

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**

Autoreferat pracy doktorskiej  
wykonywanej w Zakładzie Fizjoterapii w Neurologii i Pediatrii, Wydział  
Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

**Promotor:**

*dr hab. inż. Alicja Dziuba-Słonina,  
prof. AWF we Wrocławiu*

**Recenzenci:**

*dr hab. Dariusz Mucha, prof. AWF w  
Krakowie*

*dr hab. Tomasz Halski, prof. UO*

WROCŁAW 2021

## **I WSTĘP**

### **I 1. Uzasadnienie wyboru tematu**

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 (Kowza-Dzwonkowska, 2018). 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 (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. Działanie lecznicze tych zabiegów zależy od użytej częstotliwości podczas terapii (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 (czasem czterobiegunową). 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.

W piśmiennictwie 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, przyrost masy i momentu siły mięśniowej. W literaturze polskiej można znaleźć badania prowadzone głównie przez Taradaję, Błaszczyka, Kucharzewskiego, którzy analizują wpływ zabiegów elektrostymulacji na mięsień czworogłowy uda u sportowców (Taradaj i wsp., 2013). Płaszewski z powodzeniem stosuje elektrostymulację u pacjentów po okresowym unieruchomieniu stawu kolanowego (Płaszewski, 2005 i 2006). Kowza-Dzwonkowska w 2018 roku opublikowała bardzo ciekawą pracę na temat zastosowania EMS jako elementu wspomagającego trening sportowy. Autorka omówiła wpływ elektrostymulacji na tkankę mięśniową i zmiany fizjologiczne w niej zachodzące oraz porównuje EMS do treningu sportowego. Istnieje już wiele publikacji naukowych potwierdzających, że po EMS dochodzi do wzrostu siły i masy mięśniowej. Jednak autorka zwróciła uwagę na to, że po elektrostymulacji dochodzi do powiększenia powierzchni przekroju mięśnia i do jego regeneracji poprzez obniżenie poziomu stresu oksydacyjnego w komórkach satelitarnych mięśni oraz tworzenie się nowych miofibrili. Z uwagi na takie doniesienia EMS można zastosować także jako element odnowy biologicznej (Di Filippo i wsp., 2017).

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 specyfice 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).

## **I 2. Elektrostymulacja metodą RSQ1**

Wiadomo, że zabiegi EMS zwiększają masę mięśniową (Lepley 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).

Jedną z innowacyjnych metod rehabilitacji i treningu jest RSQ1, która łączy nerwowo-mięśniową elektrostymulację (NMES) z indywidualnie dobranymi do możliwości uczestnika ćwiczeniami rehabilitacyjno-treningowymi. Urządzenie RSQ1 jest urządzeniem medycznym klasy CEIIa, opracowanym w Holandii dla sportowców w celach leczniczych a później treningowych. Polega ona na równoczesnym zastosowaniu elektrostymulacji (dwóch równoległe działających prądów o częstotliwościach: 500 Hz i 10 000 Hz), podczas której uczestnik wykonuje ćwiczenia usprawniające (Martijn van Erp, 2017) (Rys. 3).



Rysunek 1. Elektrostymulator RSQ1

## II CEL PRACY I PYTANIA BADAWCZE

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.

### 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?

## III OSOBY BADANE I METODY BADAWCZE

### III 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 i kontrolnej zostały przedstawione wyczerpujące informacje na temat realizowanego eksperymentu. 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)	Grupa Badana (n=26)	Grupa Kontrolna (n=22)
<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)

**Kryteria włączenia:** kobiety i mężczyźni, wiek od 22. do 30. roku życia, prowadzenie aktywnego trybu życia (do 4 godzin aktywności fizycznej tygodniowo), 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.

### **III 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:

- O wiek, masę ciała oraz wysokość,
- Czy w obrębie kończyn dolnych doszło do urazu w ciągu ostatnich 3 lat,
- Ile godzin tygodniowo poświęcasz na aktywność fizyczną?

#### **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 2. 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. Pomiędzy 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/Antag [%].
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/Antag [%] 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 przysiodkową i prostą mięśnia czworogłowego uda na obu kończynach dolnych symetrycznie. Dawki prądu dla każdego uczestnika były takie same. Podczas przepływu prądu uczestnicy grupy badanej wykonywali proste i powtarzalne ćwiczenia (Rys. 5).



**Rysunek 3. 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/ExHG1): 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 ExHG1. Grupa kontrolna wykonywała ćwiczenia według instruktażu, jaki otrzymali uczestnicy badań.

### **III 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. Czynniki pierwsze to płeć (mężczyźni, kobiety), a czynnik 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.

## IV WYNIKI

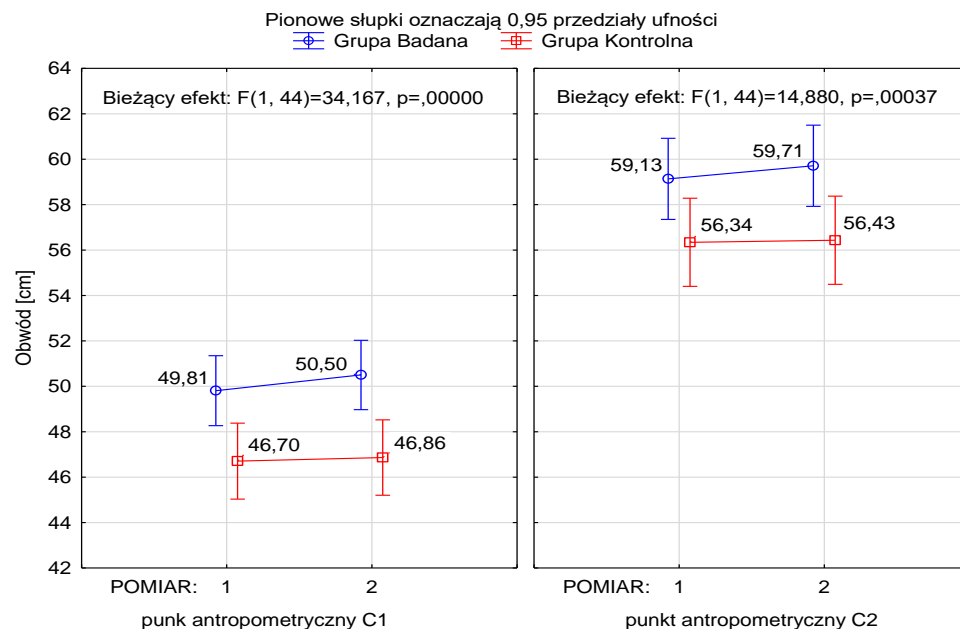
W wyżej opisanym eksperymencie wykonano dwa pomiary (P1, P2). Pierwszy test (P1) przed rozpoczęciem oraz drugi test (P2) trzy dni po zakończeniu eksperymentu. Pomiary zostały wykonane u każdego uczestnika, zarówno w grupie badanej, jak i kontrolnej.

