

**Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach**

PRZEMYSŁAW DĘBSKI

**Ocena miejscowego i ogólnoustrojowego wpływu
samodzielnego rozluźniania z wykorzystaniem
wałka do rolowania (ang. foam rolling) na wybrane
parametry biomechaniczne tkanek mięśniowo-
powięziowych**

**Autoreferat rozprawy na stopień doktora nauk o kulturze
fizycznej**

**Promotor
dr hab. Rafał Gnat, prof. AWF**

**Promotor pomocniczy
dr Maciej Biały**

Katowice 2023

SPIS TREŚCI

Wykaz skrótów, pojęcia i definicje, interpretacja wartości zmiennych.....	4
1. Wstęp.....	5
2. Struktura i cele pracy	7
2.1 Struktura badań	7
2.1.1 Model badawczy	7
2.1.2 Główne zmienne niezależne	7
2.1.3 Zmienne zależne	8
2.1.4 Interwencja eksperymentalna	8
2.1.5 Pomiary wartości zmiennych zależnych	9
2.2 Problemy badawcze	9
3. Materiał i metody	11
3.1 Uczestnicy	11
3.2 Narzędzia i procedury pomiarowe.....	14
3.2.1 Narzędzie pomiarowe - MyotonPRO.....	14
3.2.2 Punkty pomiarowe	15
3.2.3 Procedura pomiaru	16
3.2.4 Analizowane parametry biomechaniczne	17
3.2.5 Interwencja eksperymentalna.....	19
3.3 Przebieg badań	22
3.4 Wiarygodność pomiarów.....	24
3.5 Przetwarzanie danych.....	25
3.6 Analiza statystyczna	25
4. Wyniki	27
4.1 Punkt B _D – mięsień brzuchaty łydki, kończyna dominująca	27
4.1.1 Wiarygodność	27
4.1.2 Statystyki opisowe	27
4.1.3 Założenia wielowymiarowej analizy wariancji.....	28
4.1.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji	28
4.2 Punkt B _{ND} – mięsień brzuchaty łydki, kończyna niedominująca	29
4.2.1 Wiarygodność	29
4.2.2 Statystyki opisowe	30
4.2.3 Założenia analizy wariancji	31

4.2.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji	32
4.3 Punkt D_D – mięsień dwugłowy uda, kończyna dominująca	32
4.3.1 Wiarygodność	32
4.3.2 Statystyki opisowe	33
4.3.3 Założenia analizy wariancji	34
4.3.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji	34
4.4 Punkt D_{ND} – mięsień dwugłowy uda, kończyna niedominująca.....	35
4.4.1 Wiarygodność	35
4.4.2 Statystyki opisowe	35
4.4.3 Założenia analizy wariancji	36
4.4.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji	37
4.5 Punkt N_D – mięsień najdłuższy po stronie kończyny dominującej	37
4.5.1 Wiarygodność	37
4.5.2 Statystyki opisowe	38
4.5.3 Założenia analizy wariancji	39
4.5.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji	40
4.5.5 Wyniki jednowymiarowej analizy wariancji.....	40
4.6 Punkt N_{ND} – mięsień najdłuższy po stronie kończyny niedominującej.....	41
4.6.1 Wiarygodność	41
4.6.2 Statystyki opisowe	41
4.6.3 Założenia analizy wariancji	42
4.6.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji	43
4.7 Analiza różnic pomiędzy punktami	44
4.7.1 Statystyki opisowe	44
4.7.2 Założenia analizy wariancji	45
4.7.3 Analiza różnic pomiędzy punktami	46
4.8 Podsumowanie wyników	46
5. Wnioski	51
6. Bibliografia	52

Wykaz skrótów, pojęcia i definicje, interpretacja wartości zmiennych

Wykaz skrótów

SMR (ang. *Self-Myofascial Release*) – samodzielne rozluźnianie mięśniowo-powięziowe

FR (ang. *Foam Rolling*) – samodzielne rozluźnianie mięśniowo-powięziowe z wykorzystaniem wałka

MFR (ang. *Myofascial Release*) – rozluźnianie mięśniowo-powięziowe

CZ – parametr MyotonPRO opisujący częstotliwość oscylacji tkanki [Hz]

SZ – parametr MyotonPRO opisujący sztywność tkanki [N/m]

T – parametr MyotonPRO opisujący tłumienie, a pośrednio sprężystość tkanki [bez jednostki]

De – parametr MyotonPRO opisujący liczbę Debory [bez jednostki]

Interpretacja wartości zmiennych zależnych

Częstotliwość oscylacji (CZ) [Hz] – zwiększenie wartości parametru oznacza zwiększenie tonusu (minimalnej, spoczynkowej aktywności mięśniowej)

Sztywność (SZ) [N/m] – zwiększenie wartości parametru oznacza zwiększenie sztywności

Tłumienie (T) [bez jednostki] – zwiększenie wartości parametru oznacza zmniejszenie sprężystości

Liczba Debory (De) [bez jednostki] – zwiększenie wartości parametru oznacza zwiększenie się czasu zanikania odkształceń w stosunku do czasu odkształcania

Pojęcia i definicje

Delta – różnica pomiędzy wynikiem badania końcowego, a wynikiem badania wyjściowego dla określonego parametru

Paradygmat treningowy – tryb postępowania, w którym zastosowanie środków fizjoterapeutycznych ma na celu poprawę wyniku sportowego

Paradygmat terapeutyczny – tryb postępowania, w którym zastosowanie środków fizjoterapeutycznych ma na celu zmniejszenie objawów bólowych i przywrócenie narządu ruchu do stanu wewnętrznej równowagi

Czynnik eksperymentalny CZAS – główna zmienna niezależna różnicująca grupy ze względu na czas aplikacji interwencji (30 s vs 120 s)

Czynnik eksperymentalny INTERWENCJA – główna zmienna niezależna różnicująca grupy ze względu na rodzaj interwencji (SIAD vs RUCH vs FR)

1. Wstęp

Podstawą do podjęcia badań stanowiących punkt wyjścia do dysertacji doktorskiej była chęć wzięcia udziału w dyskusji na temat skuteczności powszechnie dostępnych, popularnych narzędzi wspomagających ludzkie dążenia do uzyskania lub utrzymania dobrego samopoczucia i pełni zdrowia. Postępujący rozwój współczesnego społeczeństwa niesie ze sobą wiele zagrożeń dla obu wymienionych aspektów życia. Kompensacyjne zmiany w obrębie narządu ruchu i wynikające z nich liczne dysfunkcje, a także związane z nimi dolegliwości bólowe są bezpośrednio związane z siedzącym trybem życia rozpowszechnionym w cywilizacji zachodniej.

Jednocześnie dostęp do informacji i technologii oferuje coraz to nowe możliwości minimalizowania efektów ubocznych industrializacji. Dbłość o ciało stała się w kulturze zachodniej znaczącym trendem. W ślad za rosnącym zainteresowaniem zaobserwować można zwiększenie się ilości różnego rodzaju metod i narzędzi mających wspomagać ludzkie dążenia do poprawy lub utrzymania zdrowia i sprawności. Popularne formy zorganizowanej i indywidualnej aktywności fizycznej oferują szeroką gamę możliwości wzmocnienia organizmu. Równolegle poszukuje się narzędzi mających służyć do relaksacji ciała, wspomżenia regeneracji po treningu lub przyspieszenia procesu rehabilitacji. Warto podkreślić, że trzy opisywane cele oddziaływania na tkankę mięśniowo-powięziową (relaks, regeneracja, powrót do zdrowia) łączy chęć zmiany jej wewnętrznego stanu lub pozbycia się negatywnych odczuć związanych z tym stanem. Ze względu na ograniczony dostęp do specjalistów, a także z bardziej prozaicznych powodów, takich jak brak czasu, obserwuje się wysokie zainteresowanie wykonywaniem różnych form samodzielnego masażu. Jedną z chętnie stosowanych technik łączących masaż z samodzielnym rozluźnianiem mięśniowo-powięziowym (ang. *Self-Myofascial Release* – SMR) jest rolowanie za pomocą wałka (ang. *Foam Rolling* – FR) [31].

Naturalnie pojawienie się trendów w dowolnym aspekcie życia społeczności wiąże się z działaniami rynkowymi skierowanymi na generowanie z nich zysków. Z tego powodu istnieje konieczność weryfikowania dostępnych narzędzi przez środowisko naukowe. Nie inaczej jest w przypadku FR. W literaturze nie brakuje dowodów na skuteczność rolowania za pomocą wałka.

Wśród potencjalnych korzyści wynikających z tej formy samodzielnej terapii podaje się m.in. zwiększenie zakresu ruchu w stawach [4, 10, 19, 26, 31, 32, 35], podwyższenie progu bólu [9, 25, 36], czy zmniejszenie potreningowych bólów mięśniowych [28, 30, 36]. W odniesieniu do opisywanego rodzaju samodzielnego masażu istnieją też badania krytyczne, negujące jego wartość [40, 43]. Trwająca dyskusja dotyczy kilku obszarów. Wśród nich najważniejszym jest próba zbadania właściwego mechanizmu odpowiedzialnego za opisywane w literaturze efekty terapeutyczne, a w związku z tym również za charakter tych efektów (lokalny/ogólnoustrojowy). Wpływ FR może odnosić się bezpośrednio do mechanicznych zmian różnorodnych elementów struktury tkanki mięśniowo-powięziowej, regulacji zachodzących w niej procesów lub kształtowania odczuć z nią związanych. Stąd część autorów poddaje w wątpliwość opisywanie w kategoriach pewności sam fakt nazwania zabiegu samodzielnego masażu rozluźnianiem mięśniowo-powięziowym. Wartościowym i zasadnym jest pytanie o to czy takie rozluźnienie następuje.

Naturalną konsekwencją powyższych problemów badawczych było sformułowanie celu badań jakim stała się ewaluacja wpływu FR na wybrane parametry biomechaniczne tkanki mięśniowo-powięziowej w miejscu aplikacji oraz ogólnoustrojowo. Badanie charakterystyk mechanicznych jest znacznie łatwiejsze w przypadku prac inżynierskich i materiałów o mniej złożonej charakterystyce. Dostępne są jednak coraz nowsze rozwiązania technologiczne, które w coraz większym stopniu pozwalają uporać się z obecnymi w tym względzie ograniczeniami. Jednym z narzędzi oferujących możliwość szczegółowej analizy parametrów biomechanicznych jest nieinwazyjny, wysoce wiarygodny [18, 20] przyrząd MyotonPro (Myoton AS, Tallinn, Estonia).

2. Struktura i cele pracy

2.1 Struktura badań

W niniejszej pracy ocenie poddano wpływ zabiegu samodzielnego rozluźniania mięśniowo-powięziowego grupy mięśni kulszowo-goleniowych w kończynie dolnej dominującej za pomocą wałka do rolowania (FR) na parametry biomechaniczne tkanki mięśniowo-powięziowej mierzone bezpośrednio w miejscu aplikacji (1 punkt; wpływ miejscowy) oraz w oddaleniu (5 punktów; wpływ ogólnoustrojowy, ipsi- oraz kontralateralny) na grzbietowej części ciała osób badanych. Podjęto również próbę identyfikacji właściwego czynnika terapeutycznego (pozycja ciała, ruch bez docisku do wałka, ruch z dociskiem do wałka, czas trwania zabiegu) oddziałującego na organizm w ramach tego zabiegu.

2.1.1 Model badawczy

Randomizowany (w zakresie podziału na grupy badawcze, losowanie bezzwrotne jednej z 96 kart oznaczonych w równej liczbie (n=16) numerem grupy umieszczonych w urnie) plan eksperymentalny z pojedynczym utajeniem wyników, celowym doбором uczestników z populacji generalnej i dwukrotnym pomiarem wartości zmiennych zależnych: przed i po wprowadzonej interwencji eksperymentalnej.

2.1.2 Główne zmienne niezależne

1. Czas trwania interwencji: 30 s oraz 120 s.
2. Czynniki terapeutyczne obecne w interwencji: tylko pozycja ciała (grupy SIAD), pozycja ciała + ruch (grupy RUCH), pozycja ciała + ruch + wałek do rolowania (grupy ROL).

W wyniku kombinacji wartości dwóch głównych zmiennych niezależnych uzyskano sześć grup porównawczych: SIAD30, RUCH30, ROL30, SIAD120, RUCH120, ROL120.

2.1.3 Zmienne zależne

Wartości analizowanych parametrów biomechanicznych tkanki mięśniowo-powięziowej: częstotliwości oscylacji, sztywności, tłumienia, liczby Debory; w punkcie poddawanym interwencji określające lokalny wpływ zastosowanych interwencji eksperymentalnych.

Wartości analizowanych parametrów biomechanicznych tkanki mięśniowo-powięziowej: częstotliwości oscylacji, sztywności, tłumienia, liczby Debory; w punktach odległych od punktu poddawanego interwencji (2 położonych ipsilateralnie i 3 położonych kontralateralnie) określające ogólnoustrojowy wpływ zastosowanych interwencji eksperymentalnych.

Poza uzyskanymi surowymi wynikami w postaci wartości parametrów biomechanicznych, w trakcie przetwarzania danych obliczono również ich zmiany, odejmując wynik uzyskany w badaniu wyjściowym od wyniku uzyskanego w badaniu końcowym. W rezultacie tych działań dla każdego parametru otrzymywano tzw. **deltę** (ta robocza, jednak poręczna nazwa będzie wykorzystywana w dalszej części rozprawy), którą również zaliczono do grupy wskaźników wartości zmiennych zależnych.

2.1.4 Interwencja eksperymentalna

W grupie ROL30 w ramach interwencji stosowano samodzielne rozluźnianie mięśniowo-powięziowe za pomocą wałka do rolowania (FR), które osoba badana wykonywała przez 30 sekund. Ta sama interwencja przeprowadzana była dla grupy ROL120 z tym, że trwała 120 sekund.

W grupie RUCH30 w ramach interwencji stosowano poruszanie się w przód i w tył w ten sam sposób, w jaki grupa ROL30 robiła to podczas wykonywania FR jednak bez użycia wałka do rolowania. Osoba badana wykonywała interwencję przez 30 sekund. Ta sama interwencja przeprowadzana była dla grupy RUCH120 z tym, że trwała 120 sekund.

W grupie SIAD30 w ramach interwencji stosowano pozycję wyjściową dla grupy ROL30 bez użycia wałka (siad prosty), którą osoba badana utrzymywała przez 30 sekund. Ta sama interwencja przeprowadzana była dla grupy SIAD120 z tym, że w tej grupie trwała 120 sekund.

2.1.5 Pomiary wartości zmiennych zależnych

Pomiary wartości zmiennych zależnych miały miejsce przed zastosowaniem interwencji oraz bezpośrednio po upływie ok. dwóch minut po zakończeniu interwencji. W obu pomiarach wartość końcowa dla każdego z parametrów była uśrednionym wynikiem trzykrotnego pomiaru przyrządem MyotonPRO w sześciu opisywanych punktach, przy czym każdy z trzech składowych pomiarów był już uśrednioną wartością trzech „wewnętrznych” pomiarów przeprowadzanych automatycznie przez MyotonPRO.

2.2 Problemy badawcze

2.2.1 Ogólne problemy badawcze:

1. Czy zastosowanie zabiegu FR wywiera miejscowy i/lub ogólnoustrojowy wpływ na parametry biomechaniczne (częstotliwość oscylacji, sztywność, tłumienie, liczbę Debory) tkanki mięśniowo-powięziowej?
2. Czy możliwe jest wyłonienie głównego czynnika terapeutycznego FR odpowiedzialnego za wywieranie ww. wpływu?

2.2.2 Szczegółowe problemy badawcze i hipotezy:

1. Czy wartości ww. parametrów biomechanicznych ulegają zmianie po zastosowaniu FR dla grupy mięśni kulszowo-goleniowych dominującej kończyny dolnej w obrębie poszczególnych grup badawczych (tj. czy występują istotne różnice wewnątrzgrupowe):

- miejscowo w obszarze interwencji
- ogólnoustrojowo, w oddaleniu od obszaru interwencji, ipsilateralnie
- ogólnoustrojowo, w oddaleniu od obszaru interwencji, kontralateralnie?

Hipoteza: Wartości parametrów biomechanicznych ulegną zmianie po zastosowaniu przynajmniej niektórych interwencji (RUCH i ROL) zarówno w miejscu ich aplikowania, jak i ogólnoustrojowo, w oddaleniu od obszaru interwencji.

2. Czy wartości ww. parametrów biomechanicznych wykazują zróżnicowanie zależne od czasu trwania interwencji (tj. czy występują istotne różnice

międzygrupowe pomiędzy grupami reprezentującymi kategorie zmiennej niezależnej: czas trwania interwencji (30 s vs. 120 s))?

Hipoteza: Wartości parametrów biomechanicznych wykażą zróżnicowanie zależne od czasu trwania interwencji.

3. Czy wartości ww. parametrów biomechanicznych wykazują zróżnicowanie zależne od czynnika terapeutycznego obecnego w interwencji (tj. czy występują istotne różnice międzygrupowe pomiędzy grupami reprezentującymi kategorie zmiennej niezależnej: czynnik terapeutyczny obecny w interwencji (SIAD vs. RUCH vs. ROL))?

Hipoteza: Wartości parametrów biomechanicznych wykażą zróżnicowanie zależne od czynnika terapeutycznego obecnego w interwencji (z większym efektem w grupach RUCH i ROL)

4. Czy wielkość zmian wartości ww. parametrów biomechanicznych wykazuje zróżnicowanie pomiędzy punktem aplikowania interwencji a punktami odległymi od niego?

Hipoteza: Zmiany wartości parametrów będą różne w różnych punktach (z większym efektem w punkcie aplikowania interwencji) przynajmniej po zastosowaniu niektórych interwencji (RUCH i ROL)

3. Materiał i metody

Badania zostały prowadzone w Laboratorium Analizy Ruchu Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach w okresie 11.2019 – 12.2021. Projekt został pozytywnie zaopiniowany przez Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach uchwałą nr 4/2019 z dnia 11 kwietnia 2019 roku. W trosce o zwiększenie transparentności badań eksperyment został zarejestrowany w Australian New Zealand Clinical Trial Registry (ANZCTR) dnia 30.11.2019, pod numerem: ACTRN12619001615178. Zastosowane procedury pozostawały w zgodności z postanowieniami nowelizacji Deklaracji Helsińskiej z 2013 roku.

