praca statyczna: wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (P <sub>Te</sub> ) i zginaczy (P <sub>Tf</sub> ) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych.....	31
Rysunek 8. Praca statyczna: procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej.....	32
Rysunek 9. Praca dynamiczna (60°/s): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (P <sub>Te</sub> ) i zginaczy (P <sub>Tf</sub> ) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych.....	34
Rysunek 10. Praca dynamiczna (60°/s): procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej.....	36
Rysunek 11. Praca dynamiczna (60°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (T <sub>We</sub> ) i zginaczy (T <sub>Wf</sub> ) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej. ....	37

Rysunek 12. Praca dynamiczna (60°/s): Średnia moc przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej. ....	39
Rysunek 13. Praca dynamiczna (180°/s): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych.....	40
Rysunek 14. Praca dynamiczna (180°/s): procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej. ....	42
Rysunek 15. Praca dynamiczna (180°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej. ....	43
Rysunek 16. Praca dynamiczna (180°/s): Średnia moc przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej. ....	44
Rysunek 17. Praca dynamiczna (300°/s): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych.....	46
Rysunek 18. Praca dynamiczna (300°/s): procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej. ....	47
Rysunek 19. Praca dynamiczna (300°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej. ....	49
Rysunek 20. Praca dynamiczna (300°/s): Średnia moc przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej. ....	50

**SPIS TABEL**

Tabela 1. Charakterystyka grup eksperymentalnych: badanej (n=26) i kontrolnej (n=22).....	20
---	----