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.

### IV 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).



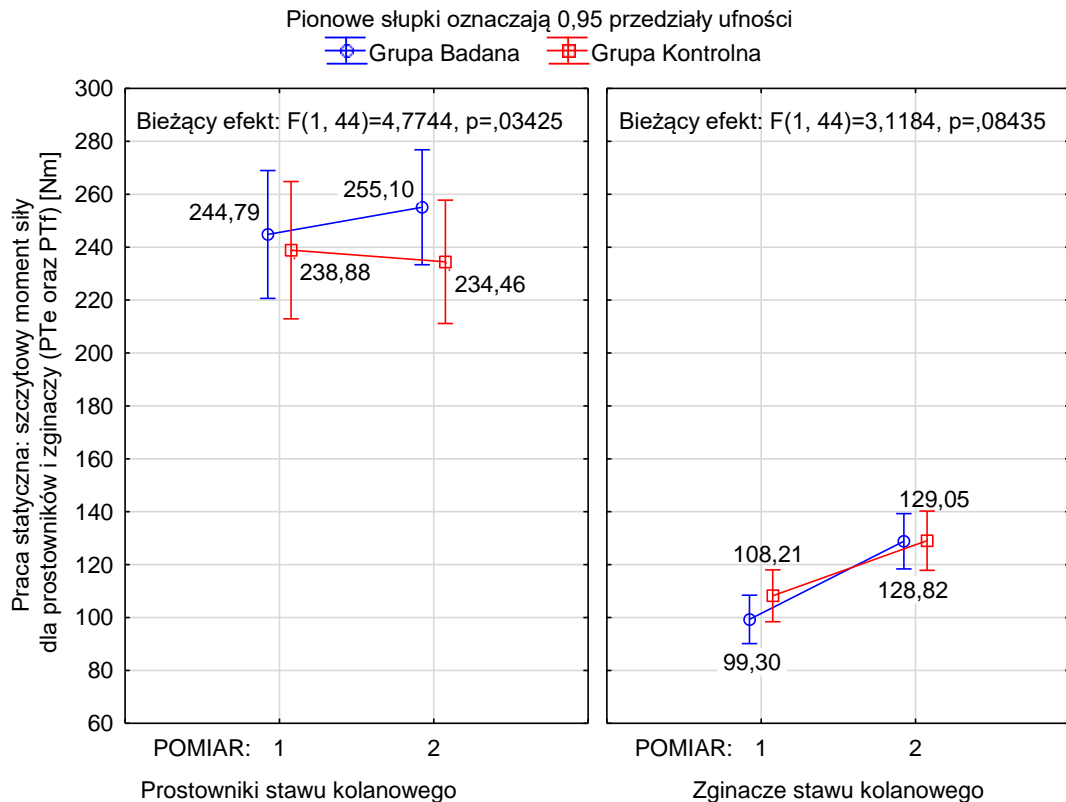
**Rysunek 4. Dwuczynnikowa analiza wariancji dla obu grup eksperymentalnych (badanej, kontrolnej) pomiędzy pomiarami (P1 i P2) w punktach antropometrycznych: C1 i C2**

## IV 2. Praca statyczna

### IV 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 5. Praca statyczna: wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych**

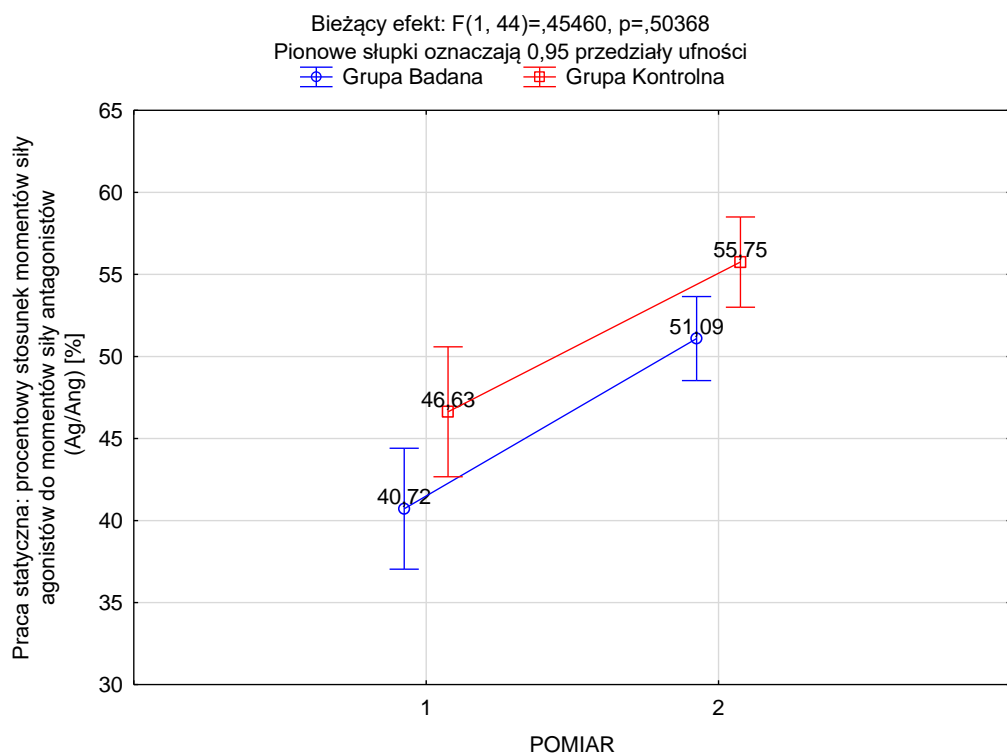
#### **IV 2.2. Procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang)**

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) **Doskonaly**: 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 6. Praca statyczna: procentowy stosunek momentów siły agonistów do momentów siły antagonistów (Ag/Ang) [%] przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla grupy badanej i kontrolnej**