3.1 Uczestnicy

Do badań rekrutowano mężczyzn w wieku 18-35 lat. Taki przedział wiekowy został dobrany przede wszystkim ze względu na typowe, związane z wiekiem procesy przeobrażenia tkanki mięśniowo-powięziowej, intensyfikujące się po przekroczeniu 35 roku życia. Autorzy badający parametry biomechaniczne z użyciem przyrządu MyotonPRO stosują ten przedział wiekowy dla grup określanych jako „młode” [2].

Zainteresowani ochotnicy, nie będący zawodowymi sportowcami, należący do wskazanego powyżej przedziału wiekowego na spotkaniu wstępnym otrzymywali kwestionariusze i ankiety kwalifikacyjne do badań. Określono następujące kryteria włączenia:

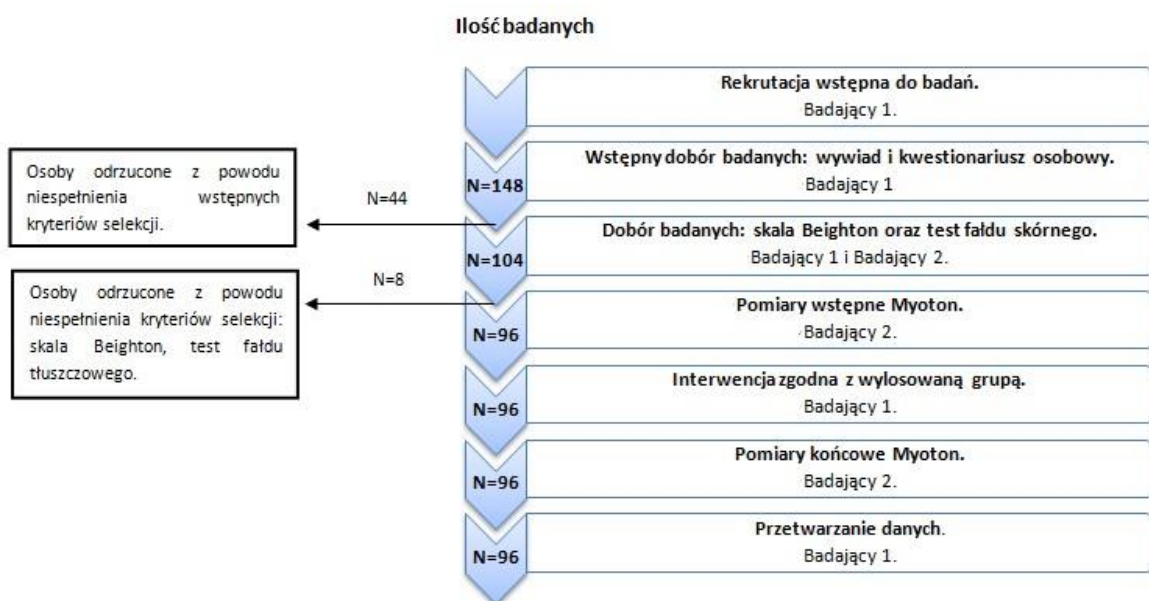
- Brak urazów wymagających hospitalizacji, interwencji terapeutycznej lub wykluczających z aktywności fizycznej na okres powyżej dwóch tygodni w ostatnim roku.
- Brak ogólnej hipermobilności – mniej niż 4/9 punktów według skali Beighton hypermobility score [39].
- Możliwość palpacji kolców biodrowych tylnych górnych.
- Brak zdiagnozowanych chorób mogących mieć wpływ na strukturę i funkcję tkanek miękkich [17]:
 - choroby autoimmunologiczne

- toczeń
 - reumatoidalne zapalenie stawów
 - sklerodermia
 - schorzenia psychiczne
 - mózgowo porażenie dziecięce
 - choroby tkanki łącznej (układowe zapalenie naczyń)
 - aktualne choroby zakaźne
 - osteoporoza
 - występowanie blizn/ zmian skórnych w obszarze badania
 - wady wrodzone
 - inne choroby, o których badający wie, że mogły wpłynąć na odczuwanie bolesności uciskowej lub stan tkanek miękkich.
- Wynik pomiaru grubości fałdu skórniego w punktach rejestracji parametrów biomechanicznych tkanek poniżej 35 mm.
 - Ilość snu w ciągu ostatnich 7 dni nieodbiegająca od typowej dla danego badanego.
 - Brak spożywania nadmiernej ilości (więcej niż określona subiektywnie przez badanego wartość przeciętna) kawy, napojów energetycznych oraz innych substancji stymulujących układ nerwowy w dniu badania.
 - Brak spożywania alkoholu w ciągu trzech dni poprzedzających badanie, z dniem badania włącznie.
 - Brak zabiegów termoterapii, odnowy biologicznej, masażów, terapii manualnej w ciągu 24 godzin poprzedzających badanie.
 - Brak regularnych aktywności związanych z zaawansowaną pracą w obrębie tkanki mięśniowo-powięziowej (joga, stretching statyczny, masaż, rolowanie, techniki terapeutyczne: rolfing, Fascial Distortion Model, Fascial Manipulation i inne) w ciągu ostatnich sześciu miesięcy.
 - Deklarowana umiarkowana aktywność fizyczna w ilości średnio 6-8 godzin tygodniowo.

- Brak zmian w codziennej aktywności fizycznej w ciągu siedmiu dni przed badaniem, które badany subiektywnie określał jako „istotne”.

Chęć wzięcia udziału w eksperymencie na wstępnym etapie rekrutacji wyraziło 148 osób. We wstępnej selekcji (wywiad i kwestionariusz osobowy) do badań zakwalifikowano 104 osoby. Kolejne osiem osób zostało wykluczonych w trakcie przeprowadzania wstępnych pomiarów (zbyt duży wynik w skali Beighton, zbyt duży wynik pomiaru fałdu skórniego). We właściwej części badań udział wzięło 96 osób. Strukturę badania przedstawiono na Rycinie 8.

Charakterystykę poszczególnych grup przedstawiono w Tabeli 1.



Rycina 8. Struktura badania. Po przeprowadzeniu rekrutacji do badań osoby zainteresowane wzięciem udziału w badaniach poddawane były procesowi doboru wstępnego opartego o wywiad oraz kwestionariusz osobowy (odrzucono 44 osoby). W dalszej kolejności następowała weryfikacja pozostałych kryteriów selekcji: testów hiper mobilności wg. skali Beighton oraz testów fałdu skórniego ewaluowanych za pomocą fałdomierza (odrzucono 8 osób). Osoby zakwalifikowane zostały poddane pomiarom wstępnym przyrządem MyotonPRO. Następnie Badający 2 opuszczał pomieszczenie, a Badający 1 nadzorował przeprowadzenie przez badanego interwencji zgodnej z losowym przydziałem. Po zakończeniu interwencji Badający 2 wracał do pomieszczenia i przeprowadzał pomiary końcowe. W ostatnim etapie badań Badający 1 wprowadzał dane zebrane za pomocą przyrządu MyotonPRO do komputera. Na tych etapach nie odrzucono żadnego z uczestników.

Tabela 1. Charakterystyka grup badawczych. W kolejnych kolumnach podane są wartości średnie \pm odchylenie standardowe. Zaprezentowano również poziomy istotności testów jednorodności grup (jednoczynnikowa analiza wariancji).

Zmienna	SIAD ₃₀ (n=16)	SIAD ₁₂₀ (n=16)	RUCH ₃₀ (n=16)	RUCH ₁₂₀ (n=16)	ROL ₃₀ (n=16)	ROL ₁₂₀ (n=16)	P
Wiek	25,40 ($\pm 4,64$)	24,71 ($\pm 4,45$)	25,36 ($\pm 3,82$)	24,29 ($\pm 3,44$)	24,19 ($\pm 3,89$)	24,41 ($\pm 5,23$)	0,95
Skala Beighton	1,73 ($\pm 1,22$)	1,65 ($\pm 1,11$)	1,5 ($\pm 1,02$)	1,59 ($\pm 1,23$)	1,25 ($\pm 1,13$)	1,24 ($\pm 1,15$)	0,75

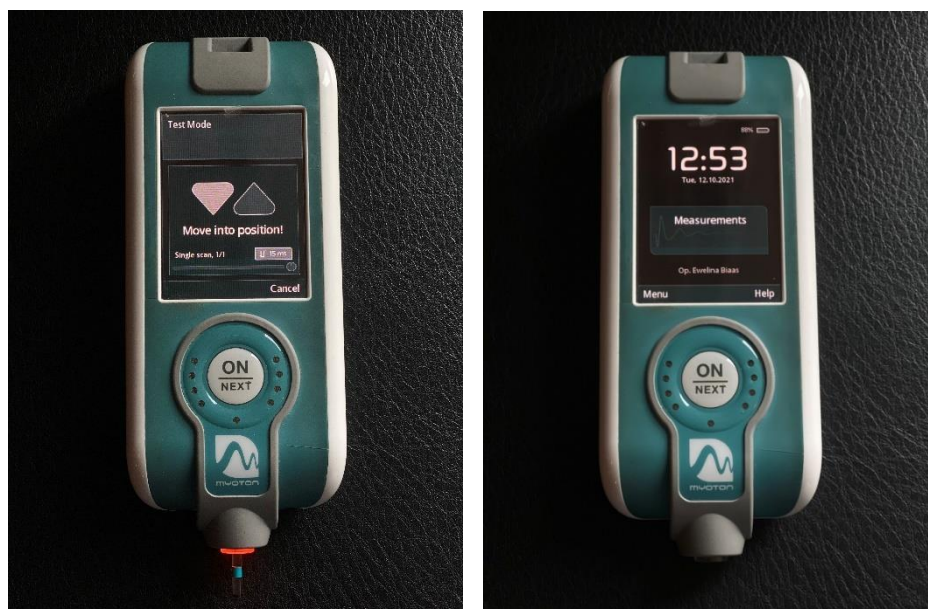
Masa ciała [kG]	85,80 (±8,34)	78,67 (±1,15)	79 (±1,41)	86,50 (±8,41)	93,5 (±9,98)	80 (±9,35)	0,75
Wysokość ciała [cm]	181,75 (±8,26)	180,33 (±0,58)	180,5 (±0,7)	183,33 (±3,21)	178,5 (±7,19)	185,8 (±2,59)	0,23
BMI [kG/m ²]	25,83 (±0,23)	24,25 (±0,62)	24,25 (±3,81)	25,78 (±3,06)	26,16 (±1,91)	23,13 (±2,04)	0,23

Legenda 1: SIAD₃₀ – interwencja polegająca na utrzymywaniu siadu prostego przez 30 sekund; SIAD₁₂₀ – interwencja polegająca na utrzymywaniu siadu prostego przez 120 sekund; RUCH₃₀ – interwencja polegająca na imitowaniu rolowania mięśni kulszowo-goleniowych bez użycia wałka przez 30 sekund; RUCH₁₂₀ – interwencja polegająca na imitowaniu rolowania mięśni kulszowo-goleniowych bez użycia wałka przez 120 sekund; ROL₃₀ – interwencja polegająca na rolowaniu mięśni kulszowo-goleniowych przez 30 sekund; ROL₁₂₀ – interwencja polegająca na rolowaniu mięśni kulszowo-goleniowych przez 120 sekund.

3.2 Narzędzia i procedury pomiarowe

3.2.1 Narzędzie pomiarowe - MyotonPRO

Zyskująca na popularności w XXI wieku miometria wyróżnia się wśród innych technik pomiarowych swoim brakiem inwazyjności, wysoką wiarygodnością, a także niskimi kosztami [37]. MyotonPRO (Myoton AS, Tallinn, Estonia) (Fotografia 1) jest przykładem urządzenia używanego w miometrii, służącym do pomiarów parametrów biomechanicznych tkanek powierzchniowych, zarówno do celów klinicznych, jak i naukowych. O jego dużej wszechstronności świadczą liczne badania wykonane u osób zdrowych [38], w tym także po treningu oporowym [24], wśród sportowców [21], wśród osób dotkniętych chorobą Parkinsona [33] lub po udarze mózgu [13], a nawet u badanych przebywających w warunkach zmniejszonej grawitacji [3].

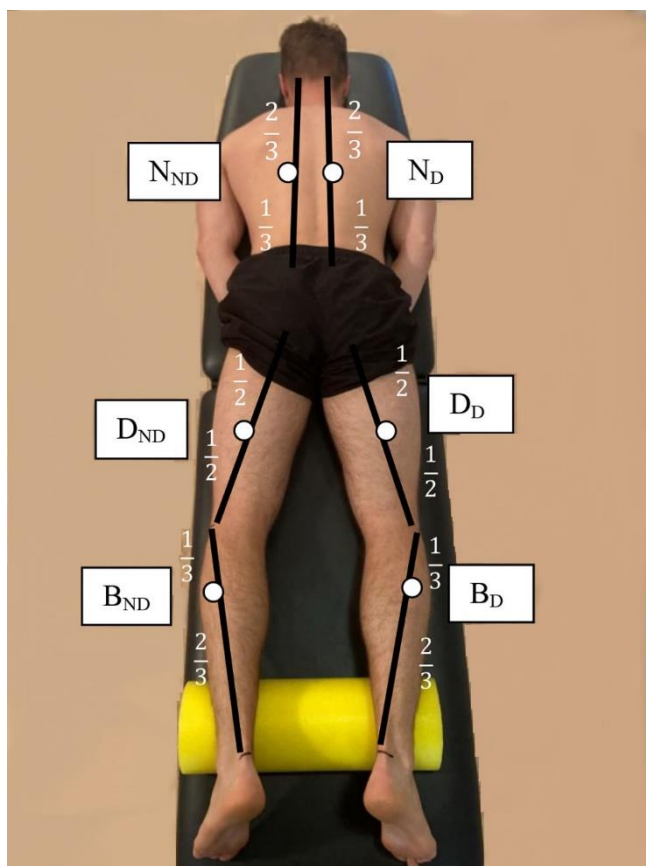


Fotografia 1. Przyrząd pomiarowy MyotonPRO (Myoton AS, Tallinn, Estonia). Źródło: materiał własny.

W pomiarach sztywności mięśni kończyn dolnych wykazano istnienie średnich i silnych, dodatnich korelacji ($r = 0,42-0,67$) pomiędzy wynikami miometrii z użyciem przyrządu MyotonPRO a wynikami elastografii [29]. Inny zespół uzyskał podobne rezultaty dla mięśnia brzuchatego łydki ($r = 0,46-0,54$), informując równocześnie o dobrej/doskonałej wiarygodności miometrii ($ICC_{3,1} = 0,79-0,93$)[18]. W porównaniu z tensomiografią, miometria z użyciem przyrządu MyotonPRO wykazała także większą wiarygodność w powtarzanych pomiarach parametrów biomechanicznych tkanek, przy różnym stopniu wydłużenia mięśnia dwugłowego uda w spoczynku [16].

3.2.2 Punkty pomiarowe

Punkty pomiarowe wyznaczono na kończynach dolnych i dolnej części tułowia osoby badanej, symetrycznie po obu stronach ciała. Odbywało się to w pozycji leżenia przodem na kozetce (Fotografia 2). W literaturze najczęściej opisywane są pomiary miometryczne w $\frac{1}{2}$ i $\frac{1}{3}$ długości mięśnia mierzonego od przyczepu początkowego do przyczepu końcowego, a ostatnie badania wskazują, że parametry mierzone w obrębie różnych punktów w osi długiej jednego mięśnia różnią się od siebie w sposób istotny [34].



Fotografia 2. Punkty pomiarowe oznaczone do pomiarów przyrządem MyotonPRO wraz z opisem ich położenia przestrzennego. (B_D) – punkt w obrębie głowy bocznej mięśnia brzuchatego łydki w kończynie dominującej; (B_{ND}) – punkt w obrębie głowy bocznej mięśnia brzuchatego łydki w kończynie niedominującej; (D_D) – punkt w obrębie głowy długiej mięśnia dwugłowego uda w kończynie dominującej; (D_{ND}) – punkt w obrębie głowy długiej mięśnia dwugłowego uda w kończynie niedominującej; (N_D) – punkt w obrębie mięśnia najdłuższego po stronie kończyny dolnej dominującej; (N_{ND}) – punkt w obrębie mięśnia najdłuższego po stronie kończyny dolnej niedominującej. Źródło: materiał własny.

Pierwszy punkt zlokalizowany był w górnej $\frac{1}{3}$ odległości od dolnej krawędzi głowy kości strzałkowej do miejsca przecięcia centralnej linii ścięgna Achillesa oraz linii łączącej dolne krawędzie kostek. Znajdował się on w obrębie głowy bocznej mięśnia brzuchatego łydki w kończynie dominującej (B_D) i niedominującej (B_{ND}). Drugi punkt znajdował się w $\frac{1}{2}$ odległości pomiędzy górną krawędzią głowy kości strzałkowej, a dolną krawędzią guza kulszowego. Leżał on w obrębie głowy długiej mięśnia dwugłowego uda w kończynie dominującej (D_D) i niedominującej (D_{ND}). Trzeci punkt zlokalizowany był w dolnej $\frac{1}{3}$ odległości pomiędzy górną krawędzią kolca biodrowego tylnego górnego, a dolną krawędzią guzowatości potylicznej zewnętrznej. Znajdował się on w obrębie mięśnia najdłuższego po stronie kończyny dolnej dominującej (N_D) i niedominującej (N_{ND}).

3.2.3 Procedura pomiaru

Pomiar parametrów biomechanicznych poprzedzał krótki instruktaż ze strony badającego, który jeszcze raz objaśniał badanemu procedurę pomiarową. Po przyłożeniu narzędzia do skóry osoby badanej pod kątem prostym w wyznaczonych uprzednio punktach, na ekranie wyświetlały się komunikaty o koniecznej korekcie położenia MyotonPRO względem powierzchni skóry. Następnie, wystający element ruchomy w postaci cylindrycznej, poliwęglanowej iglicy z płaskim zakończeniem o średnicy 3 mm aplikował na skórę obciążenie wstępne o wielkości 0,18 N. Z opóźnieniem wynoszącym 0,7 s od momentu ustabilizowania pozycji narzędzia generował on bodziec mechaniczny przesyłany do powierzchniowych tkanek mięśniowo-powięziowych. W efekcie tego szybkiego (15 ms) przyłożenia siły o wielkości 0,4 N, nie powodującej żadnych uszkodzeń ani reakcji odruchowych ze strony układu nerwowego, dochodziło do chwilowej deformacji tkanki, a następnie do wywołania jej oscylacji rejestrowanych za pomocą wbudowanego akcelerometru (częstotliwość próbkowania 3200 Hz). Uzyskane w ten sposób dane służyły do wyznaczania parametrów biomechanicznych tkanki mięśniowo-powięziowej.