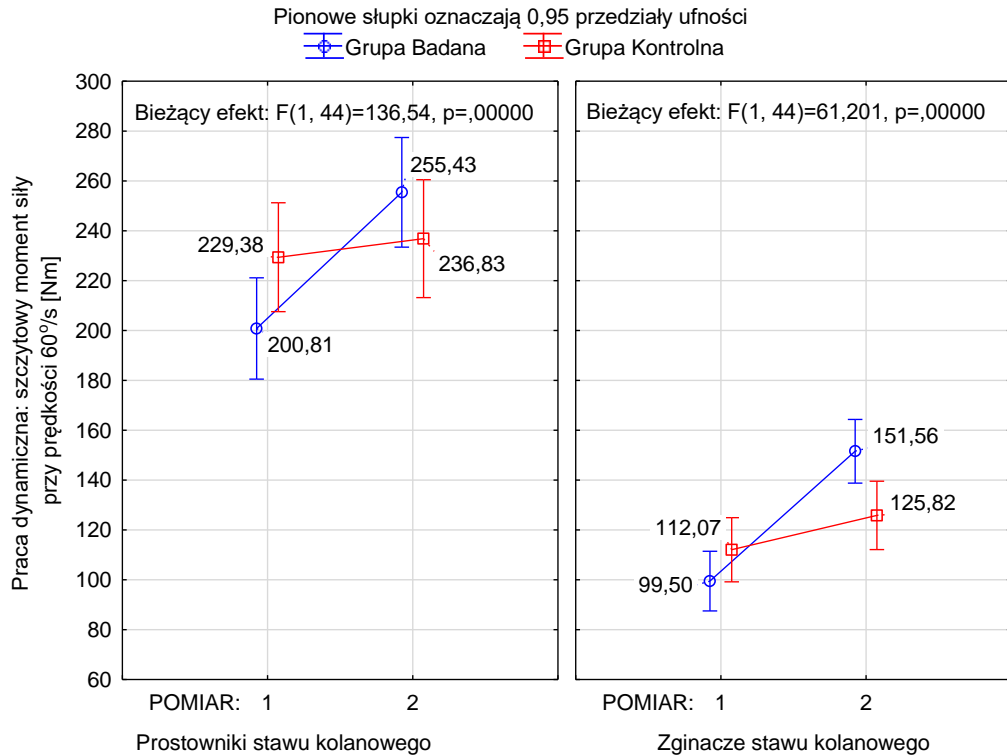
Średnie wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang w pomiarze P1 były wyższe dla grupy kontrolnej ( $46,63 \pm 7,65$  %) niż dla grupy badanej ( $40,72 \pm 7,29$  %). Analizując średnie z wyżej opisaną skalą, zaobserwowano, że w obu grupach eksperymentalnych średnie wartości procentowego stosunku 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.

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

#### **IV 3.1. Szczytowy moment siły (60°/s) prostowników (P<sub>Te</sub>) i zginaczy (P<sub>Tf</sub>)**

Pierwszym parametrem poddanym czteroczynnikowej analizie wariacji 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 wariacji. Wykonano także test post-hoc (test Duncana). Zaobserwowano, że w obu grupach eksperymentalnych zmiany są istotne statystycznie. Średnie arytmetyczne P<sub>Te</sub> 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 P<sub>Tf</sub> 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).



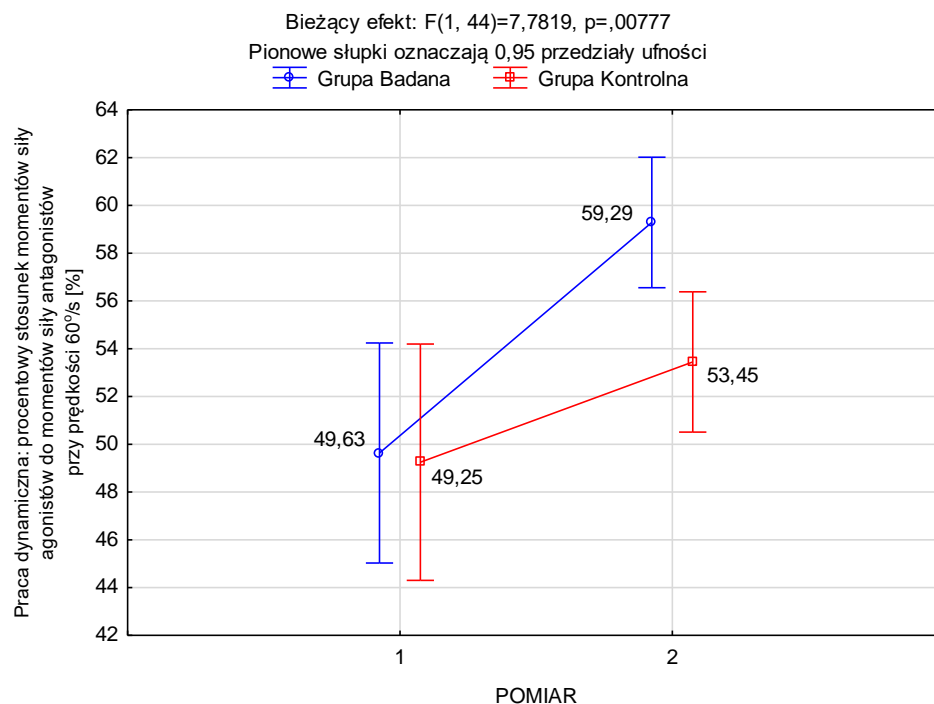
**Rysunek 7. Praca dynamiczna (60o/s): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych**

### **IV 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.

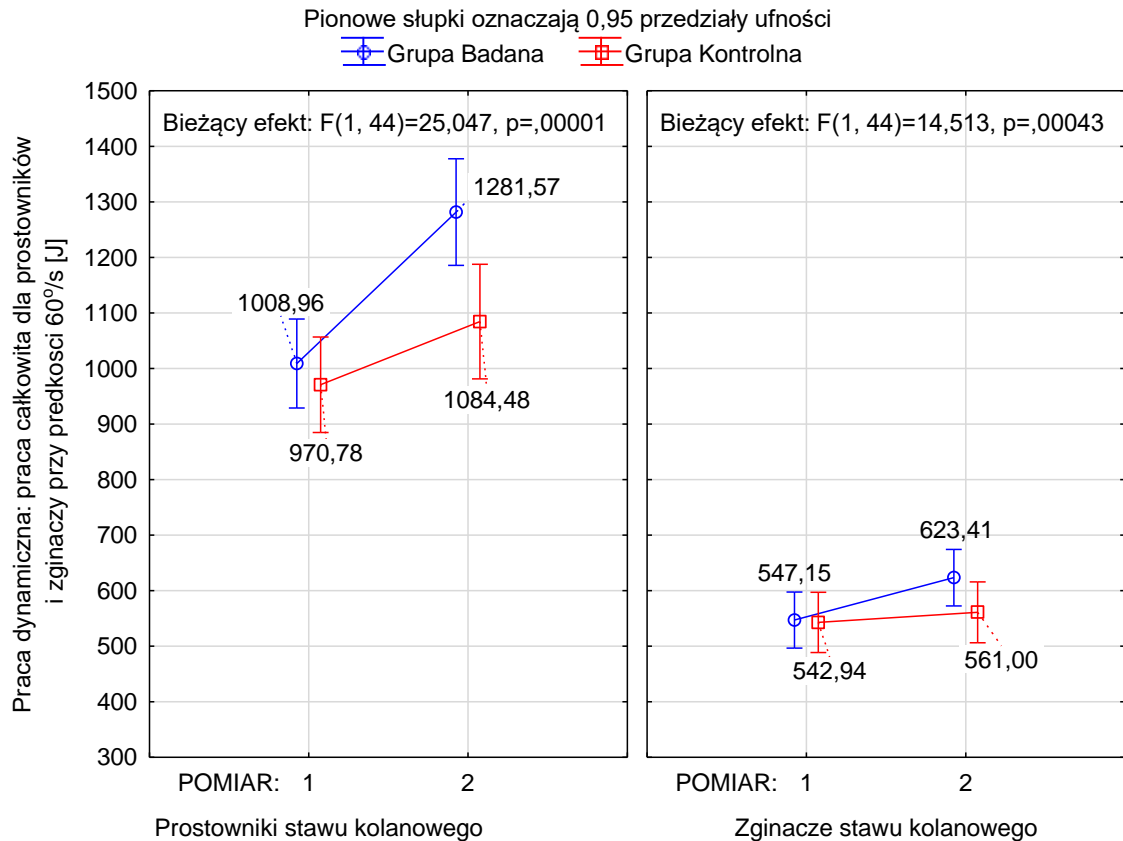
Zaobserwowana interakcja pomiędzy pomiarami i grupami eksperymentalnymi jest istotna statystycznie ( $p=0,008$ ). W pomiarze P1 obie grupy: badana ( $49,63\pm 9,36$  %) i kontrolna ( $49,25\pm 7,12$  %) nie różniły się istotnie statystycznie średnimi wartościami procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang. 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 8. 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**

### IV 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 płeć 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).

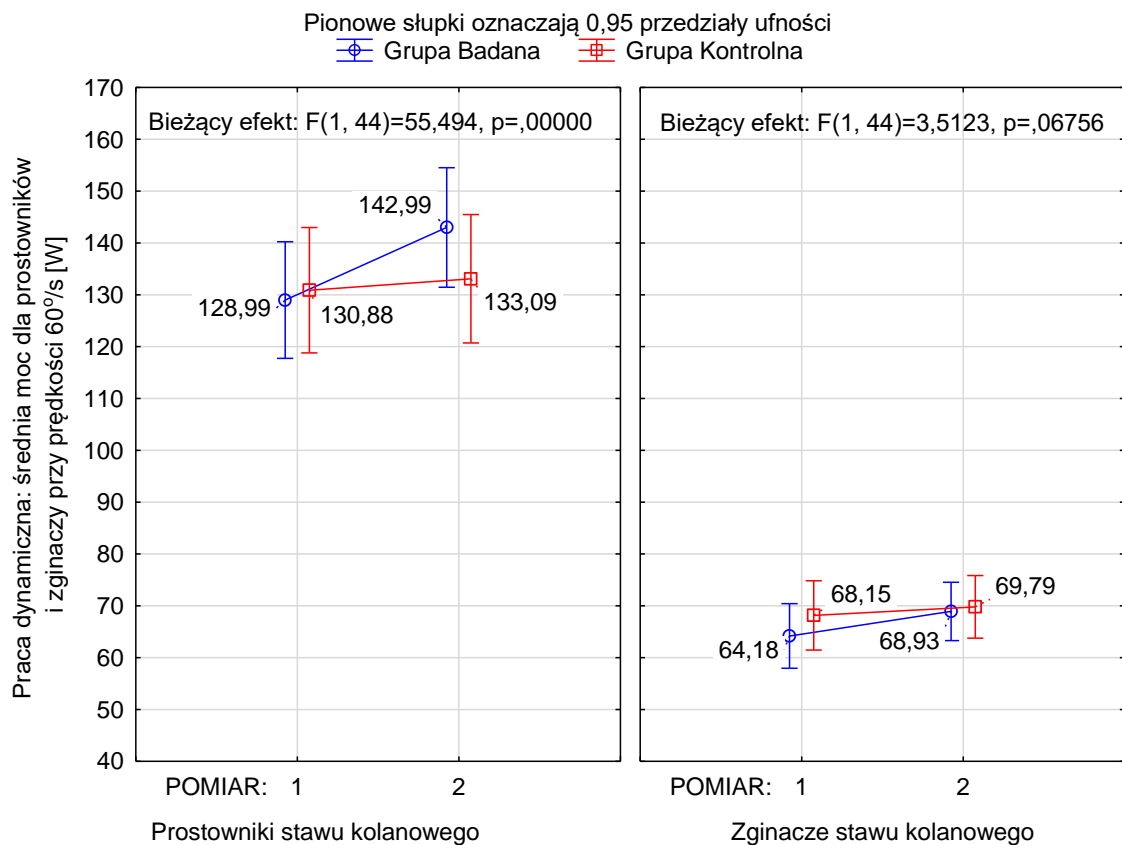


**Rysunek 9. Praca dynamiczna (60°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**

#### IV 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 60o/s dla mięśni prostowników (e) i zginaczy (f) obu stawów kolanowych. 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). W pomiarze P1 średnie wartości średniej mocy (AP) nie różniły się od siebie istotnie statystycznie: w grupie badanej średnie wartości (e:  $128,99\pm 32,75$  W oraz f:  $64,18\pm 16,37$  W), a w grupie kontrolnej (e:  $130,88\pm 28,77$  W oraz f:  $68,15\pm 16,38$  W). Natomiast w pomiarze P2 w grupie badanej, średnie wartości AP wzrosły e:  $142,99\pm 36,1$

W oraz f:  $68,93 \pm 15,03$  W. W przeciwieństwie do grupy kontrolnej, gdzie wartości średniej mocy AP pomiędzy P1 a P2 były zbliżone (e:  $133,09 \pm 30,11$  W oraz f:  $69,79 \pm 16,32$  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).