Rejestracja następowała każdorazowo na szczycie wydechu, przy czym osoba badająca nie prowadziła pomiarów w kolejnych, następujących po sobie cyklach oddechowych, dając badanemu przestrzeń na wykonanie kilku normalnych oddechów. Pomiar wykonywany był trzykrotnie w każdym z wyznaczonych punktów.

3.2.4 Analizowane parametry biomechaniczne

Przetworzony przez urządzenie MyotonPRO sygnał przedstawiony jest w postaci wykresów zakresu tłumionej oscylacji tkanki, prędkości jej przemieszczania się oraz przyśpieszenia (Rycina 9). Analiza przebiegu uzyskanych krzywych pozwala na określenie wartości parametrów biomechanicznych charakteryzujących tkankę mięśniowo-powięziową, co stanowi metodę pośredniego wyznaczenia niektórych wielkości fizycznych, opisanych we wstępie do niniejszej pracy (tj. sztywności, sprężystości, itd.), opracowaną przez producenta [5]. Uzyskane w pomiarze parametry to:

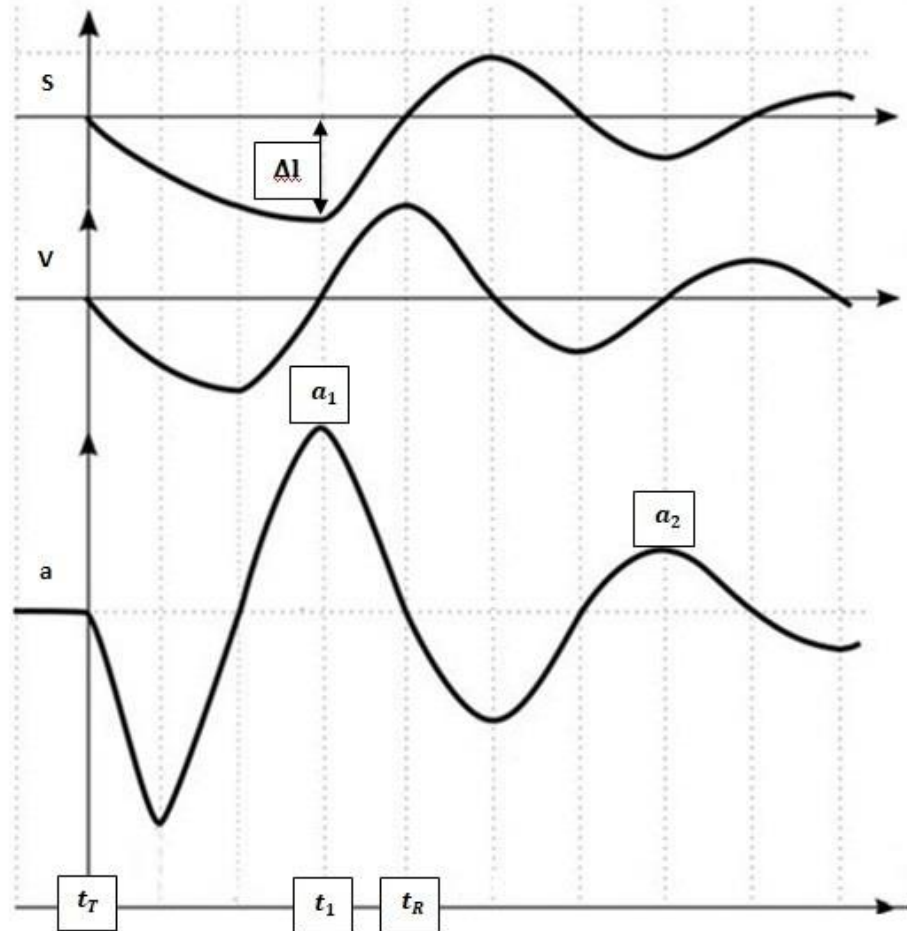
Częstotliwość oscylacji (CZ) [Hz] – wskazuje na poziom tonusu mięśniowego rozumianego zgodnie z definicją podaną we wprowadzeniu jako rezydualny poziom aktywności mięśniowej wywołany podświadomym pobudzeniem niewielkiej liczby jednostek motorycznych bez zaangażowania kory ruchowej. Wyższa wartość tego parametru oznacza wyższy poziom tonusu.

Sztywność (SZ) [N/m] – opisuje sztywność jako iloraz wielkości przyłożonej siły (iloczyn przyśpieszenia w momencie osiągnięcia największego odkształcenia (a_1 na Rycinie 9) i masy iglicy (m)) do maksymalnego zakresu odkształcenia tkanki (Δl). Wyższa wartość tego parametru oznacza większą sztywność.

Tłumienie (T) [bez jednostki] – opisuje w sposób pośredni sprężystość tkanki, wykorzystując wskaźnik logarytmicznego dekrementu tłumienia – wartości zmniejszenia amplitudy przyśpieszenia osiąganego w kolejnych cyklach oscylacji, tj. stosunku maksymalnego dodatniego przyspieszenia uzyskanego w pierwszym (a_1 na Rycinie 9) i drugim (a_2) cyklu oscylacji. Wyższa wartość tego parametru oznacza mniejszą sprężystość, ponieważ pomiędzy tymi zmiennymi istnieje relacja odwrotnej proporcjonalności.

Liczba Debory (De) [bez jednostki] – opisuje stosunek czasu zanikania deformacji tkanki ($t_r - t_1$ na Rycinie 11, gdzie t_r – czas zaniku deformacji po osiągnięciu maksymalnej deformacji, t_1 – czas osiągnięcia maksymalnej deformacji) do czasu jej powstawania ($t_1 - t_t$, gdzie t_1 – czas osiągnięcia maksymalnej deformacji, t_t – czas rozpoczęcia impulsu mechanicznego powodującego deformację). Zgodnie z interpretacją tego parametru przytoczoną we Wstępie, większa wartość (mieszcząca się w przedziale $(1, \infty)$) charakteryzuje ciała o dużych

wewnętrznych oporach przeciwko odkształceniom (bardzo lepkie ciecze, roztwory, zawiesiny, materiały amorficzne, plastyczne ciała stałe), wartość z przedziału (0, 1) jest charakterystyczna dla cieczy, natomiast wartość ≈ 1 – dla ciał i płynów lepkościowych.



Częstotliwość oscylacji [Hz]:

$$CZ = CZ_{max}$$

gdzie:

CZ – częstotliwość oscylacji tkanki

CZ_{max} – maksymalna zarejestrowana częstotliwość oscylacji tkanki

Tłumienie:

$$T = \ln a_1/a_2$$

gdzie:

T – tłumienie

a_1 – maksymalne dodatnie przyśpieszenie w pierwszym cyklu oscylacji

a_2 – maksymalne dodatnie przyśpieszenie w drugim cyklu oscylacji

Sztywność [N/m]:

$$SZ = (a_1 \times m) / \Delta l$$

gdzie:

SZ – sztywność

a_1 – przyśpieszenie w momencie największego odkształcenia tkanki

m – masa iglicy

Liczba Debory:

$$De = \frac{t_R - t_1}{t_1 - t_T}$$

gdzie:

De – liczba Debory

t_R – czas zaniku deformacji po osiągnięciu maksymalnej deformacji

t_1 – czas osiągnięcia maksymalnej deformacji

t_T – czas rozpoczęcia impulsu mechanicznego powodującego deformację

Rycina 9. W wyniku działania bodźca mechanicznego, tkanka mięśniowo-powięziowa reaguje natychmiastowo wchodząc w stan oscylacji rejestrowanych za pomocą akcelerometru przyrządu pomiarowego Myoton PRO. Kolejne krzywe przedstawiają: S – zakres oscylacji tkanki [mm], V – prędkość przemieszczenia tkanki [m/s], a – przyspieszenie tkanki [mG]. t – czas [ms], t_R – moment zaniku deformacji po osiągnięciu maksymalnej deformacji, t_1 – moment osiągnięcia maksymalnej deformacji, t_T – moment rozpoczęcia impulsu mechanicznego powodującego deformację, a_1 , a_2 – przyspieszenia w kolejnych dodatnich maksimach. Źródło: częściowo wg MyotonPRO Digital Palpation Device User Manual, 2020, str. 106.

3.2.5 Interwencja eksperymentalna

We właściwej części badań następującej po pierwszych pomiarach osoby badane poddawane były jednej z sześciu interwencji. W grupie SIAD₃₀ był nią siad prosty na kozetce trwający 30 sekund. Badany, który wylosował tę grupę przybierał opisaną pozycję na komendę „start” i utrzymywał ją aż do zakończenia czasu interwencji (Fotografia 3). W grupie SIAD₁₂₀ analogiczne postępowanie trwało 120 sekund.



Fotografia 3. Pozycja ciała osoby badanej w trakcie interwencji siadu prostego przez trzydzieści (SIAD₃₀) lub sto dwadzieścia (SIAD₁₂₀) sekund. Źródło: materiał własny.

W kolejnej z grup RUCH₃₀ osoba badana w ramach interwencji przesuwiała swoje ciało w przód i w tył przez trzydzieści sekund, tak jak ma to miejsce podczas rolowania mięśni kulszowo-goleniowych, jednak bez użycia wałka do rolowania. Ruchy pozorowanego rolowania były wykorzystywane także w grupie RUCH₁₂₀ z tym, że czas interwencji wynosił w niej 120 sekund. Tarcie ciała osoby badanej o podłoże zminimalizowane było poprzez założenie długich spodni oraz nałożenie na nie długich skarpet (Fotografia 4). Punkty stykowe ciała z podłożem znajdowały się

na guzie piętowym, w obrębie brzuśca mięśnia brzuchatego oraz grupy mięśni kulszowo-goleniowych, a także na guzie kulszowym po stronie rolowanej.

W grupie ROL₃₀ oraz ROL₁₂₀ osoby badane zostały poddane interwencji rolowania grupy mięśni kulszowo-goleniowych w kończynie dolnej dominującej, odpowiednio przez 30 i 120 sekund. Dwie, skrajne wartości parametru czasu rolowania spośród tych używanych najczęściej przez autorów zostały wybrane na podstawie własnego przeglądu literatury [15]. Badany wspierając się dłońmi o podłoże w pozycji siadu prostego opierał na komendę ciężar swojego ciała na wałku podłożonym pod wspomnianą grupę mięśni (Fotografia 5). Następnie prowadził swoje ciało na wałku w ten sposób, żeby pokonywał on płynnie, wzdłuż mięśni, dystans od guza kulszowego do dołu podkolanowego, tam i z powrotem. Rolowanie było przeprowadzane z użyciem twardego, gładkiego wałka marki Physioroll® o wymiarach 31x16 cm i średnicy 15 cm, objętego normami jakości (ISO 9001:2009 / ISO 14001:2005). Autorzy rzadko podają wartości parametrów mechanicznych narzędzi, w większości zrobionych z polistyrenowej pianki często osadzonej na twardym, pustym rdzeniu, jednak dzielą je na miękkie (bez rdzenia), średnie i twarde lub ze względu na rodzaj powierzchni na gładkie lub karbowane. Wpływ twardości, siły docisku i kształtu wałka na uzyskane rezultaty jest przedmiotem badań. Jedni faworyzują twarde [11, 14] lub karbowane [12] wałki, inni wskazują na brak różnic niezależnie od stosowanego narzędzia [1, 44], a nawet intensywności docisku (mierzonej za pomocą skali dyskomfortu odczuwanego przez badanego) [22].



Fotografia 4. Pozycja ciała osoby badanej w trakcie interwencji przesuwania ciała bez użycia wałka trzydziści (RUCH₃₀), lub sto dwadzieścia (RUCH₁₂₀) sekund. Osoba badana w ramach interwencji przesuwiała swoje ciało w przód i w tył tak jak ma to miejsce podczas rolowania mięśni kulszowo-goleniowych. Źródło: materiał własny.

W swoich pracach autorzy zwykle nie podają prędkości rolowania, natomiast używane przez nich tempo jest bardzo zróżnicowane i nie posiada wartości referencyjnych. W celu kontroli tempa wykonania wszystkie interwencje prowadzone były z użyciem metronomu ustawionego na 60 uderzeń na minutę. Ruch wykonywany zarówno w grupie RUCH, jak i ROL, odbywał się z tą samą częstotliwością tj. 125 mHz. Pojedynczy cykl ruchu (wychylenie ciała do przodu i powrót) trwał osiem sekund (cztery sekundy w jedną stronę), tak więc w grupach trzydziestosekundowych badani wykonywali 3,75 cykli, natomiast w grupach studwudziestosekundowych 15 cykli. W przeliczeniu na używane często w literaturze wartości uderzeń na minutę (ang. beats per minute – *bpm*), pojedynczy ruch rolowania w jedną stronę wykonywany był w tempie 15 *bpm*. Takie tempo można określić jako powolne i używane jest w literaturze rzadziej [15], jednak

autorzy zdecydowali się na nie przez wzgląd na chęć zbadania reakcji tkanek na bardziej statyczne obciążenie.



Fotografia 5. Pozycja ciała osoby badanej w trakcie interwencji przesuwania ciała po wałku (rolowania) przez 30 (FR_{30}) i 120 sekund (FR_{120}). Badany zapierając się dłońmi o podłogę w pozycji początkowej siadu prostego opierał na komendę ciężar swojego ciała na wałku podkładając go wcześniej pod grupę mięśni kulszowo-goleniowych kończyny dolnej dominującej. Następnie prowadził swoje ciało na wałku w ten sposób, żeby wałek pokonywał dystans od guza kulszowego do dołu podkolanowego i z powrotem. Źródło: materiał własny.

3.3 Przebieg badań

Przed rekrutacją oszacowano minimalne wymagane liczebności grup na podstawie wyników badania pilotażowego dla mocy testu $(1-\beta) = 0,15$, poziomu istotności $P = 0,05$, zakładanej wielkości efektu $f = 0,15$, ilości grup = 6, ilości pomiarów = 2, ilości zmiennych zależnych = 5. Zakładana wielkość efektu została oszacowana na podstawie dostępnej literatury [8] oraz subiektywnie określona przez autora pracy jako minimalna różnica posiadająca znaczenie praktyczne. Estymacja była przeprowadzana z użyciem programu G*Power 3.1.9.2 (Uniwersytet Heinricha Heinego, Düsseldorf, Niemcy). Rekrutacja do badań odbywała się słownie i elektronicznie (za pomocą mediów społecznościowych) na podstawie kryteriów wieku i płci. W dalszej kolejności ochotnicy zapraszani byli na spotkanie, gdzie otrzymywali informacje na temat celu, struktury i przebiegu badań, oraz niezbędny słowny instruktaż w zakresie rozluźniania mięśniowo-

powięziowego za pomocą wałka do rolowania. Na tym etapie weryfikowano też dalsze kryteria selekcji za pomocą kwestionariuszy oceniających historię zdrowotną oraz innych testów, a finalnie od zakwalifikowanych osób uzyskiwano zgodę na wykonanie badań i wdrażano procedurę randomizacji.

W grupie wspomnianych wyżej innych testów znalazła się Skala Hiper mobilności Beighton (ang. *Beighton hypermobility score*). Jest to bateria prób nakierowana na wykrywanie objawów uogólnionej hiper mobilności stawów, która może być związana z genetycznymi zaburzeniami w strukturze kolagenu [23] i mogłaby negatywnie wpłynąć na wiarygodność badań. Uzyskanie wyniku ≥ 4 wykluczało ochotnika z udziału w dalszych procedurach [7].

W dalszej kolejności przeprowadzano test dominującej u badanego kończyny dolnej. Składał się on z trzech kolejno wykonywanych prób: 1) deklaracji pisemnej – kończyną dominującą określano kończynę wskazaną przez osobę badaną w kwestionariuszu; 2) testu wejścia na krzesło – kończyną dominującą określano kończynę przeniesioną na krzesło jako pierwszą; 3) testu kopnięcia – kończyną dominującą określano kończynę użytą do kopnięcia wskazanego przedmiotu. Za dominującą uznawano kończynę określoną jako taką w co najmniej dwóch z trzech prób.

Ostatnim z testów był test grubości fałdu skórniego wykonywany w każdym z punktów pomiarowych w celu zapobieżenia błędom pomiarowym, mogącym wynikać z nadmiernej ilości powierzchniowej tkanki tłuszczowej [6, 37]. Pomiar przeprowadzany był najpierw trzykrotnie dla trzech z sześciu (po stronie kończyny dolnej dominującej) oznaczonych punktów w pozycji swobodnego leżenia przodem. W przypadku zbliżenia się do granicy wyznaczonej przez kryteria selekcji, pomiary powtarzano także po stronie kończyny niedominującej. Z uwagi na fakt, iż MyotonPRO wykonuje wiarygodny pomiar przy grubości podskórnej tkanki tłuszczowej do 2 cm [45], za krytyczne uznano wskazanie fałdomierza o wartości 3,5 cm (tj. podwójna, dopuszczalna grubość warstwy tłuszczu (na fałd skórny składają się dwie takie warstwy) minus 0,5 cm „margines bezpieczeństwa”).

Badania odbywały się w Laboratorium Analizy Ruchu, w zbliżonych godzinach, temperaturze i przy znikomym poziomie hałasu. W celu ograniczenia czynników zakłócających przebieg badań wszystkie okna w pomieszczeniu pozostawały zasłonięte. Na ciele badanego oznaczano punkty pomiarowe, a następnie przeprowadzane były wyjściowe pomiary parametrów

biomechanicznych (pomiar 1) (Fotografia 2). Po ich zakończeniu osoba wykonująca pomiary opuszczała pomieszczenie, a osoba badana poddawana była interwencji zgodnie z planem dla danej grupy badawczej. Po zakończeniu interwencji osoba wykonująca pomiary powracała do pomieszczenia, by wykonać pomiar końcowy parametrów biomechanicznych (pomiar 2). Czas od pomiaru wyjściowego do interwencji oraz od interwencji do pomiaru końcowego był zbliżony i wynosił od 1 do 2 minut. Wartość ta nie była związana z konkretnymi założeniami lecz stanowiła najkrótszy czas potrzebny do przygotowania kolejnego etapu badań bez szkody dla porządku badań. W celu zachowania jednolitej kolejności poszczególnych etapów, badanie przeprowadzane było z pomocą roboczego protokołu w formie checklisty.