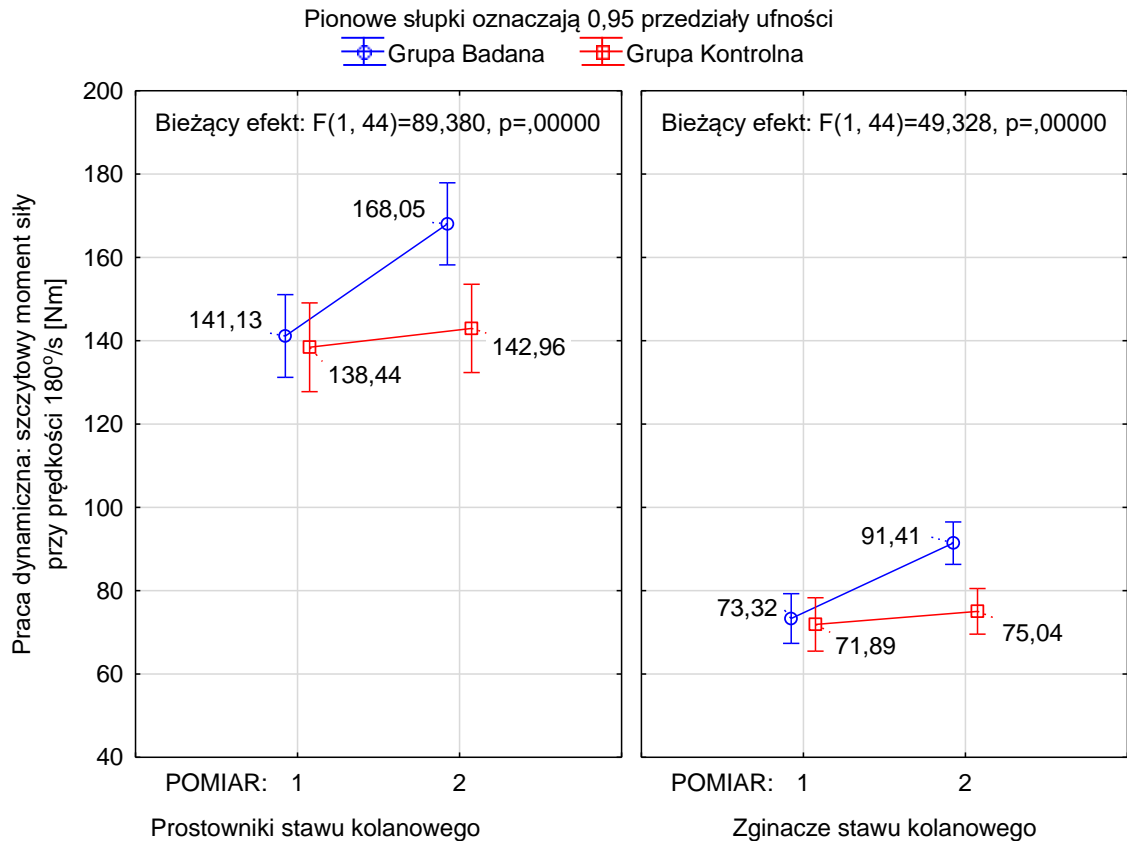
**Rysunek 10. Praca dynamiczna (60°/s): Średnia moc przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**



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

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

Wykonano dwuczynnikową analizę wariancji (płeć i lateralizacja nie wykazały istotności statystycznej) 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. 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±36,82 Nm oraz f: 73,32±18,01 Nm) a w grupie kontrolnej (e: 142,96±32,89 Nm oraz f: 75,04±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).

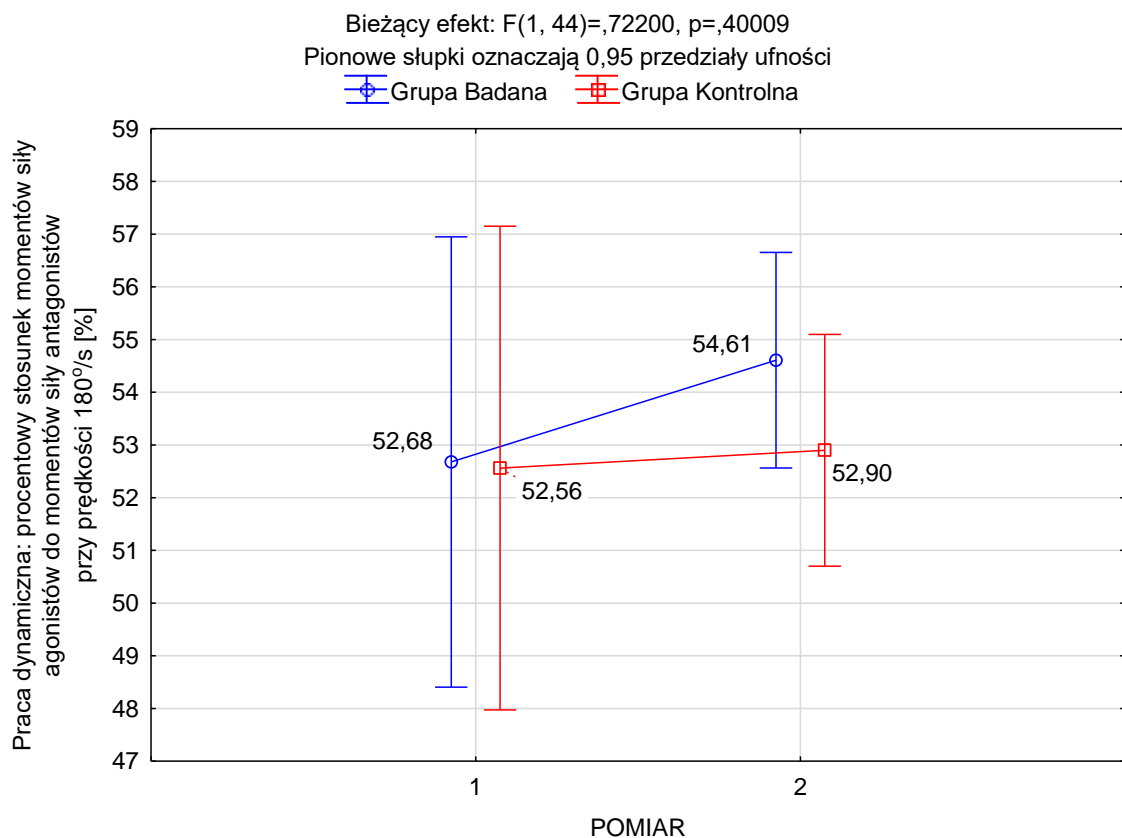


**Rysunek 11. Praca dynamiczna (180°/s): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTE) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych**