3.4 Wiarygodność pomiarów

Przed rozpoczęciem badań docelowych dokonano oceny wiarygodności pomiarów z użyciem przyrządu MyotonPRO przez jednego badacza na grupie 34 ochotników. W tym celu obliczono wielkość współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ($ICC_{3,1}$) dla uśrednionego wyniku trzech pomiarów przeprowadzanych na dominującej kończynie dolnej wraz z 95% przedziałem ufności (ang. *confidence interval* (CI)), standardowym błędem pomiaru (ang. *standard error of measurement* (SEM) = $\text{odchylenie standardowe} \times \sqrt{1 - ICC}$) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (ang. *smallest detectable difference* (SDD) = $1,96 \times SEM \times \sqrt{2}$). Dokładne wartości ICC dla poszczególnych parametrów znajdują się w Tabeli 2. Bazując na otrzymanych wartościach współczynnika ICC, przyporządkowano im poszczególne poziomy wiarygodności: <0,5 słaby, 0,5-0,75 umiarkowany, 0,75-0,90 dobry, > 0,9 doskonały [27].

Tabela 2. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej $ICC_{3,1}$ wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD) dla oceny parametrów biomechanicznych tkanki mięśniowo powięziowej. B – mięsień brzuchaty łydki; D – mięsień dwugłowy uda; N – mięsień najdłuższy; CZ – częstotliwość oscylacji; T – tłumienie; SZ – sztywność; De – liczba Debory.

Punkt	Parametr	ICC ± 95%CI	SEM	SDD
	CZ	0,63 (0,37-0,80)	0,25 Hz	0,69 Hz
	T	0,92 (0,84-0,86)	0,03	0,1
	SZ	0,88 (0,78-0,94)	3,96 N/m	10,97 N/m
B	De	0,84 (0,70-0,92)	0,01	0,04

D	CZ	0,86 (0,72-0,93)	0,28 Hz	0,79 Hz
	T	0,85 (0,70-0,90)	0,05	0,13
	SZ	0,92 (0,84-0,96)	6,96 N/m	19,29 N/m
	De	0,94 (0,89-0,97)	0,02	0,06
N	CZ	0,97 (0,91-0,99)	0,21 Hz	0,61 Hz
	T	0,97 (0,94-0,98)	0,03	0,08
	SZ	0,96 (0,90-0,98)	5,81 N/m	16,10 N/m
	De	0,94 (0,82-0,98)	0,13	0,36

3.5 Przetwarzanie danych

Po przeprowadzeniu pomiarów za pomocą urządzenia MyotonPRO, narzędzie było przekazywane osobie odpowiedzialnej za transmisję danych z urządzenia do komputera, a następnie ich przetworzenie ze standardowego formatu pliku excell do arkusza Statistica. Arkusz Statistica zawierał uporządkowaną bazę danych, w której kolejne osoby badane przypisane były do kolejnych wierszy, a parametry objęte pomiarem do kolejnych kolumn. Te same procedury dotyczyły badania wyjściowego jak i badania końcowego. Trzy powtarzane pomiary poszczególnych parametrów biomechanicznych tkanek dla każdego z punktów pomiarowych były następnie uśredniane tak, że dla każdego punktu otrzymywano finalnie jedną wartość.

3.6 Analiza statystyczna

Uzyskane dane zostały wykorzystane w analizie statystycznej z użyciem oprogramowania Microsoft Excel 2007 (Microsoft Inc., USA), Statistica 10 (Statistica Software Incorporated, St. Tulsa, USA), SPSS (IBM Company, Armonk, USA) oraz PSCP (Free Software Foundation, Inc., USA).

W celu określenia wiarygodności podczas badań właściwych zastosowano współczynnik korelacji wewnątrzklasowej, model ICC_{3,1}, obliczono również SEM oraz SDD.

W celu przeprowadzenia wielowymiarowej analizy wariancji (ang. *multivariate analysis of variance* – MANOVA) oraz podążających za nią analiz jednowymiarowych (ang. *analysis of variance* – ANOVA), w pierwszej kolejności zweryfikowano założenia tego modelu statystycznego za pomocą testu Shapiro-Wilka (odchylenia rozkładów rzeczywistych badanych zmiennych od rozkładu normalnego), testu Levene'a (jednorodności wariancji) oraz testu M-Box'a (równości macierzy wariancji/kowariancji). Niewielkie odchylenia od rozkładu normalnego (zdefiniowane jako występujące w przypadku nie więcej niż trzech

spośród podanych parametrów) ignorowano, powołując się na odporność modeli MANOVA/ANOVA na nieznaczące odstępstwa od normalności rozkładu oraz równości wariancji przy zachowaniu równej liczebności wszystkich grup badawczych [41].

Wymiarami w wielowymiarowym układzie MANOVA były wszystkie z analizowanych parametrów biomechanicznych tkanek, tj: CZ, T, SZ oraz De. Czynniki w każdym jednowymiarowym układzie ANOVA były kolejno INTERWENCJA (trzy poziomy: SIAD, RUCH, ROL), CZAS (dwa poziomy: 30 sekund oraz 120 sekund) oraz POMIAR (dwa poziomy: wyjściowy (1) oraz końcowy (2)). W obrębie poszczególnych jednowymiarowych układów ANOVA, analizie poddawano następujące interakcje jego czynników: POMIAR *INTERWENCJA, POMIAR *CZAS oraz POMIAR*INTERWENCJA*CZAS. Efekty główne oraz pozostałe interakcje pominięto, jako nieposiadające związku z pytaniami badawczymi.

Dla zweryfikowania hipotezy o obecności istotnych różnic w modelu MANOVA użyto konserwatywnego testu Pillai-Barletta, który również jest bardziej odporny na niespełnienie założeń modelu. W przypadku uzyskania istotnego wyniku tego testu przeprowadzono w dalszej kolejności jednowymiarowy model ANOVA, a następnie (w przypadku uzyskania istotnego wyniku układu ANOVA) test *post hoc* Tukeya. Uzyskując na którymkolwiek z etapów wyniki nieistotne statystycznie, analizę przerywano.

Na ostatnim etapie analizy przeprowadzono jednowymiarową ANOVA dla wykazania różnic w wielkości zmian wartości ocenianych parametrów biomechanicznych (wartość w badaniu końcowym minus wartość w badaniu wyjściowym, tzw. delta) pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi. Miało to na celu weryfikację hipotez o istnieniu ogólnoustrojowych wpływów zastosowanych interwencji eksperymentalnych.

Za krytyczny poziom istotności przyjęto $P \leq 0,05$.

4. Wyniki

W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione wyniki testów statystycznych kolejno dla każdego z punktów pomiarowych. W pierwszej kolejności prezentowana będzie ocena wiarygodności przeprowadzona bezpośrednio w trakcie właściwych badań (wyniki oceny wiarygodności pomiarów w badaniach pilotażowych przedstawiono w poprzednim rozdziale), następnie – statystyki opisowe dla każdego z objętych pomiarem parametrów biomechanicznych tkanek, wyniki weryfikacji założeń modelu MANOVA, a w końcu wyniki dotyczące istotności różnic pomiędzy grupami/badaniami uzyskiwane na kolejnych etapach tego modelu.

W drugiej części rozdziału pojawi się czytelne podsumowanie wyników wraz z końcową analizą różnic wartości parametrów biomechanicznych tkanek pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi.

4.1 Punkt B_D – mięsień brzuchaty łydki, kończyna dominująca

4.1.1 Wiarygodność

Wyniki oceny wiarygodności pomiarów bezpośrednio w trakcie właściwych badań dla jednej osoby badającej z użyciem współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} (z wykorzystaniem nieuśrednianych wartości trzech powtarzanych pomiarów) dla punktu B_D przedstawiono w Tabeli 3. Odnotowano wyniki od dobrych (dla parametru T) do doskonałych (pozostałe parametry).

Tabela 3. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD) dla oceny zmiennych zależnych uzyskane bezpośrednio w badaniach właściwych dla punktu pomiarowego B_D. CZ – częstotliwość oscylacji; T – tłumienie; SZ – sztywność; De – liczba Debory.

Parametr	ICC _{3,1} ± 95%CI	SEM	SDD
CZ	0,91(0,88-0,93)	0,52 Hz	1,45 Hz
T	0,90(0,87-0,92)	0,08	0,22
SZ	0,94(0,92-0,95)	9,07 N/m	25,14 N/m
De	0,94(0,93-0,96)	0,03	0,09

4.1.2 Statystyki opisowe

Podstawowe statystyki opisowe ocenianych parametrów biomechanicznych tkanek w punkcie B_D dla wszystkich grup badawczych przedstawiono w Tabeli 4. Wartości średnie parametrów w badaniu wyjściowym i końcowym są do siebie zbliżone w obrębie każdej z grup. Warto odnotować, że parametrem, który

najczęściej zwiększał wartość w badaniu końcowym w porównaniu do badania wyjściowego był parametr CZ (wzrost wartości parametru dla grup SIAD30, ROL30, RUCH120 i ROL120). Kolejną zaobserwowaną zależnością jest zmniejszenie wartości parametru SZ w badaniu końcowym w obu grupach RUCH (z 314,31 N/m do 310,06 N/m w grupie RUCH30 oraz z 327,73 N/m do 325,40 N/m w grupie RUCH120). Wartość średnia parametru De pozostawała praktycznie niezmienna. Największa zmiana w przypadku tego parametru została odnotowana dla grupy ROL30 (zmniejszenie z 1,13 do 1,10).

Tabela 4. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) zmiennych zależnych dla punktu pomiarowego B_D (n=96). CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory; 1 – pomiar wyjściowy; 2 – pomiar końcowy.

Parametr	Grupa					
	SIAD30	RUCH30	ROL30	SIAD120	RUCH120	ROL120
CZ1 (Hz)	17,63 \pm 1,48	17,39 \pm 1,58	17,31 \pm 1,91	17,64 \pm 2,06	18,35 \pm 1,32	16,83 \pm 1,56
	(14,73-20,60)	(14,87-21,07)	(14,67-21,53)	(15,17-22,53)	(15,07-20,27)	(14,10-20)
CZ2 (Hz)	17,95 \pm 1,64	17,38 \pm 1,43	17,32 \pm 1,74	17,64 \pm 1,68	18,49 \pm 1,43	16,97 \pm 1,74
	(15,07-21,83)	(15,10-20,77)	(14,60-20,27)	(15,83-21,80)	(15,87-20,13)	(14,27-20,57)
T1	1,50 \pm 0,23	1,43 \pm 0,22	1,32 \pm 0,19	1,29 \pm 0,19	1,36 \pm 0,28	1,40 \pm 0,17
	(1,09-2,01)	(1,01-1,89)	(1,01-1,69)	(1,02-1,70)	(0,80-1,89)	(1,18-1,72)
T2	1,54 \pm 0,21	1,46 \pm 0,24	1,32 \pm 0,21	1,33 \pm 0,19	1,35 \pm 0,28	1,41 \pm 0,21
	(1,15-2,02)	(1-1,92)	(0,96-1,71)	(0,92-1,65)	(0,82-1,93)	(1,10-1,83)
SZ1 (N/m)	313,00 \pm 23,11	314,31 \pm 29,89	306,88 \pm 48,06	311,92 \pm 52,49	327,73 \pm 30,00	297,71 \pm 35,54
	(280,00-360,00)	(257,33-387,33)	(242,67-435)	(241,33-466)	(287-389,33)	(253,33-374)
SZ2 (N/m)	314,04 \pm 25,12	310,06 \pm 28,67	306,94 \pm 40,80	310,54 \pm 40,09	325,40 \pm 27,82	299,85 \pm 38,00
	(285,00-367,33)	(253,33-375,00)	(244,67-380,33)	(251,67-406,67)	(288,00-384,00)	(255,67-395,33)
De1	1,11 \pm 0,09	1,12 \pm 0,11	1,13 \pm 0,15	1,10 \pm 0,15	1,05 \pm 0,10	1,17 \pm 0,12
	(0,93-1,24)	(0,89-1,28)	(0,79-1,36)	(0,73-1,38)	(0,88-1,29)	(0,90-1,33)
De2	1,11 \pm 0,09	1,12 \pm 0,11	1,10 \pm 0,15	1,10 \pm 0,12	1,04 \pm 0,10	1,17 \pm 0,12
	(0,94-1,28)	(0,94-1,32)	(0,86-1,33)	(0,85-1,31)	(0,85-1,27)	(0,92-1,30)

4.1.3 Założenia wielowymiarowej analizy wariancji

Rozkłady zmiennych zależnych w poszczególnych grupach obserwacji wykazywały jedynie sporadyczne odchylenia rozkładów rzeczywistych od rozkładu normalnego. W przypadku wszystkich zmiennych zależnych zachowana została jednorodność macierzy wariancji (Tabela 5). Test M Boxa również nie wskazywał na istotne zaburzenia macierzy kowariancji, dając wyniki $P = 0,43$ w badaniu wyjściowym oraz $P = 0,59$ w badaniu końcowym.

4.1.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji

Wyniki analizy MANOVA dla powtarzanych pomiarów przedstawiono w Tabeli 6. Nie zaobserwowano istotnych różnic w obrębie analizowanych grup.

Wobec tego zdecydowano się odrzucić hipotezę o istnieniu różnic międzygrupowych w obrębie wszystkich zmiennych zależnych. W związku z tym nie przeprowadzono dalszych analiz w obrębie punktu B_D.

Tabela 5. Wyniki testów odchylenia od rozkładu normalnego Shapiro-Wilka (S-W) dla poszczególnych zmiennych zależnych oraz testów równości macierzy wariancji Levene'a (L). Kolejne wiersze przedstawiają wartości *P* we wszystkich grupach badawczych dla poszczególnych zmiennych zależnych w punkcie pomiarowym B_D w pomiarze wyjściowym i końcowym. CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory.

Parametr	Grupa	pomiar wyjściowy		pomiar końcowy	
		S-W	L	S-W	L
CZ	SIAD30	0,94		0,70	
	RUCH30	0,83		0,36	
	ROL30	0,60		0,58	
	SIAD120	0,01		0,04	
	RUCH120	0,09		0,04	
	ROL120	0,76	0,76	0,43	0,82
	SIAD30	0,16		0,24	
	RUCH30	0,98		0,93	
	ROL30	0,76		0,88	
	SIAD120	0,59		0,70	
	RUCH120	0,29		0,74	
	ROL120	0,43	0,93	0,74	0,77
SZ	SIAD30	0,24		0,04	
	RUCH30	0,77		0,79	
	ROL30	0,12		0,57	
	SIAD120	0,00		0,07	
	RUCH120	0,70		0,40	
	ROL120	0,08	0,40	0,03	0,38
	SIAD30	0,24		0,90	
	RUCH30	0,77		0,66	
	ROL30	0,82		0,70	
	SIAD120	0,37		0,79	
	RUCH120	0,68		0,97	
	ROL120	0,32	0,58	0,06	0,40

kolor czerwony - wynik istotny statystycznie

Tabela 6. Wyniki testu wielowymiarowej analizy wariancji (MANOVA) dla punktu B_D. P-B – współczynnik Pillaia-Barletta; F – wynik testu F.

	Efekt	P-B	F	P
	pomiar*interwencja	0,06	0,69	0,70
	pomiar*czas	0,02	0,40	0,81
	pomiar*interwencja*czas	0,13	1,49	0,16

4.2 Punkt B_{ND} – mięsień brzuchaty łydki, kończyna niedominująca

4.2.1 Wiarygodność

Dla punktu B_{ND} w badaniu wiarygodności pomiarów dla jednej osoby badającej z użyciem współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} (z

wykorzystaniem nieuśrednianych wartości trzech powtarzanych pomiarów) zaobserwowano wiarygodność od dobrej (dla parametru T) do doskonałej (pozostałe parametry). Szczegóły zaprezentowano w Tabeli 7.

Tabela 7. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD) dla oceny zmiennych zależnych uzyskane bezpośrednio w badaniach właściwych dla punktu pomiarowego B_{ND}. CZ – częstotliwość oscylacji; T – tłumienie; SZ – sztywność; De – liczba Debory.

Parametr	ICC_{3,1} ± 95%CI	SEM	SDD
CZ	0,92(0,90±0,94)	0,56 Hz	1,54 Hz
T	0,90(0,87±0,92)	0,07	0,20
SZ	0,97(0,96±0,98)	7,58 N/m	21,01 N/m
De	0,96(0,95±0,97)	0,02	0,07

4.2.2 Statystyki opisowe

Podstawowe statystyki opisowe ocenianych parametrów biomechanicznych tkanek w punkcie B_{ND} dla wszystkich grup badawczych przedstawiono w Tabeli 8. Wartości średnie parametrów w badaniu wyjściowym i końcowym są do siebie zbliżone w obrębie każdej z grup. Wartość parametru CZ w badaniu końcowym wzrastała w stosunku do badania wyjściowego w każdej grupie (największy wzrost wartości odnotowano w grupie RUCH120: 0,56 Hz). Parametrem, który najczęściej ulegał zmniejszeniu był parametr De. Wartość mniejszą w pomiarach końcowych w stosunku do pomiarów początkowych dla tego parametru zaobserwowano w grupach SIAD30, ROL30, RUCH120, ROL120. Grupy ROL30 i RUCH 120 zanotowały mniejsze wartości średnie także w obrębie parametru T (w pierwszej z grup z wartości 1,36 do 1,34; w drugiej z 1,37 do 1,36). W pozostałych grupach dla tego parametru zaobserwowano niewielkie wzrosty wartości (od 0,01 do 0,07). W obrębie parametru SZ największe zmiany w pomiarach końcowych są widoczne w grupach SIAD30 (+ 4,38 N/m), SIAD120 (- 3,62 N/m), RUCH30 (- 2,81 N/m) oraz RUCH120 (+ 8,37 N/m).

Tabela 8. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) zmiennych zależnych dla punktu pomiarowego B_{ND} (n=96). CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory; 1 – pomiar wyjściowy; 2 – pomiar końcowy.