#### **IV 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). Nie wykazano istotnych statystycznie różnic

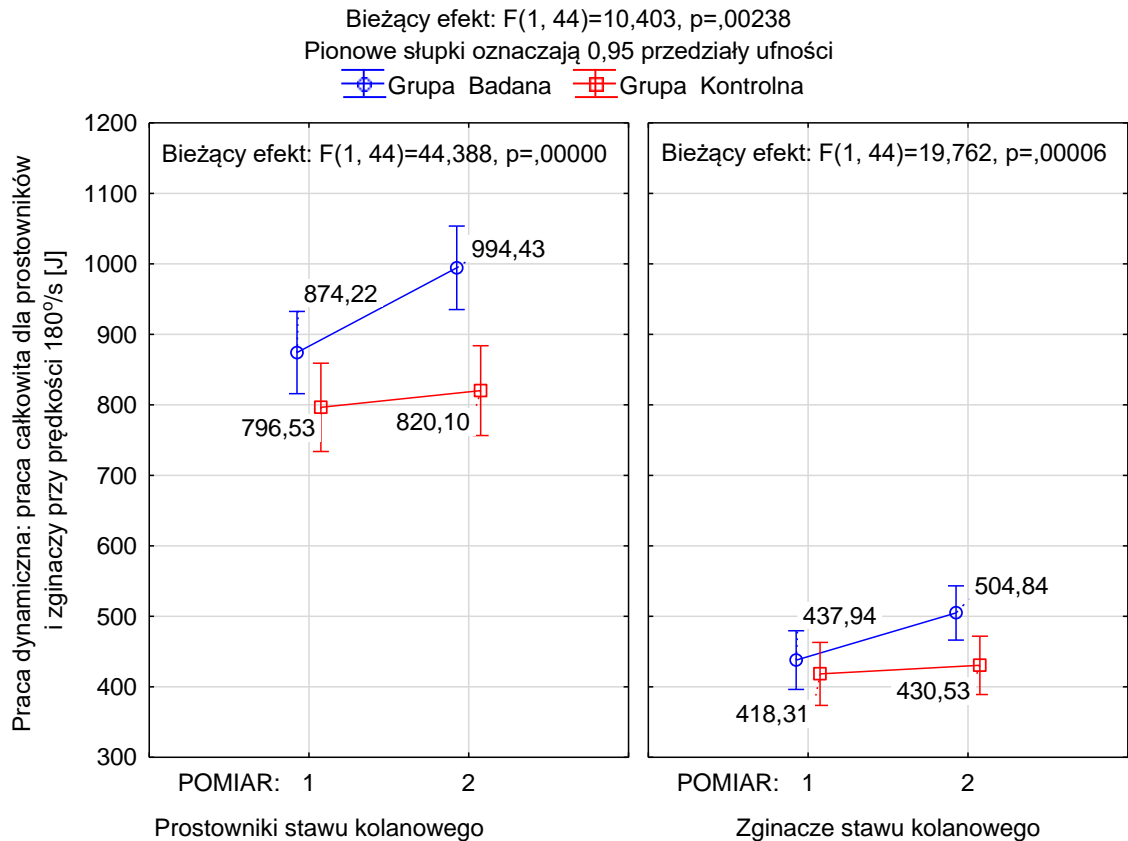
ani pomiędzy czynnikami głównymi, ani interakcji pomiędzy czynnikami. Założenie o jednorodności wariancji zostało spełnione (test Levene'a). W pomiarze P1 średnie wartości procentowego stosunku momentów siły Ag/Ang w obu grupach eksperymentalnych: badana ( $52,68 \pm 8,91$  %) i kontrolna ( $52,56 \pm 6,63$  %) 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 12. 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**

#### **IV 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 płęć 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±255,09 J oraz f: 437,94±129,68 J) oraz grupy kontrolnej (e: 796,53±186,19 J oraz f: 418,31±96,99 J). W pomiarze P2 zaobserwowano wzrost średnich wartości TW w grupie badanej (e: 994,43±292,95 J oraz f: 504,85±140,16 J) oraz w grupie kontrolnej (e: 820,10±188,71 J oraz f: 430,53±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).

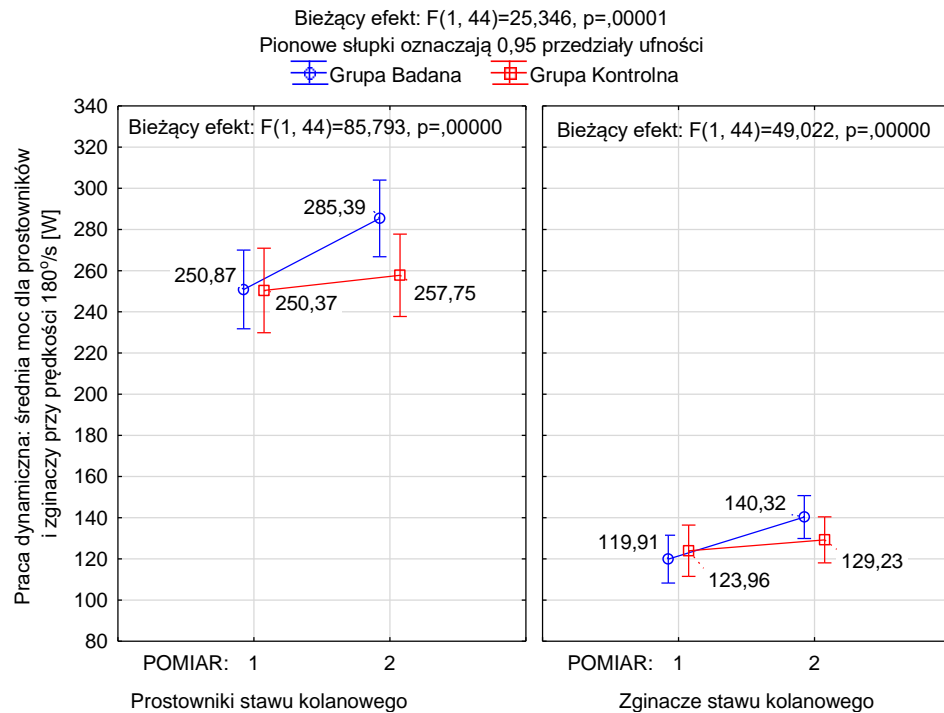


**Rysunek 13. Praca dynamiczna (180°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**

#### IV 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:  $285,39 \pm 73,65$  W oraz f:  $140,32 \pm 36,29$  W) oraz grupa kontrolna (e:  $257,75 \pm 61,35$  W oraz f:  $129,23 \pm 31,08$  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).



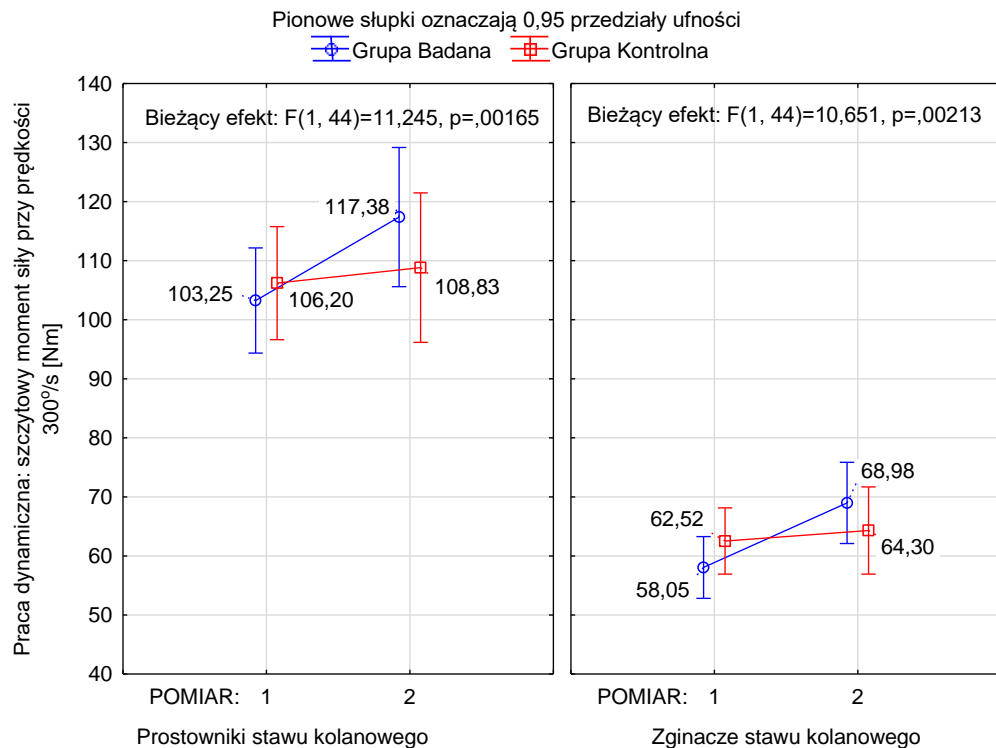
**Rysunek 14. Praca dynamiczna (180°/s): Średnia moc przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (APe) i zginaczy (APf) [W] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolnej**

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

### IV 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 P<sub>Tf</sub> 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).



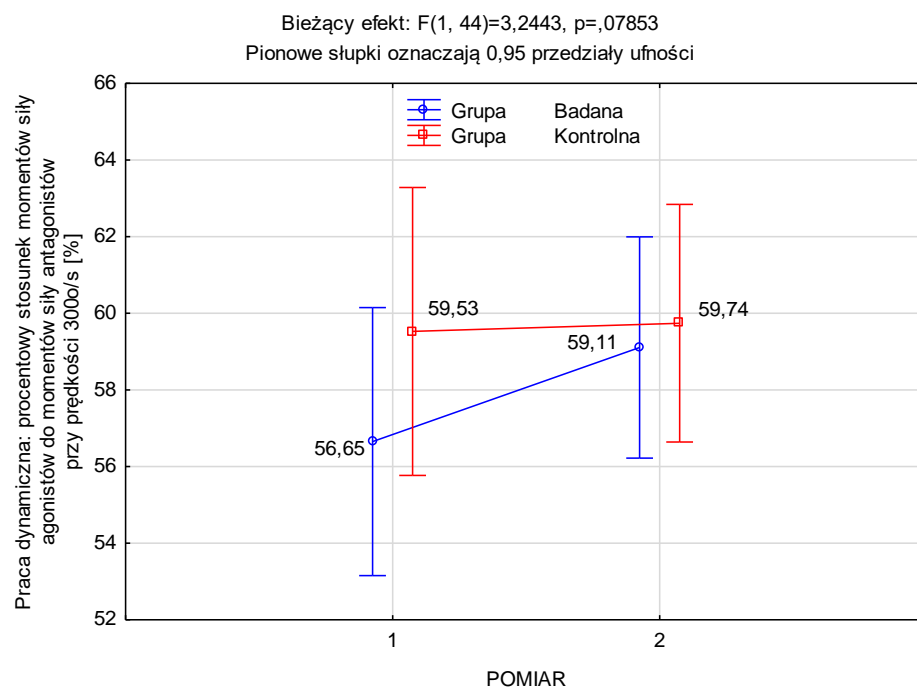
**Rysunek 15. Praca dynamiczna (300°/s): wartości szczytowego momentu siły (P1 i P2) mięśni prostowników (PTe) i zginaczy (PTf) [Nm] stawu kolanowego dla obu grup eksperymentalnych**

#### **IV 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 ( $p=0,006$ )



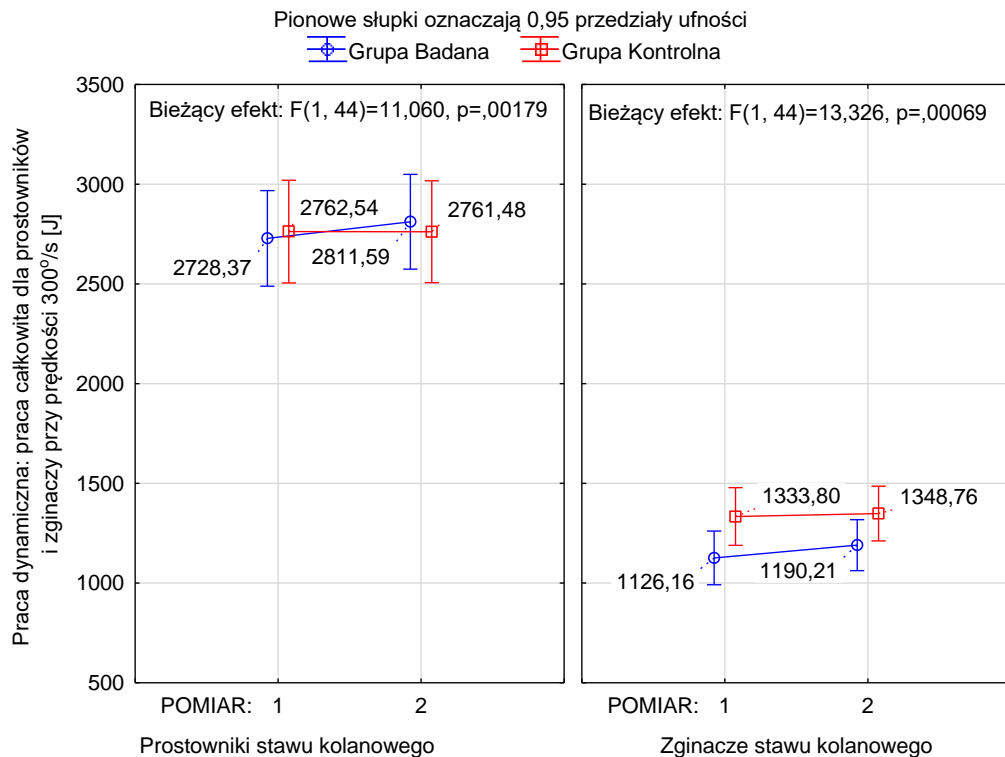
natomiast dla grupy kontrolnej nie były istotne statystycznie ( $p=0,808$ ). Według wcześniej opisywanych kryteriów w warunkach pracy statycznej oraz w warunkach pracy dynamicznej przy prędkościach  $60^{\circ}/s$  i  $180^{\circ}/s$ , wyniki te dają w przypadku grupy kontrolnej ocenę bardzo dobrą a 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 16. 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**