Parametr	Grupa					
	SIAD30	RUCH30	ROL30	SIAD120	RUCH120	ROL120
CZ1 (Hz)	17,54 \pm 1,19	17,81 \pm 1,66	17,80 \pm 2,43	18,26 \pm 2,23	18,31 \pm 1,5	17,04 \pm 1,96
	(15,50-20,33)	(14,60-20,73)	(14,83-25,20)	(15,07-23,73)	(15,10-20,53)	(14,57-22,57)
CZ2 (Hz)	17,83 \pm 1,55	17,92 \pm 1,57	17,83 \pm 2,14	18,28 \pm 2,09	18,87 \pm 2,37	17,12 \pm 1,72
	(14,87-20,40)	(14,90-20,47)	(14,83-22,93)	(15,07-22,87)	(15,07-25,60)	(15,20-21,60)
T1	1,51 \pm 0,24	1,38 \pm 0,18	1,36 \pm 0,19	1,37 \pm 0,25	1,37 \pm 0,19	1,39 \pm 0,22
	(1,16-2,05)	(1,09-1,72)	(1,04-1,59)	(0,87-1,74)	(1,06-1,69)	(0,95-1,86)
T2	1,58 \pm 0,26	1,39 \pm 0,20	1,34 \pm 0,21	1,40 \pm 0,24	1,36 \pm 0,22	1,43 \pm 0,22
	(1,20-2,21)	(1,05-1,82)	(1,00-1,60)	(0,98-1,74)	(0,95-1,63)	(0,99-1,94)
SZ1 (N/m)	314,50 \pm 22,86	316,02 \pm 28,65	324,81 \pm 72,14	335,10 \pm 58,45	329,67 \pm 29,96	298,38 \pm 29,11
	(270,67-360,33)	(264,00-358,00)	(246,67-566,33)	(277,00-509,33)	(270,67-366,67)	(255,67-368,67)
SZ2 (N/m)	318,88 \pm 27,42	313,21 \pm 26,13	325,04 \pm 57,73	331,48 \pm 50,30	338,04 \pm 44,48	297,29 \pm 29,84
	(277,67-370,67)	(274,00-365,00)	(246,67-484,67)	(267,00-475,00)	(279,33-457,00)	(256,67-374,33)
De1	1,10 \pm 0,09	1,09 \pm 0,10	1,09 \pm 0,16	1,03 \pm 0,14	1,05 \pm 0,09	1,14 \pm 0,10
	(0,94-1,28)	(0,98-1,26)	(0,62-1,37)	(0,69-1,22)	(0,95-1,24)	(0,94-1,30)
De2	1,08 \pm 0,09	1,10 \pm 0,09	1,07 \pm 0,17	1,03 \pm 0,13	1,02 \pm 0,13	1,13 \pm 0,10
	(0,92-1,25)	(0,96-1,25)	(0,70-1,35)	(0,73-1,23)	(0,75-1,24)	(0,94-1,30)

4.2.3 Założenia analizy wariancji

Rozkłady zmiennych zależnych w poszczególnych grupach obserwacji wykazywały jedynie sporadyczne odchylenia rozkładów rzeczywistych od rozkładu normalnego. W przypadku wszystkich zmiennych zależnych, zachowana została jednorodność macierzy wariancji (Tabela 9). Test M Boxa wskazał na istotne zaburzenia macierzy kowariancji w pomiarze wyjściowym ($P = 0,00$), jednak nie wykazał istotnych zaburzeń w obrębie pomiarów końcowych ($P = 0,15$).

Tabela 9. Wyniki testów odchylenia od rozkładu normalnego Shapiro-Wilka (S-W) dla poszczególnych zmiennych zależnych i równości macierzy wariancji dla testu ANOVA – test Levene’a (L). Kolejne wiersze przedstawiają wartości P we wszystkich grupach dla poszczególnych zmiennych zależnych w punkcie pomiarowym B_{ND} w pomiarze wyjściowym i końcowym. CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory.

Parametr	Grupa	pomiar wyjściowy		pomiar końcowy	
		S-W	L	S-W	L
CZ	SIAD30	0,67		0,82	
	RUCH30	0,99		0,83	
	ROL30	0,00		0,45	
	SIAD120	0,03		0,21	
	RUCH120	0,07		0,06	
	ROL120	0,05	0,58	0,58	0,79
T	SIAD30	0,44		0,43	
	RUCH30	0,62		0,98	
	ROL30	0,16		0,15	
	SIAD120	0,24		0,40	
	RUCH120	0,86		0,26	
	ROL120	0,95	0,75	0,63	0,84

	SIAD30	0,96		0,35	
	RUCH30	0,73		0,71	
	ROL30	0,00		0,07	
	SIAD120	0,00		0,02	
	RUCH120	0,18		0,17	
SZ	ROL120	0,48	0,21	0,25	0,26
	SIAD30	0,96		0,64	
	RUCH30	0,16		0,43	
	ROL30	0,05		0,93	
	SIAD120	0,27		0,53	
	RUCH120	0,13		0,77	
De	ROL120	0,24	0,52	0,63	0,20

kolor czerwony – wynik istotny statystycznie

4.2.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji

Wyniki analizy MANOVA dla powtarzanych pomiarów przedstawiono w Tabeli 10. Nie zaobserwowano istotnych różnic w obrębie analizowanych grup. Wobec tego zdecydowano się odrzucić hipotezę o istnieniu istotnych różnic międzygrupowych w obrębie wszystkich zmiennych zależnych w punkcie B_{ND}. W związku z tym nie przeprowadzono dalszych analiz w obrębie punktu B_{ND}.

Tabela 10. Wyniki testu wielowymiarowej analizy wariancji (MANOVA) dla punktu B_{ND}. P-B – współczynnik Pillaia-Barletta; F – wynik testu F.

	Efekt	P-B	F	P
	pomiar*interwencja	0,09	1,05	0,40
	pomiar*czas	0,01	0,22	0,93
	pomiar*interwencja*czas	0,12	1,40	0,20

4.3 Punkt D_D – mięsień dwugłowy uda, kończyna dominująca

4.3.1 Wiarygodność

Dla punktu D_D w badaniu wiarygodności pomiarów dla jednej osoby badającej z użyciem współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} (z wykorzystaniem nieuśrednianych wartości trzech powtarzanych pomiarów) zaobserwowano wiarygodność doskonałą w obrębie wszystkich parametrów pomiarowych. Szczegółowe wartości współczynnika ICC_{3,1} wraz z przedziałami ufności oraz wartościami SEM i SDD znajdują się w Tabeli 11.

Tabela 11. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD) dla oceny zmiennych zależnych uzyskane bezpośrednio w badaniach właściwych dla punktu pomiarowego D_D. CZ – częstotliwość oscylacji; T – tłumienie; SZ – sztywność; De – liczba Debory.

Parametr	ICC _{3,1} ± 95%CI	SEM	SDD
CZ	0,97(0,97-0,98)	0,27 Hz	0,75 Hz
T	0,94(0,93-0,96)	0,05	0,13
SZ	0,96(0,95-0,97)	7,71 N/m	21,37 N/m
De	0,97(0,96-0,97)	0,02	0,05

4.3.2 Statystyki opisowe

Podstawowe statystyki opisowe ocenianych parametrów biomechanicznych tkanek w punkcie D_D dla wszystkich grup badawczych przedstawiono w Tabeli 12. Wartości średnie parametrów w badaniu wyjściowym i końcowym są do siebie zbliżone w obrębie każdej z grup. Dla wszystkich grup odnotowano wzrost wartości parametru CZ w pomiarze końcowym w porównaniu do pomiaru początkowego (od 0,15 Hz w grupie SIAD30 do 0,52 Hz w grupie ROL30). Podobna tendencja (wzrost we wszystkich grupach) jest widoczna dla parametru SZ (od 0,44 N/m dla grupy ROL120 do 11,9 N/m dla grupy ROL30). Pozostałe parametry charakteryzują się podobną zgodnością pomiędzy grupami, jednak ich wielkości zmniejszyły się w badaniach końcowych w porównaniu do badań wyjściowych. Dla parametru T (z wyjątkiem grupy RUCH120 gdzie wartość średnia pozostała bez zmian) były to różnice w wielkości od -0,03 (grupa SIAD30) do -0,01 (grupy ROL30 i SIAD120). W przypadku parametru De różnice wyniosły we wszystkich grupach od -0,03 do -0,02.

Tabela 12. Wartości średnie ± odchylenia standardowe (minimum-maksimum) zmiennych zależnych dla punktu pomiarowego D_D (n=96). CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory; 1 – pomiar wyjściowy; 2 – pomiar końcowy.

Parametr	Grupa					
	SIAD30	RUCH30	ROL30	SIAD120	RUCH120	ROL120
CZ1 (Hz)	16,16±1,67 (11,27-19,13)	16,65±1,11 (14,33-18,70)	15,65±1,29 (12,00-17,27)	16,10±1,84 (12,90-19,07)	16,26±1,19 (14,27-18,23)	16,33±1,79 (12,70-20,00)
	16,31±1,91 (11,00-19,57)	16,97±1,29 (14,47-19,13)	16,17±1,02 (14,50-17,63)	16,48±1,93 (12,77-19,37)	16,64±1,45 (14,07-19,77)	16,53±1,85 (12,70-19,70)
T1	1,36±0,22 (0,95-1,86)	1,40±0,13 (1,08-1,59)	1,27±0,27 (0,74-1,64)	1,31±0,17 (1,00-1,58)	1,33±0,15 (1,15-1,70)	1,37±0,16 (1,09-1,75)
	1,33±0,22 (0,93-1,80)	1,38±0,13 (1,05-1,59)	1,26±0,23 (0,88-1,64)	1,30±0,17 (1,02-1,61)	1,33±0,13 (1,13-1,68)	1,35±0,18 (1,05-1,76)
SZ1 (N/m)	296,48±42,13 (162,33-354,00)	307,88±26,81 (245,67-368,67)	283,56±42,35 (148,67-324,67)	285,42±44,70 (199,33-366,67)	300,60±27,94 (251,00-357,67)	299,35±40,20 (205,33-382,67)
	299,98±51,19 (149,67-376,33)	313,40±26,85 (252,67-374,00)	295,46±24,79 (257,67-341,33)	292,73±44,54 (210,00-377,00)	305,52±31,15 (243,67-367,67)	299,79±44,77 (194,67-383,00)
De1	1,12±0,11 (0,97-1,49)	1,09±0,08 (0,94-1,23)	1,13±0,08 (1,00-1,28)	1,14±0,12 (0,96-1,30)	1,10±0,10 (0,93-1,22)	1,12±0,13 (0,83-1,40)
	1,10±0,14 (0,89-1,51)	1,06±0,08 (0,91-1,18)	1,10±0,08 (0,94-1,24)	1,12±0,12 (0,94-1,29)	1,08±0,10 (0,93-1,22)	1,10±0,13 (0,83-1,37)

4.3.3 Założenia analizy wariancji

Rozkłady zmiennych zależnych w poszczególnych grupach obserwacji wykazywały jedynie sporadyczne odchylenia rozkładów rzeczywistych od rozkładu normalnego.

Tabela 13. Wyniki testów odchylenia od rozkładu normalnego Shapiro-Wilka (S-W) dla poszczególnych zmiennych zależnych i równości macierzy wariancji dla testu ANOVA – test Levene’a (L). Kolejne wiersze przedstawiają wartości P we wszystkich grupach dla poszczególnych zmiennych zależnych w punkcie pomiarowym D_D w pomiarze wyjściowym i końcowym. CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory.

Parametr	Grupa	pomiar wyjściowy		pomiar końcowy	
		S-W	L	S-W	L
CZ	SIAD30	0,02		0,11	
	RUCH30	0,95		0,53	
	ROL30	0,05		0,14	
	SIAD120	0,46		0,55	
	RUCH120	0,56		0,92	
	ROL120	1,00	0,26	0,95	0,24
T	SIAD30	0,92		0,95	
	RUCH30	0,60		0,59	
	ROL30	0,57		0,44	
	SIAD120	0,73		0,86	
	RUCH120	0,10		0,29	
	ROL120	0,67	0,05	0,80	0,06
SZ	SIAD30	0,00		0,03	
	RUCH30	0,40		0,61	
	ROL30	0,00		0,64	
	SIAD120	0,81		0,81	
	RUCH120	0,30		1,00	
	ROL120	0,62	0,50	0,58	0,27
De	SIAD30	0,00		0,04	
	RUCH30	0,97		0,87	
	ROL30	0,72		0,95	
	SIAD120	0,10		0,09	
	RUCH120	0,39		0,17	
	ROL120	0,79	0,34	0,92	0,24

kolor czerwony - wynik istotny statystycznie

W przypadku wszystkich zmiennych zależnych zachowana została jednorodność macierzy wariancji (Tabela 13). Test M Boxa również nie wskazywał na istotne zaburzenia macierzy kowariancji, dając wyniki $P = 0,24$ w badaniu wyjściowym oraz $P = 0,30$ w badaniu końcowym.

4.3.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji

Wyniki analizy MANOVA dla powtarzanych pomiarów przedstawiono w Tabeli 14. Nie zaobserwowano istotnych różnic w obrębie analizowanych grup. Wobec tego zdecydowano się odrzucić hipotezę o istnieniu istotnych różnic międzygrupowych w obrębie wszystkich zmiennych zależnych w punkcie D_D. W związku z tym nie przeprowadzono dalszych analiz w obrębie punktu D_D.

Tabela 14. Wyniki testu wielowymiarowej analizy wariancji (MANOVA) dla punktu D_D. P-B – współczynnik Pillai-Barletta; F – wynik testu F.

Efekt	P-B	F	P
pomiar*interwencja	0,02	0,20	0,99
pomiar*czas	0,05	1,13	0,35
pomiar*interwencja*czas	0,06	0,74	0,66

4.4 Punkt D_{ND} – mięsień dwugłowy uda, kończyna niedominująca

4.4.1 Wiarygodność

Dla punktu D_{ND} w badaniu wiarygodności pomiarów dla jednej osoby badającej z użyciem współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} (z wykorzystaniem nieuśrednianych wartości trzech powtarzanych pomiarów) zaobserwowano wiarygodność doskonałą w obrębie wszystkich parametrów pomiarowych. Szczegółowe wartości współczynnika ICC_{3,1} wraz z przedziałami ufności oraz wartościami SEM i SDD znajdują się w Tabeli 15.

Tabela 15. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD) dla oceny zmiennych zależnych uzyskane bezpośrednio w badaniach właściwych dla punktu pomiarowego D_{ND}. CZ – częstotliwość oscylacji; T – tłumienie; SZ – sztywność; De – liczba Debory.

Parametr	ICC _{3,1} ± 95%CI	SEM	SDD
CZ	0,97(0,96-0,98)	0,31 Hz	0,85 Hz
T	0,94(0,93-0,95)	0,05	0,13
SZ	0,97(0,96-0,98)	7,41 N/m	20,55 N/m
De	0,97(0,96-0,97)	0,02	0,06

4.4.2 Statystyki opisowe

Podstawowe statystyki opisowe ocenianych parametrów biomechanicznych tkanek w punkcie D_{ND} dla wszystkich grup badawczych przedstawiono w Tabeli 16. Wartości średnie parametrów w badaniu wyjściowym i końcowym są do siebie zbliżone w obrębie każdej z grup. Jedynym parametrem, dla którego widoczne są różnice w obrębie każdej z grup jest parametr SZ (zwiększenie wartości w grupie ROL30, zmniejszenie w pozostałych grupach). W grupie ROL30 odnotowano wzrost wartości średnich także dla parametru CZ (0,07 Hz), T (0,04) i nieznaczny spadek wartości parametru De (-0,01). Zmniejszenie wartości w obrębie dwóch parametrów widać w grupie SIAD30 (CZ = -0,18 Hz; SZ = -5,38 N/m) oraz w grupie ROL120 (CZ = -0,14 Hz; SZ = -7,48 N/m).

Tabela 16. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) zmiennych zależnych dla punktu pomiarowego D_{ND} (n=96). CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory; 1 – pomiar wyjściowy; 2 – pomiar końcowy.

Parametr	Grupa					
	SIAD30	RUCH30	ROL30	SIAD120	RUCH120	ROL120
CZ1 (Hz)	16,66 \pm 1,62	17,09 \pm 1,51	16,54 \pm 1,51	16,82 \pm 2,35	16,94 \pm 1,31	16,85 \pm 2,00
	(12,37-19,53)	(14,37-19,27)	(13,13-18,50)	(14,07-23,33)	(14,33-19,37)	(14,37-20,33)
CZ2 (Hz)	16,48 \pm 1,75	17,09 \pm 1,59	16,61 \pm 1,24	16,86 \pm 2,49	17,06 \pm 1,71	16,71 \pm 2,13
	(11,70-19,43)	(14,67-20,17)	(14,50-18,40)	(13,83-23,53)	(14,37-20,23)	(13,90-20,30)
T1	1,31 \pm 0,23	1,41 \pm 0,14	1,33 \pm 0,26	1,41 \pm 0,18	1,35 \pm 0,17	1,34 \pm 0,16
	(0,85-1,72)	(1,17-1,66)	(0,86-1,74)	(1,18-1,86)	(1,08-1,75)	(1,09-1,64)
T2	1,31 \pm 0,22	1,42 \pm 0,10	1,37 \pm 0,26	1,41 \pm 0,18	1,35 \pm 0,15	1,35 \pm 0,17
	(0,90-1,74)	(1,23-1,62)	(0,91-1,90)	(1,20-1,85)	(1,07-1,73)	(1,12-1,69)
SZ1 (N/m)	306,67 \pm 41,84	326,10 \pm 42,69	305,08 \pm 42,54	307,85 \pm 45,45	321,06 \pm 33,16	314,15 \pm 48,11
	(186,00-377,67)	(258,33-419,67)	(190,67-366)	(242,67-417,67)	(263,67-378)	(244,33-424,33)
SZ2 (N/m)	301,29 \pm 44,68	320,25 \pm 40,24	311,15 \pm 34,21	304,46 \pm 47,88	318,77 \pm 38,69	306,67 \pm 51,54
	(177,67-368,33)	(255,00-411,33)	(248,00-376,00)	(250,00-421)	(262,67-386,67)	(236,67-416,67)
De1	1,09 \pm 0,12	1,04 \pm 0,11	1,08 \pm 0,10	1,07 \pm 0,12	1,04 \pm 1,71	1,06 \pm 0,14
	(0,87-1,46)	(0,83-1,25)	(0,92-1,26)	(0,80-1,23)	(14,37-20,23)	(0,76-1,24)
De2	1,10 \pm 0,15	1,05 \pm 0,11	1,07 \pm 0,10	1,08 \pm 0,13	1,04 \pm 0,12	1,09 \pm 0,15
	(0,89-1,54)	(0,83-1,21)	(0,83-1,24)	(0,801,25)	(0,88-1,22)	(0,77-1,30)

4.4.3 Założenia analizy wariancji

Rozkłady zmiennych zależnych w poszczególnych grupach obserwacji wykazywały jedynie sporadyczne odchylenia rozkładów rzeczywistych od rozkładu normalnego. W przypadku wszystkich zmiennych zależnych zachowana została jednorodność macierzy wariancji (Tabela 17). Test M Boxa również nie wskazywał na istotne zaburzenia macierzy kowariancji dając wyniki $P = 0,69$ w badaniu wyjściowym oraz $P = 0,11$ w badaniu końcowym.