#### IV 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±594,42 J natomiast w grupie kontrolnej e: 2762,54±639,85 J. Dla mięśni zginaczy (f) różnice w pomiarze P1 między średnimi, grupy badanej (f: 1126,16±198,21 J), a grupy kontrolnej (f: 1333,80±325,83 J), były istotne statystycznie. W pomiarze P2 średnie wartości TW w grupie badanej istotnie wzrosły dla mięśni prostowników (e: 2811,59±588,54 J), a także dla mięśni zginaczy (f: 1190,21±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±649,98 J oraz f: 1348,76±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).

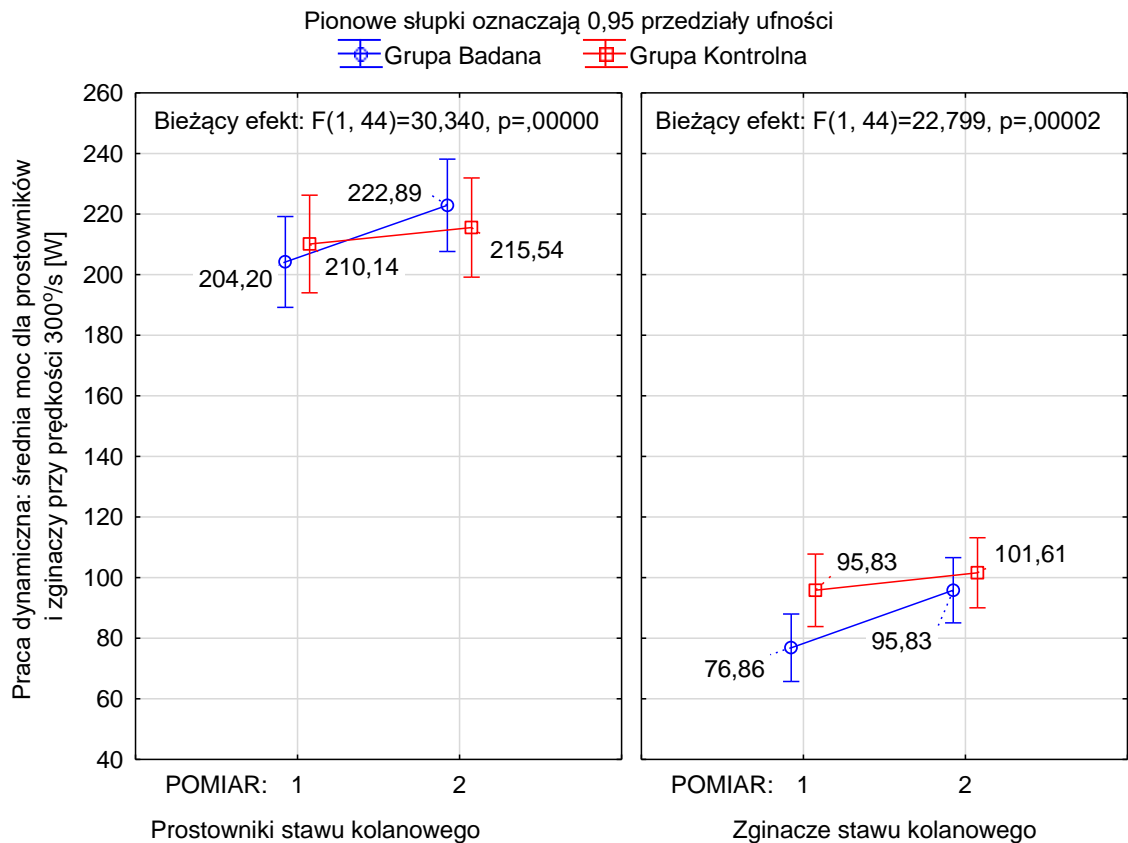


**Rysunek 17. Praca dynamiczna (300°/s): Praca całkowita przed (P1) i po (P2) eksperymencie dla prostowników (TWe) i zginaczy (TWf) [J] stawu kolanowego dla grupy badanej i kontrolne.**

#### IV.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 18. 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

## V 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).

## VI PIŚMIENNICTWO

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Davies G. A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation techniques. Wydanie IV. S&S Publishers. Onalaska 1992.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Grygorowicz M, Głowacka A, Wiernicka M, Kamińska E. Kompleksowa ocena fizjoterapeutyczna podstawą profilaktyki pierwotnej urazów sportowych. *Nowiny lekarskie* 2010, 79(3): 240-244.

10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Kots Y, Chilon V. The training of muscular power by method of electrical stimulation. State Central Institute of Physical Culture, Moscow 1975: 114-138.
14. Kowza – Dzwonkowska M. Electromyostimulation as an element supporting sports training. Quality in sport 2018, 1(4) 27-34.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Pezdek K, Michaluk T. Fizjoterapia jako nauka integrująca działalność terapeutyczną. Fizjoterapia 2013, 21(2): 3 – 6.
19. 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.



20. Płaszewski M. Zmiana częstości skurczów serca pod wpływem ćwiczeń izometrycznych i rosyjskiej stymulacji mięśni prostowników stawu kolanowego. *Ortop Traumatol Rehabil* 2006, 4: 680-685.
21. Rosiński M. Przygotowanie pacjenta do zabiegu rekonstrukcji ACL po urazie stawu kolanowego. *Praktyczna Fizjoterapia i Rehabilitacja* 2011, 23: 8-14.
22. Rzepka R, Grygorowicz M. Obiektywna ocena w warunkach izokinetycznych w medycynie i sporcie – jej przydatność i zastosowanie. *Rehab w praktyce* 2007(4): 14-16.
23. Skinner H.: *Current diagnostic and treatment in orthopaedics*. The McGraw-Hill Companies. 2003, 2-449.
24. Skolimowski T. *Badanie czynnościowe narządu ruchu w fizjoterapii*. Wrocław 2012, Wydanie II, ss: 201-223.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. Yamamoto R, Takasuga S, Kominami K, Sutoh Ch, Kimoshita M, Kanamura K. Inotophoretic transdermal delivery of glycyrrhizin: Effects of pH, drug concentration, conditions, current intensity, and chemical enhancers. *Chem Pharm Bull* 2013, 61:1275-81.