Tabela 17. Wyniki testów odchylenia od rozkładu normalnego Shapiro-Wilka (S-W) dla poszczególnych zmiennych zależnych i równości macierzy wariancji dla testu ANOVA – test Levene’a (L). Kolejne wiersze przedstawiają wartości P we wszystkich grupach dla poszczególnych zmiennych zależnych w punkcie pomiarowym D_{ND} w pomiarze wyjściowym i końcowym. CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory.

Parametr	Grupa	pomiar wyjściowy		pomiar końcowy	
		S-W	L	S-W	L
CZ	SIAD30	0,32		0,15	
	RUCH30	0,13		0,51	
	ROL30	0,22		0,35	
	SIAD120	0,05		0,09	
	RUCH120	0,99		0,73	
	ROL120	0,07	0,24	0,22	0,28
T	SIAD30	0,53		0,70	
	RUCH30	0,85		1,00	
	ROL30	0,14		0,84	
	SIAD120	0,09		0,09	
	RUCH120	0,66		0,54	
	ROL120	0,93	0,36	0,28	0,14

	SIAD30	0,02		0,07	
	RUCH30	0,34		0,55	
	ROL30	0,07		0,77	
	SIAD120	0,39		0,07	
	RUCH120	0,71		0,37	
SZ	ROL120	0,34	0,80	0,36	0,62
	SIAD30	0,00		0,01	
	RUCH30	0,45		0,75	
	ROL30	0,74		0,76	
	SIAD120	0,36		0,51	
	RUCH120	0,17		0,16	
De	ROL120	0,19	0,53	0,21	0,45

kolor czerwony - wynik istotny statystycznie

4.4.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji

Wyniki analizy MANOVA dla powtarzanych pomiarów przedstawiono w Tabeli 18. Nie zaobserwowano istotnych różnic w obrębie analizowanych grup. Wobec tego zdecydowano się odrzucić hipotezę o istnieniu istotnych różnic międzygrupowych w obrębie wszystkich zmiennych zależnych w punkcie D_{ND}. W związku z tym nie przeprowadzono dalszych analiz w obrębie punktu D_{ND}.

Tabela 18. Wyniki testu wielowymiarowej analizy wariancji (MANOVA) dla punktu D_{ND}. P-B – współczynnik Pillaia-Barletta; F – wynik testu F.

	Efekt	P-B	F	P
	pomiar*interwencja	0,05	0,61	0,77
	pomiar*czas	0,08	1,99	0,10
	pomiar*interwencja*czas	0,07	0,76	0,64

4.5 Punkt N_D – mięsień najdłuższy po stronie kończyny dominującej

4.5.1 Wiarygodność

Dla punktu N_D w badaniu wiarygodności pomiarów dla jednej osoby badającej z użyciem współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} (z wykorzystaniem nieuśrednianych wartości trzech powtarzanych pomiarów) zaobserwowano wiarygodność doskonałą w obrębie wszystkich parametrów pomiarowych. Szczegółowe wartości współczynnika ICC_{3,1} wraz z przedziałami ufności oraz wartościami SEM i SDD znajdują się w Tabeli 19.

Tabela 19. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD) dla oceny zmiennej zależnej uzyskane bezpośrednio w badaniach właściwych dla punktu pomiarowego N_D. CZ – częstotliwość oscylacji; T – tłumienie; SZ – sztywność; De – liczba Debory.

Parametr	ICC _{3,1} ± 95%CI	SEM	SDD
CZ	0,93(0,91-0,94)	0,13 Hz	0,86 Hz
T	0,94(0,93-0,95)	0,06	0,16
SZ	0,96(0,95-0,97)	7,63 N/m	21,14 N/m
De	0,93(0,92-0,95)	0,02	0,07

4.5.2 Statystyki opisowe

Podstawowe statystyki opisowe ocenianych parametrów biomechanicznych tkanek w punkcie N_D dla wszystkich grup badawczych przedstawiono w Tabeli 20.

Tabela 20. Wartości średnie ± odchylenia standardowe (minimum-maksimum) zmiennych zależnych dla punktu pomiarowego N_D (n=96). CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory; 1 – pomiar wyjściowy; 2 – pomiar końcowy.

Parametr	Grupa					
	SIAD30	RUCH30	ROL30	SIAD120	RUCH120	ROL120
CZ1 (Hz)	16,15±1,42	16,01±1,07	15,48±1,46	16,00±1,03	16,08±0,86	16,04±0,73
	(12,63-18,50)	(14,50-18,27)	(12,10-18,07)	(14,97-18,27)	(14,60-17,90)	(14,70-17,23)
CZ2 (Hz)	16,15±1,37	15,98±0,92	14,96±1,42	15,93±1,09	15,98±1,10	15,95±0,81
	(12,57-18,97)	(14,80-18,20)	(12,13-16,80)	(0,83-1,42)	(14,53-18,77)	(14,57-17,33)
T1	1,12±0,22	1,18±0,19	1,19±0,31	1,05±0,14	1,07±0,17	1,07±0,21
	(0,73-1,57)	(0,85-1,51)	(0,77-1,88)	(0,83-1,31)	(0,84-1,39)	(0,76-1,54)
T2	1,15±0,27	1,17±0,19	1,18±0,31	1,04±0,17	1,08±0,20	1,09±0,26
	(0,66-1,80)	(0,87-1,49)	(0,74-1,81)	(0,83-1,42)	(0,88-1,50)	(0,79-1,76)
SZ1 (N/m)	295,58±47,04	297,98±34,54	283,40±46,77	283,67±25,35	293,08±30,78	293,81±26,94
	(169,00-364,33)	(246,67-366,33)	(193,33-363)	(246,67-320,67)	(246,00-350)	(253,67-351,33)
SZ2 (N/m)	297,13±48,56	297,06±30,85	269,25±53,11	284,90±31,30	288,96±36,65	289,98±29,00
	(159,00-372,33)	(256,33-344)	(152,67-354,33)	(240,67-343,67)	(244,33-370)	(243,33-355)
De1	1,07±0,11	1,08±0,07	1,12±0,15	1,08±0,06	1,07±0,05	1,05±0,08
	(0,90-1,37)	(0,91-1,18)	(0,90-1,47)	(0,99-1,17)	(0,99-1,18)	(0,88-1,18)
De2	1,06±0,09	0,95±0,07	1,14±0,13	1,09±0,09	1,09±0,06	1,06±0,08
	(0,88-1,31)	(0,95-1,21)	(0,94-1,46)	(0,92-1,21)	(0,97-1,20)	(0,88-1,19)

Wartości średnie parametrów w badaniu wyjściowym i końcowym są do siebie zbliżone w obrębie każdej z grup. W obrębie parametru CZ we wszystkich grupach z wyjątkiem grupy SIAD30 zaobserwowano zmniejszenie się wartości średnich w pomiarze końcowym w porównaniu do pomiaru początkowego. W przypadku parametru T widoczny jest wzrost wartości średnich dla grup SIAD30 (+ 0,03), RUCH120 (+ 0,01) oraz ROL120 (+ 0,02). Pozostałe grupy w pomiarze końcowym w niewielkim stopniu zmniejszyły wartości średnie w porównaniu do pomiarów początkowych (od -0,01 do -0,02). Wartość parametru SZ zwiększa się dla grup SIAD30 oraz SIAD120, natomiast zmniejsza się w grupach ROL30,

RUCH120 oraz ROL120. Wartości parametru De zmniejszyły się w przypadku grup RUCH30 oraz SIAD30, wzrastały natomiast dla pozostałych grup.

4.5.3 Założenia analizy wariancji

Rozkłady zmiennych zależnych w poszczególnych grupach obserwacji wykazywały jedynie sporadyczne odchylenia rozkładów rzeczywistych od rozkładu normalnego.

Tabela 21. Wyniki testów odchylenia od rozkładu normalnego Shapiro-Wilka (S-W) dla poszczególnych zmiennych zależnych i równości macierzy wariancji dla testu ANOVA – test Levene’a (L). Kolejne wiersze przedstawiają wartości P we wszystkich grupach dla poszczególnych zmiennych zależnych w punkcie pomiarowym N_D w pomiarze wyjściowym i końcowym. CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory.

Parametr	Grupa	pomiar wyjściowy		pomiar końcowy	
		S-W	L	S-W	L
CZ	SIAD30	0,56		0,18	
	RUCH30	0,28		0,37	
	ROL30	0,73		0,14	
	SIAD120	0,01		0,03	
	RUCH120	0,98		0,18	
	ROL120	0,92	0,42	0,80	0,63
T	SIAD30	0,50		0,53	
	RUCH30	0,66		0,88	
	ROL30	0,30		0,41	
	SIAD120	0,54		0,11	
	RUCH120	0,03		0,00	
	ROL120	0,03	0,11	0,02	0,40
SZ	SIAD30	0,09		0,06	
	RUCH30	0,75		0,11	
	ROL30	0,44		0,61	
	SIAD120	0,15		0,34	
	RUCH120	0,71		0,10	
	ROL120	0,59	0,51	0,88	0,32
De	SIAD30	0,08		0,13	
	RUCH30	0,20		0,99	
	ROL30	0,33		0,51	
	SIAD120	0,20		0,77	
	RUCH120	0,83		0,47	
	ROL120	0,70	0,06	0,38	0,28

kolor czerwony - wynik istotny statystycznie

W przypadku wszystkich zmiennych zależnych zachowana została jednorodność macierzy wariancji (Tabela 21). Test M Boxa wskazał na istotne zaburzenia macierzy kowariancji dając wyniki $P = 0,00$ zarówno w badaniu wyjściowym jak i w badaniu końcowym.

4.5.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji

Wyniki analizy MANOVA dla powtarzanych pomiarów przedstawia Tabela 22. Analiza wykazała istnienie istotnych różnic dla interakcji czynników pomiar*czas. Interakcja czynników pomiar*interwencja*czas osiągnęła poziom bliski ustalonej wartości granicznej ($P = 0,08$).

Tabela 22. Wyniki testu wielowymiarowej analizy wariancji (MANOVA) dla punktu N_D . P-B – współczynnik Pillaia-Barletta; F – wynik testu F.

Efekt	P-B	F	P
pomiar*interwencja	0,08	0,95	0,48
pomiar*czas	0,13	3,36	0,01
pomiar*interwencja*czas	0,15	1,80	0,08

kolor czerwony - wynik istotny statystycznie

4.5.5 Wyniki jednowymiarowej analizy wariancji

Wyniki analizy ANOVA dla powtarzanych pomiarów przedstawia Tabela 23. W tym przypadku nie stwierdzono istotnych wyników w obrębie analizowanych wymiarów dla rozpatrywanej interakcji pomiar*czas, pomimo istotnego wyniku w MANOVA. Sytuacja taka ma czasem miejsce w analizach statystycznych [42]. Wobec tego, finalnie postanowiono nie odrzucać hipotezy o braku istotnych różnic międzygrupowych w obrębie tej interakcji.

Tabela 23. Wyniki testu jednowymiarowej analizy wariancji (ANOVA) dla interakcji czynników: pomiar*interwencja, pomiar*czas, pomiar*interwencja*czas w punkcie N_D . Efekty główne ANOVA pominięto jako nieistotne z perspektywy celu badań. F – wynik testu F.

Efekt	F	P	
POMIAR*INTERWENCJA	CZ	1,63	0,20
	T	0,34	0,72
	SZ	2,22	0,11
	De	1,40	0,25
POMIAR*CZAS	CZ	0,53	0,47
	T	0,21	0,65
	SZ	0,31	0,58
	De	0,73	0,40
POMIAR*INTERWENCJA*CZAS	CZ	1,61	0,20
	T	3,25	0,04
	SZ	1,03	0,36
	De	1,11	0,33

kolor czerwony - wynik istotny statystycznie

Wykonano analizę istotności różnic *post hoc* dla parametru T, dla interakcji czynników pomiar*interwencja*czas, która osiągnęła poziom istotności

statystycznej w analizie ANOVA (Tabela 23). Wyniki analizy przedstawiono w Tabeli 24. Nie stwierdzono istotnych różnic w obrębie analizy.

Tabela 24. Wyniki testu istotności różnic *post hoc* Tukeya dla parametru T, dla interakcji czynników pomiar*interwencja*czas z uwzględnieniem poziomu czynników, dla punktu N_D. G – grupa uwzględniająca jeden poziom każdego czynnika; 1 – pomiar wyjściowy; 2 – pomiar końcowy.

grupa	interwencja	czas pomiar	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	
G1	SIAD	30	1											
G2	SIAD	30	2	0,74										
G3	SIAD	120	1	1,00	0,99									
G4	SIAD	120	2	1,00	0,97	1,00								
G5	ROL	30	1	1,00	1,00	0,86	0,80							
G6	ROL	30	2	1,00	1,00	0,90	0,85	1,00						
G7	ROL	120	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,95					
G8	ROL	120	2	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,99	0,99				
G9	RUCH	30	1	1,00	1,00	0,88	0,82	1,00	1,00	0,94	0,98			
G10	RUCH	30	2	1,00	1,00	0,96	0,92	1,00	1,00	0,98	1,00	0,99		
G11	RUCH	120	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,95	1,00	1,00	0,94	0,98	
G12	RUCH	120	2	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,98	1,00	1,00	0,97	0,99	1,00

4.6 Punkt N_{ND} – mięsień najdłuższy po stronie kończyny niedominującej

4.6.1 Wiarygodność

Dla punktu N_{ND} w badaniu wiarygodności pomiarów dla jednej osoby badającej z użyciem współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} (z wykorzystaniem nieuśrednianych wartości trzech powtarzanych pomiarów) zaobserwowano wiarygodność doskonałą w obrębie wszystkich parametrów pomiarowych. Szczegółowe wartości współczynnika ICC_{3,1} wraz z przedziałami ufności oraz wartościami SEM i SDD znajdują się w Tabeli 25.

Tabela 25. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC_{3,1} wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD) dla oceny zmiennych zależnych uzyskane bezpośrednio w badaniach właściwych dla punktu pomiarowego N_{ND}. CZ – częstotliwość oscylacji; T – tłumienie; SZ – sztywność; De – liczba Debory.

Parametr	ICC _{3,1} ± 95%CI	SEM	SDD
CZ	0,93(0,92-0,95)	0,31 Hz	0,87 Hz
T	0,96(0,95-0,97)	0,05	0,13
SZ	0,97(0,96-0,97)	6,81 N/m	18,88 N/m
De	0,94(0,93-0,96)	0,02	0,07

4.6.2 Statystyki opisowe

Podstawowe statystyki opisowe ocenianych parametrów biomechanicznych tkanek w punkcie N_{ND} dla wszystkich grup badawczych przedstawiono w Tabeli

26. Wartości średnie parametrów w badaniu wyjściowym i końcowym są do siebie zbliżone w obrębie każdej z grup. We wszystkich grupach odnotowano zmniejszenie wartości średnich dla parametru CZ w pomiarach końcowych, w porównaniu z pomiarami początkowymi. W szczególności w grupach, w których zastosowano rolowanie (ROL30, ROL120), odnotowano największe różnice (odpowiednio -0,46 Hz i -0,35 Hz). W obrębie tych samych grup (a także grupy RUCH120) zaobserwowano różnice także zmniejszenie wartości średnich w parametrze T (ROL30 = -0,03; RUCH120 = -0,02; ROL120 = -0,01) oraz SZ (ROL30 = -15,37 N/m; RUCH120 = -10,02 N/m; ROL120 = -9,42 N/m), a także zwiększenie w przypadku parametru De (ROL30 = 0,04; RUCH120 = 0,03; ROL120 = 0,03).

Tabela 26. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) zmiennych zależnych dla punktu pomiarowego N_{ND} ($n=96$). CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory; 1 – pomiar wyjściowy; 2 – pomiar końcowy.

Parametr	Grupa					
	SIAD30	RUCH30	ROL30	SIAD120	RUCH120	ROL120
CZ1 (Hz)	15,80 \pm 1,21	16,11 \pm 1,13	15,49 \pm 1,54	15,70 \pm 0,96	16,19 \pm 0,86	16,22 \pm 1,08
	(12,60-17,57)	(14,27-18,17)	(12,23-18,03)	(14,17-17,53)	(14,73-17,70)	(14,70-19,47)
CZ2 (Hz)	15,77 \pm 1,22	16,02 \pm 1,04	15,03 \pm 1,54	15,67 \pm 1,04	15,90 \pm 0,92	15,87 \pm 1,11
	(12,63-18,00)	(14,17-18,13)	(11,90-17,17)	(14,10-17,90)	(14,43-17,73)	(14,63-19,30)
T1	1,17 \pm 1,21	1,12 \pm 0,23	1,20 \pm 0,27	1,05 \pm 0,15	1,06 \pm 0,23	1,13 \pm 0,29
	(0,80-1,62)	(0,81-1,59)	(0,71-1,61)	(0,76-1,27)	(0,79-1,55)	(0,73-1,98)
T2	1,19 \pm 0,27	1,12 \pm 0,21	1,17 \pm 0,27	1,05 \pm 0,15	1,04 \pm 0,21	1,12 \pm 0,27
	(0,81-1,62)	(0,83-1,41)	(0,70-1,59)	(0,82-1,32)	(0,81-1,54)	(0,73-1,89)
SZ1 (N/m)	291,33 \pm 44,11	295,94 \pm 36,89	285,04 \pm 54,97	277,96 \pm 33,58	295,81 \pm 32,18	298,46 \pm 28,16
	(182,33-359,33)	(231,00-366,33)	(181,67-377)	(225,33-347,67)	(244,33-341,67)	(255,67-375,33)
SZ2 (N/m)	292,92 \pm 45,67	294,17 \pm 32,32	269,67 \pm 52,37	277,21 \pm 34,92	285,79 \pm 31,32	289,04 \pm 30,90
	(179,67-371,00)	(232,00-347,33)	(168,00-340,67)	(228,33-343,67)	(242,00-340,67)	(250,00-387,33)
De1	1,08 \pm 0,13	1,08 \pm 0,07	1,10 \pm 0,16	1,11 \pm 0,08	1,06 \pm 0,05	1,05 \pm 0,07
	(0,90-1,43)	(0,94-1,24)	(0,84-1,47)	(0,95-1,20)	(0,95-1,13)	(0,87-1,13)
De2	1,08 \pm 0,12	1,09 \pm 0,07	1,14 \pm 0,15	1,11 \pm 0,09	1,09 \pm 0,05	1,08 \pm 0,07
	(0,88-1,40)	(0,98-1,27)	(0,96-1,51)	(0,93-1,21)	(0,94-1,18)	(0,85-1,15)

4.6.3 Założenia analizy wariancji

Rozkłady zmiennych zależnych w poszczególnych grupach obserwacji wykazywały jedynie sporadyczne odchylenia rozkładów rzeczywistych od rozkładu normalnego. W przypadku wszystkich zmiennych zależnych z wyjątkiem pomiaru końcowego dla parametru De ($P = 0,04$), zachowana została jednorodność macierzy wariancji (Tabela 27). Test M Boxa wskazał na istotne zaburzenia macierzy kowariancji, dając wyniki $P = 0,00$ zarówno w badaniu wyjściowym jak i w badaniu końcowym.

Tabela 27. Wyniki testów odchylenia od rozkładu normalnego Shapiro-Wilka (S-W) dla poszczególnych zmiennych zależnych i równości macierzy wariancji dla testu ANOVA – test Levene’a (L). Kolejne wiersze przedstawiają wartości P we wszystkich grupach dla poszczególnych zmiennych zależnych w punkcie pomiarowym N_{ND} w pomiarze wyjściowym i końcowym. CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory.

Parametr	Grupa	pomiar wyjściowy		pomiar końcowy	
		S-W	L	S-W	L
CZ	SIAD30	0,29		0,17	
	RUCH30	0,94		0,63	
	ROL30	0,20		0,08	
	SIAD120	0,76		0,91	
	RUCH120	0,20		0,50	
	ROL120	0,01	0,41	0,00	0,56
T	SIAD30	0,12		0,21	
	RUCH30	0,24		0,06	
	ROL30	0,89		0,85	
	SIAD120	0,39		0,79	
	RUCH120	0,11		0,08	
	ROL120	0,01	0,30	0,06	0,32
SZ	SIAD30	0,34		0,62	
	RUCH30	0,92		0,97	
	ROL30	0,31		0,05	
	SIAD120	0,58		0,55	
	RUCH120	0,39		0,54	
	ROL120	0,17	0,31	0,00	0,20
De	SIAD30	0,08		0,12	
	RUCH30	0,26		0,25	
	ROL30	0,09		0,00	
	SIAD120	0,08		0,05	
	RUCH120	0,90		0,07	
	ROL120	0,05	0,05	0,00	0,04

kolor czerwony - wynik istotny statystycznie

4.6.4 Wyniki wielowymiarowej analizy wariancji

Wyniki analizy MANOVA dla powtarzanych pomiarów przedstawiono w Tabeli 28. Nie zaobserwowano istotnych różnic w obrębie analizowanych grup. Wobec tego zdecydowano się odrzucić hipotezę o istnieniu istotnych różnic międzygrupowych w obrębie wszystkich zmiennych zależnych w punkcie N_{ND}. W związku z tym nie przeprowadzono dalszych analiz w obrębie punktu N_{ND}.

Tabela 28. Wyniki testu wielowymiarowej analizy wariancji (MANOVA) dla punktu N_{ND}. P-B – współczynnik Pillaia-Barletta; F – wynik testu F.

	Efekt	P-B	F	P
	pomiar*interwencja	0,09	1,02	0,42
	pomiar*czas	0,04	0,87	0,49
	pomiar*interwencja*czas	0,04	0,47	0,88

4.7 Analiza różnic pomiędzy punktami

4.7.1 Statystyki opisowe

Prowadząc porównania pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi, wykorzystano różnice wartości wszystkich parametrów biomechanicznych pomiędzy badaniem końcowym a wyjściowym (wartość końcowa minus wartość wyjściowe), czyli tzw. delty. Podstawowe statystyki opisowe owych delt przedstawiono w Tabeli 29.

Tabela 29. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) różnic wartości parametrów biomechanicznych tkanki mięśniowo-powięziowej pomiędzy badaniem końcowym i wyjściowym (delt) dla każdego punktu pomiarowego w każdej z grup. CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory.

Punkt	Grupa	Parametr			
		CZ (Hz)	T	SZ (N/m)	De
B _D	SIAD30	0,32 \pm 1,31(-1,40-3,80)	0,04 \pm 0,09(-0,17-0,19)	1,04 \pm 9,75(-12,67-23,33)	0,00 \pm 0,05(-0,12-0,06)
	SIAD120	0,00 \pm 0,73(-2,03-1,37)	0,03 \pm 0,09(-0,12-0,19)	-1,38 \pm 16,85(-59,33-18,33)	0,00 \pm 0,05(-0,08-0,11)
	RUCH30	-0,01 \pm 0,37(-0,60-0,67)	0,02 \pm 0,09(-0,10-0,19)	-4,25 \pm 10,63(-32,00-10,33)	0,00 \pm 0,04(-0,07-0,05)
	RUCH120	0,15 \pm 0,79(-1,60-1,47)	-0,01 \pm 0,19(-0,59-0,18)	-2,33 \pm 10,42(-24,33-14,00)	-0,01 \pm 0,03(-0,08-0,07)
	ROL30	0,01 \pm 0,79(-2,63-0,87)	0,01 \pm 0,18(-0,55-0,29)	0,06 \pm 21,24(-67,33-37,00)	-0,02 \pm 0,07(-0,23-0,12)
	ROL120	0,14 \pm 0,51(-0,63-1,13)	0,00 \pm 0,07(-0,11-0,11)	2,15 \pm 10,99(-19,00-28,33)	0,00 \pm 0,04(-0,06-0,09)
B _{ND}	SIAD30	0,30 \pm 1,08(-1,20-2,90)	0,08 \pm 0,10(-0,09-0,28)	4,38 \pm 14,08(-15,00-26,33)	-0,02 \pm 0,05(-0,14-0,04)
	SIAD120	0,01 \pm 0,64(-0,87-1,37)	0,03 \pm 0,07(-0,14-0,13)	-3,62 \pm 13,70(-34,33-21,67)	0,00 \pm 0,04(-0,10-0,05)
	RUCH30	0,11 \pm 0,62(-1,27-1,13)	0,01 \pm 0,09(-0,15-0,21)	-2,81 \pm 15,68(-48,67-11,67)	0,01 \pm 0,07(-0,07-0,22)
	RUCH120	0,56 \pm 1,60(-1,00-5,97)	-0,01 \pm 0,19(-0,65-0,13)	8,38 \pm 30,81(-25,67-104,00)	-0,03 \pm 0,07(-0,22-0,08)
	ROL30	0,03 \pm 0,81(-2,27-1,90)	-0,02 \pm 0,16(-0,57-0,10)	0,23 \pm 29,37(-81,67-76,00)	-0,02 \pm 0,08(-0,28-0,08)
	ROL120	0,08 \pm 0,52(-0,97-0,70)	0,04 \pm 0,07(-0,12-0,15)	-1,08 \pm 6,58(-13,67-11,00)	0,00 \pm 0,04(-0,07-0,07)
D _D	SIAD30	0,15 \pm 0,67(-1,43-1,17)	-0,03 \pm 0,05(-0,11-0,07)	3,50 \pm 13,57(-24,67-22,33)	-0,02 \pm 0,05(-0,09-0,06)
	SIAD120	0,38 \pm 0,62(-0,33-2,23)	-0,01 \pm 0,05(-0,09-0,06)	7,31 \pm 11,00(-12,00-29,67)	-0,02 \pm 0,03(-0,09-0,03)
	RUCH30	0,32 \pm 0,60(-0,60-1,60)	-0,02 \pm 0,07(-0,17-0,10)	5,52 \pm 9,21(-7,00-20,67)	-0,03 \pm 0,03(-0,08-0,02)
	RUCH120	0,38 \pm 0,65(-0,67-1,93)	0,00 \pm 0,05(-0,07-0,10)	4,92 \pm 11,89(-15,67-28,67)	-0,02 \pm 0,04(-0,12-0,03)
	ROL30	0,52 \pm 1,31(-0,37-5,17)	-0,01 \pm 0,09(-0,20-0,14)	11,90 \pm 41,22(-7,33-164,33)	-0,04 \pm 0,08(-0,34-0,02)
	ROL120	0,21 \pm 0,42(-0,37-1,00)	-0,02 \pm 0,05(-0,10-0,09)	0,44 \pm 12,33(-22,67-19,00)	-0,02 \pm 0,04(-0,10-0,06)
D _{ND}	SIAD30	-0,18 \pm 0,52(-1,70-0,47)	0,00 \pm 0,06(-0,14-0,11)	-5,38 \pm 10,08(-31,33-13,33)	0,01 \pm 0,05(-0,05-0,13)
	SIAD120	0,04 \pm 0,52(-0,93-1,00)	0,01 \pm 0,06(-0,10-0,12)	-3,40 \pm 11,10(-25,67-15,00)	0,01 \pm 0,04(-0,04-0,08)
	RUCH30	0,00 \pm 0,77(-1,57-1,17)	0,01 \pm 0,07(-0,11-0,12)	-5,85 \pm 12,85(-31,33-14,00)	0,01 \pm 0,04(-0,05-0,10)
	RUCH120	0,12 \pm 0,99(-1,57-2,33)	0,00 \pm 0,04(-0,09-0,09)	-2,29 \pm 15,48(-26,00-33,00)	0,00 \pm 0,05(-0,13-0,07)
	ROL30	0,07 \pm 1,35(-1,30-4,87)	0,04 \pm 0,14(-0,12-0,46)	6,06 \pm 48,51(-20,33-185,33)	-0,02 \pm 0,11(-0,43-0,05)
	ROL120	-0,14 \pm 0,80(-2,30-0,83)	0,01 \pm 0,09(-0,27-0,18)	-7,48 \pm 18,25(-46,67-28,33)	0,03 \pm 0,05(-0,06-0,15)
N _D	SIAD30	0,00 \pm 0,48(-1,23-0,90)	0,03 \pm 0,08(-0,07-0,29)	1,54 \pm 10,51(-16,33-22,67)	-0,01 \pm 0,03(-0,06-0,04)
	SIAD120	-0,07 \pm 0,38(-0,70-0,63)	-0,01 \pm 0,07(-0,12-0,11)	1,23 \pm 13,00(-19,00-23,00)	0,01 \pm 0,04(-0,07-0,07)
	RUCH30	-0,04 \pm 0,43(-0,83-0,70)	-0,02 \pm 0,05(-0,15-0,06)	-0,92 \pm 11,60(-22,33-16,00)	0,00 \pm 0,03(-0,04-0,06)
	RUCH120	-0,11 \pm 0,44(-0,70-0,87)	0,01 \pm 0,05(-0,08-0,13)	-4,13 \pm 11,39(-19,67-20,00)	0,02 \pm 0,03(-0,05-0,07)
	ROL30	-0,52 \pm 1,20(-4,70-0,40)	-0,01 \pm 0,06(-0,12-0,08)	-14,15 \pm 38,80(-155,67-9,33)	0,03 \pm 0,08(-0,05-0,31)
	ROL120	-0,09 \pm 0,57(-1,07-1,27)	0,02 \pm 0,06(-0,07-0,22)	-3,83 \pm 17,99(-37,00-40,67)	0,01 \pm 0,05(-0,10-0,10)
N _{ND}	SIAD30	-0,03 \pm 0,36(-0,57-0,57)	0,02 \pm 0,07(-0,07-0,25)	1,58 \pm 9,00(-12,67-24,00)	-0,01 \pm 0,03(-0,07-0,04)
	SIAD120	-0,03 \pm 0,43(-0,67-1,20)	0,00 \pm 0,07(-0,19-0,07)	-0,75 \pm 9,23(-15,67-22,00)	0,00 \pm 0,03(-0,08-0,04)
	RUCH30	-0,09 \pm 0,47(-1,00-0,63)	0,00 \pm 0,08(-0,25-0,07)	-1,77 \pm 13,16(-26,33-16,67)	0,00 \pm 0,04(-0,07-0,09)
	RUCH120	-0,29 \pm 0,28(-0,83-0,10)	-0,02 \pm 0,05(-0,13-0,09)	-10,02 \pm 7,78(-30,33-1,33)	0,03 \pm 0,03(-0,02-0,09)
	ROL30	-0,46 \pm 1,28(-5,10-0,53)	-0,03 \pm 0,13(-0,49-0,08)	-15,38 \pm 48,13(-192,00-13,67)	0,04 \pm 0,10(-0,04-0,40)
	ROL120	-0,35 \pm 0,40(-1,50-0,03)	0,00 \pm 0,07(-0,14-0,18)	-9,42 \pm 14,80(-51,33-12,00)	0,03 \pm 0,03(-0,02-0,10)

4.7.2 Założenia analizy wariancji

Empiryczne rozkłady delt w poszczególnych grupach obserwacji wykazywały liczne odchylenia od rozkładu normalnego (Tabela 30). Wyniki testu Levene'a wskazują natomiast na zachowanie jednorodności wariancji.

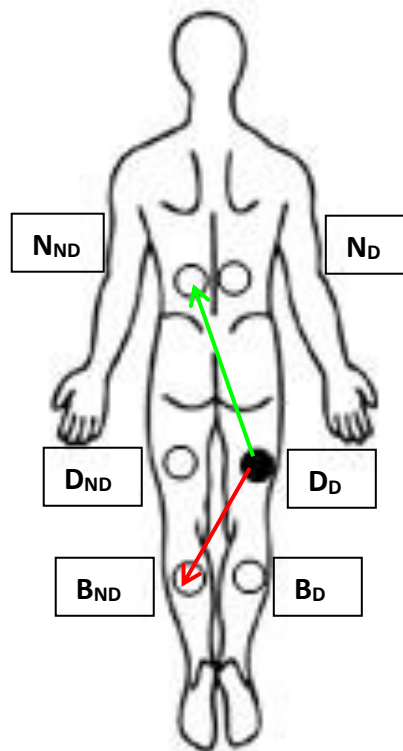
Tabela 30. Wyniki testów odchylenia od rozkładu normalnego Shapiro-Wilka (S-W) dla poszczególnych zmiennych zależnych i równości macierzy wariancji dla testu ANOVA – test Levene'a (L). Kolejne wiersze przedstawiają wartości P we wszystkich grupach dla poszczególnych zmiennych zależnych dla każdego z punktów. CZ – częstotliwość oscylacji; SZ – sztywność; T – tłumienie; De – liczba Debory.

Punkt	Grupa	Parametr							
		CZ		T		SZ		De	
		S-W	L	S-W	L	S-W	L	S-W	L
B _D	SIAD30	0,01		0,59		0,69		0,45	
	SIAD120	0,02		0,25		0,00		0,58	
	RUCH30	0,61		0,70		0,22		0,31	
	RUCH120	0,88		0,00		0,09		0,45	
	ROL30	0,00		0,01		0,00		0,00	
	ROL120	0,74	0,06	0,80	0,14	0,63	0,81	0,53	0,77
B _{ND}	SIAD30	0,53		0,44		0,27		0,36	
	SIAD120	0,03		0,50		0,97		0,04	
	RUCH30	0,56		0,66		0,00		0,00	
	RUCH120	0,00		0,00		0,00		0,00	
	ROL30	0,00		0,00		0,00		0,00	
	ROL120	0,25	0,18	0,71	0,40	0,65	0,32	0,97	0,62
D _D	SIAD30	0,24		0,73		0,68		0,25	
	SIAD120	0,01		0,23		0,85		0,84	
	RUCH30	0,63		0,81		0,31		0,74	
	RUCH120	0,38		0,45		0,86		0,01	
	ROL30	0,00		0,51		0,00		0,00	
	ROL120	0,50	0,43	0,70	0,30	0,56	0,24	0,30	0,53
D _{ND}	SIAD30	0,02		0,69		0,52		0,17	
	SIAD120	0,99		0,91		0,83		0,51	
	RUCH30	0,45		0,20		0,34		0,68	
	RUCH120	0,14		0,63		0,25		0,12	
	ROL30	0,00		0,01		0,00		0,00	
	ROL120	0,06	0,55	0,02	0,07	0,99	0,19	0,74	0,47
N _D	SIAD30	0,33		0,00		0,91		0,56	
	SIAD120	0,93		0,39		0,45		0,84	
	RUCH30	0,82		0,20		0,58		0,09	
	RUCH120	0,19		0,96		0,58		0,49	
	ROL30	0,00		0,13		0,00		0,00	
	ROL120	0,49	0,24	0,00	0,84	0,46	0,25	0,70	0,44
N _{ND}	SIAD30	0,43		0,00		0,22		0,78	
	SIAD120	0,02		0,02		0,03		0,12	
	RUCH30	0,61		0,00		0,40		0,98	
	RUCH120	0,27		0,07		0,06		0,57	
	ROL30	0,00		0,00		0,00		0,00	
	ROL120	0,00	0,21	0,35	0,65	0,04	0,09	0,06	0,12

kolor czerwony - wynik istotny statystycznie

4.7.3 Analiza różnic pomiędzy punktami

Oceniając zróżnicowanie wielkości zmian parametrów biomechanicznych (tj. ich delt) pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi w znaczącej większości porównań, stwierdzono brak istotnych różnic, jednak z dwoma wyjątkami. Pierwszym z nich był parametr T w grupie SIAD30, w punkcie B_{ND}, gdzie delta była istotnie większa niż w punkcie aplikowania interwencji ($P = 0,01$; czerwona strzałka na Rycinie 15). Druga istotna różnica została zaobserwowana dla parametru De w grupie RUCH120, w punkcie N_{ND}, gdzie delta także była istotnie większa niż w punkcie aplikowania interwencji ($P = 0,02$; zielona strzałka na Rycinie 10).



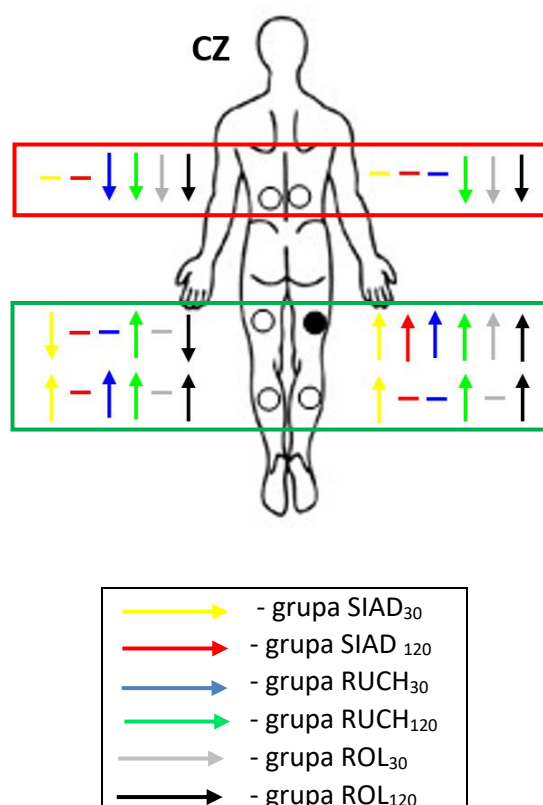
Rycina 10. Istotne różnice zmian wartości parametrów biomechanicznych pomiędzy pomiarem końcowym a pomiarem wyjściowym (tzw. delt) pomiędzy punktami pomiarowymi. Zaznaczono (zielona strzałka) istotną różnicę ($P = 0,01$) pomiędzy deltami parametru T dla punktów D_D (czarne koło – miejsce aplikacji FR) i N_{ND} (punkt oddalony od miejsca aplikacji FR) w grupie SIAD30, jak również (czerwona strzałka) istotną różnicę ($P = 0,02$) pomiędzy deltami parametru De dla punktów D_D i B_{ND} w grupie RUCH120. Pozostałe różnice delt wyników pomiędzy punktami nie były istotne statystycznie. Źródło: materiał własny.

4.8 Podsumowanie wyników

By dokonać podsumowania w znacznym stopniu, jak dotąd, rozdrobnionych wyników na zakończenie przedstawiono uproszczoną, graficzną analizę zmian

poszczególnych parametrów biomechanicznych w poszczególnych punktach pomiarowych i dla poszczególnych grup, wykorzystując w tym celu strzałki wskazujące jedynie, czy dany parametr w danym punkcie i grupie zwiększał się wartość, czy też zmniejszał. Działanie takie uznano za stosowne, gdyż pomimo braku istotnych różnic wewnątrz- i międzygrupowych zaobserwowano w wynikach pewne tendencje, które warte są zaanonsowania.

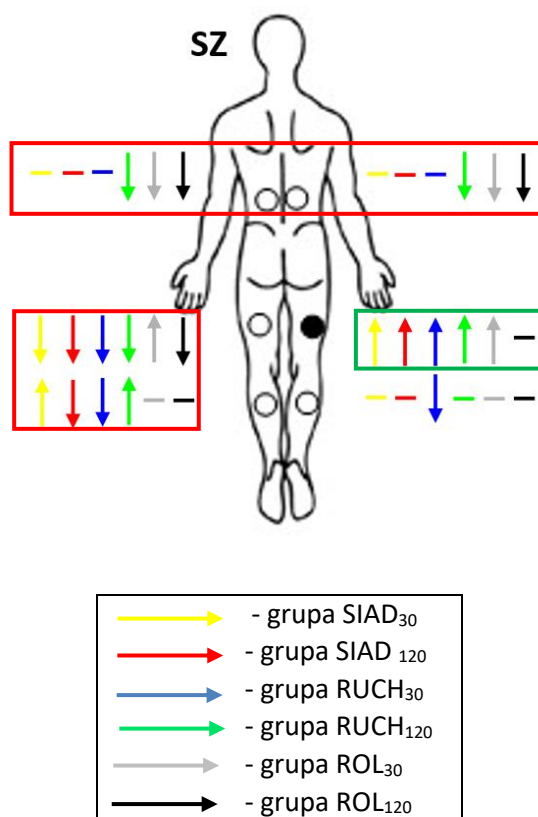
Kierunki zmian w parametrach CZ (Rycina 11) oraz SZ (Rycina 12) były do siebie podobne bez względu na zastosowaną interwencję. Podobieństwo dotyczy szczególnie punktów położonych odległe od miejsca interwencji ipsilateralnie (N_D) oraz kontralateralnie (N_{ND}). W tych miejscach zaobserwowano zmniejszenie wartości parametrów w grupach z aktywną interwencją (RUCH lub ROL) niezależnie od czasu interwencji i jednocześnie brak zmian wartości parametrów w we wszystkich grupach z interwencją statyczną (SIAD) niezależnie od czasu jej trwania.



Rycina 11. Tendencje zmian zachodzących w obrębie parametru CZ tkanki mięśniowo-powięziowej w każdym z punktów pomiarowych i dla każdej z grup. Kolory znaków odpowiadają grupom przyporządkowanym im w legendzie. Zwroty strzałek wskazują kierunek zmian (wzrost/spadek). Ramkami oznaczono miejsca, w których dla danego parametru i w danym punkcie rejestrowano jednolite kierunki zmian niemal we wszystkich grupach. Kolor zielony ramki oznacza jednolitą

tendencję wzrostową, kolor czerwony – tendencję spadkową. Okręgi przedstawiają poszczególne punkty, czarne koło oznacza punkt interwencji (na rycinie dla większej przejrzystości jest on przedstawiony po prawej stronie, jednak w rzeczywistości przedstawia on punkt w kończynie dolnej dominującej).

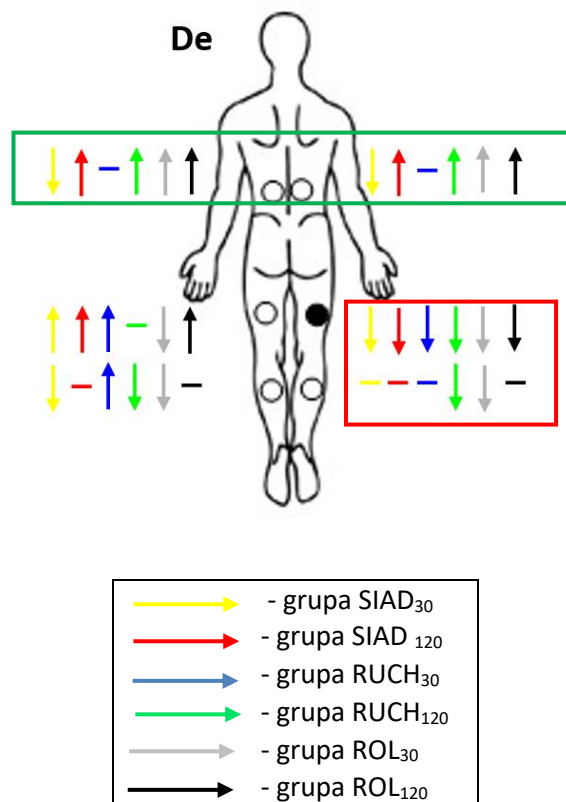
W obrębie tych dwóch parametrów zaobserwowano także niemal identyczne kierunki zmiany wartości w punkcie interwencji (DD). W przeciwieństwie do oddziaływania w odległych punktach, miejscowo wartość obu parametrów wzrosła. Główną różnicą pomiędzy tymi parametrami są zmiany zaobserwowane w punktach odległych od miejsca interwencji, w obrębie kończyn dolnych. W opozycji do obserwacji miejscowych odnotowano zmniejszenie wartości parametru SZ w kończynie dolnej kontralateralnej w większości grup oraz ipsilateralnie w obrębie jedynej zaobserwowanej różnicy. W przypadku parametru CZ zmiany odległe od punktu aplikacji w obrębie kończyn dolnych mają ten sam kierunek co zmiany lokalne zwiększając wartości po zastosowaniu większości spośród eksperymentalnych interwencji.



Rycina 12. Tendencje zmian zachodzących w obrębie parametru SZ tkanki mięśniowo-powięziowej w każdym z punktów pomiarowych i dla każdej z grup. Kolory znaków odpowiadają grupom przyporządkowanym im w legendzie. Zwroty strzałek wskazują kierunek zmian (wzrost/spadek).

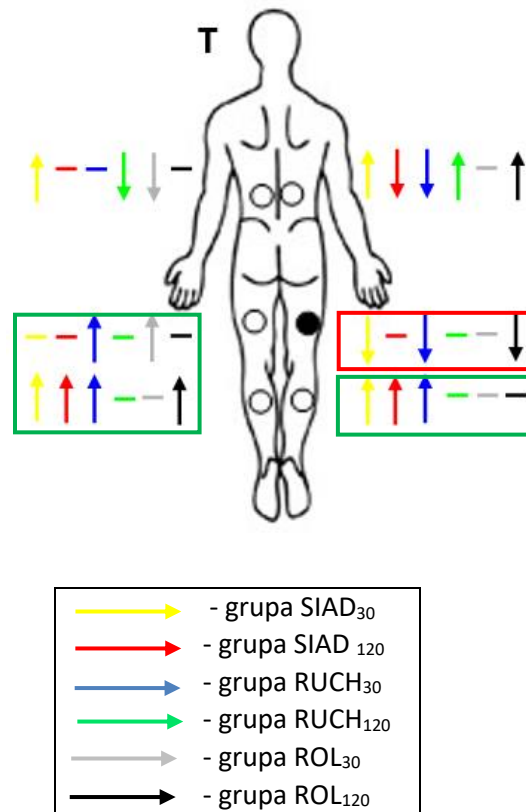
Ramkami oznaczono miejsca, w których dla danego parametru i w danym punkcie rejestrowano jednolite kierunki zmian niemal we wszystkich grupach. Kolor zielony ramki oznacza jednolitą tendencję wzrostową, kolor czerwony – tendencję spadkową. Okręgi przedstawiają poszczególne punkty, czarne koło oznacza punkt interwencji (na rycinie dla większej przejrzystości jest on przedstawiony po prawej stronie, jednak w rzeczywistości przedstawia on punkt w kończynie dolnej dominującej).

W obrębie parametru De (Rycina 13) odnotowano odwrotne kierunki zmian w przypadku punktów N_D , N_{ND} oraz D_D w obrębie większości interwencji w stosunku do parametrów SZ i CZ. Wartości De zmniejszały się miejscowo, a wzrastały w punktach odległych (ipsi- i kontralateralnie powyżej miejsca interwencji oraz kontralateralnie poniżej). Dodatkowo zaobserwowano te same kierunki zmian miejscowo i w punkcie odległym, ipsilateralnie poniżej, gdzie wartości tego parametru także się zmniejszały.



Rycina 13. Tendencje zmian zachodzących w obrębie parametru De tkanki mięśniowo-powięziowej w każdym z punktów pomiarowych i dla każdej z grup. Kolory znaków odpowiadają grupom przyporządkowanym im w legendzie. Zwroty strzałek wskazują kierunek zmian (wzrost/spadek). Ramkami oznaczono miejsca, w których dla danego parametru i w danym punkcie rejestrowano jednolite kierunki zmian niemal we wszystkich grupach. Kolor zielony ramki oznacza jednolitą tendencję wzrostową, kolor czerwony – tendencję spadkową. Okręgi przedstawiają poszczególne punkty, czarne koło oznacza punkt interwencji (na rycinie dla większej przejrzystości jest on przedstawiony po prawej stronie, jednak w rzeczywistości przedstawia on punkt w kończynie dolnej dominującej).

Parametr T (Rycina 14) miejscowo zmniejszył swoją wartość po interwencji, podczas gdy w odległych punktach kończyny dolnej zaobserwowano wzrost tego parametru. Nie zaobserwowano innych tendencji wśród przeprowadzonych analiz.



Rycina 14. Tendencje zmian zachodzących w obrębie parametru T tkanki mięśniowo-powięziowej w każdym z punktów pomiarowych i dla każdej z grup. Kolory znaków odpowiadają grupom przyporządkowanym im w legendzie. Zwroty strzałek wskazują kierunek zmian (wzrost/spadek). Ramkami oznaczono miejsca, w których dla danego parametru i w danym punkcie rejestrowano jednolite kierunki zmian niemal we wszystkich grupach. Kolor zielony ramki oznacza jednolitą tendencję wzrostową, kolor czerwony – tendencję spadkową. Okręgi przedstawiają poszczególne punkty, czarne koło oznacza punkt interwencji (na rycinie dla większej przejrzystości jest on przedstawiony po prawej stronie, jednak w rzeczywistości przedstawia on punkt w kończynie dolnej dominującej).

5. Wnioski

1. Wartości poddanych ocenie parametrów biomechanicznych tkanki mięśniowo-powięziowej nie uległy zmianie po zastosowaniu FR dla grupy mięśni kulszowo-goleniowych dominującej kończyny dolnej w obrębie poszczególnych grup badawczych (brak istotnych różnic wewnątrzgrupowych) zarówno lokalnie w miejscu interwencji, jak i ogólnoustrojowo, w punktach oddalonych od miejsca interwencji.
2. Wartości parametrów biomechanicznych nie wykazały zróżnicowania zależnego od czasu trwania interwencji (brak istotnych różnic międzygrupowych dla czynnika CZAS (30 s vs. 120 s)).
3. Wartości parametrów biomechanicznych nie wykazały zróżnicowania zależnego od czynnika terapeutycznego obecnego w interwencji (brak istotnych różnic międzygrupowych dla czynnika INTERWENCJA (SIAD vs. RUCH vs. ROL)).
4. Wielkość zmian wartości parametrów biomechanicznych pomiędzy punktem interwencji a punktami odległymi od niego wykazała zróżnicowanie jedynie w dwóch wypadkach, bez żadnej wartości merytorycznej. Różnice te należy uznać za przypadkowe, co decyduje o falsyfikacji postawionej hipotezy.

Wnioski aplikacyjne:

1. Na podstawie przeprowadzonych badań nie można stwierdzić, że FR ma wpływ na parametry biomechaniczne tkanki mięśniowo-powięziowej mierzone w pozycji statycznej z pomocą narzędzia MyotonPRO u młodych, zdrowych mężczyzn o średniej aktywności. Używanie sformułowania „rozluźnienie” musi wobec tego być używane ze szczególną ostrożnością.
2. Wobec solidnych dowodów dokumentujących krótkotrwałe zwiększenie zakresu ruchu w stawach po zastosowaniu FR, wyniki badań opisanych w dysertacji mogą stanowić interesujący argument w dyskusji nad wykorzystaniem FR w treningu sportowym.

6. Bibliografia

1. Adamczyk JG, Gryko K, Boguszewski D (2020) Does the type of foam roller influence the recovery rate, thermal response and DOMS prevention? *PLoS One* 15:1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0235195
2. Agyapong-Badu S, Warner MB, Samuel D, Stokes M (2016) Measurement of ageing effects on muscle tone and mechanical properties of rectus femoris and biceps brachii in healthy males and females using a novel hand-held myometric device. *Arch Gerontol Geriatr* 62:59–67. doi: 10.1016/j.archger.2015.09.011
3. Amirova LE, Plehuna A, Rukavishnikov I V., Saveko AA, Peipsi A, Tomilovskaya ES (2021) Sharp Changes in Muscle Tone in Humans Under Simulated Microgravity. *Front Physiol* 12:1–12. doi: 10.3389/fphys.2021.661922
4. Beardsley C, Škarabot J (2015) Effects of self-myofascial release: A systematic review. *J Bodyw Mov Ther* 19:747–758. doi: 10.1016/j.jbmt.2015.08.007
5. Bizzini M, Mannion AF (2003) Reliability of a new, hand-held device for assessing skeletal muscle stiffness. *Clin Biomech* 18:459–461. doi: 10.1016/S0268-0033(03)00042-1
6. Bravo-Sánchez A, Abián P, Sánchez-Infante J, Esteban-Gacia P, Jiménez F, Abián-Vicén J (2021) Objective assessment of regional stiffness in vastus lateralis with different measurement methods: A reliability study. *Sensors* 21. doi: 10.3390/s21093213
7. Cattalini M, Khubchandani R, Cimaz R (2015) When flexibility is not necessarily a virtue: A review of hypermobility syndromes and chronic or recurrent musculoskeletal pain in children. *Pediatr Rheumatol* 13:1–9. doi: 10.1186/s12969-015-0039-3
8. Chang TT, Li Z, Zhu YC, Wang XQ, Zhang ZJ (2021) Effects of Self-Myofascial Release Using a Foam Roller on the Stiffness of the Gastrocnemius-Achilles Tendon Complex and Ankle Dorsiflexion Range of Motion. *Front Physiol* 12. doi: 10.3389/fphys.2021.718827
9. Cheatham SW, Baker R (2017) Differences in pressure pain threshold among men and women after foam rolling. *J Bodyw Mov Ther* 21:978–982. doi: 10.1016/j.jbmt.2017.06.006
10. Cheatham SW, Kolber MJ, Cain M, Lee M (2015) The Effects of Self-Myofascial Release Using a Foam Roll or Roller Massager on Joint Range of Motion, Muscle Recovery, and Performance: a Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther* 10:827–38
11. Cheatham SW, Stull KR (2018) Roller Massage: a Commentary on Clinical Standards and Survey of Physical Therapy Professionals- Part 1. *Int J Sports Phys Ther* 13:763–772. doi: 10.26603/ijspt20180763
12. Cheatham SW, Stull KR (2019) Roller massage: Comparison of three different surface type pattern foam rollers on passive knee range of motion and pain perception. *J Bodyw Mov Ther* 23:555–560. doi:

10.1016/j.jbmt.2019.05.002

13. Chuang LL, Wu CY, Lin KC, Lur SY (2012) Quantitative mechanical properties of the relaxed biceps and triceps brachii muscles in patients with subacute stroke: A reliability study of the Myoton-3 myometer. *Stroke Res Treat* 2012. doi: 10.1155/2012/617694
14. Curran PF, Fiore RD, Crisco JJ (2008) A comparison of the pressure exerted on soft tissue by 2 myofascial rollers. *J Sport Rehabil* 17:432–442. doi: 10.1123/jsr.17.4.432
15. Dębski P, Białas E, Gnat R (2019) The parameters of foam rolling, self-myofascial release treatment: A review of the literature. *Biomed Hum Kinet* 11:36–46. doi: 10.2478/bhk-2019-0005
16. Ditroilo M, Hunter AM, Haslam S, De Vito G (2011) The effectiveness of two novel techniques in establishing the mechanical and contractile responses of Biceps Femoris. *Physiol Meas* 32:1315. doi: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/32/8/020>
17. Earls J, Myers T (2012) Rozluźnianie powięziowe dla równowagi strukturalnej, Wyd. I. WSEiT, Poznań, s. 297. ISBN: 978-83-934424-4-7
18. Feng YN, Li YP, Liu CL, Zhang ZJ (2018) Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO. *Sci Rep* 8:1–9. doi: 10.1038/s41598-018-34719-7
19. Freiwald J, Baumgart C, Kühnemann M, Hoppe MW (2016) Foam-Rolling in Sport und Therapie – Potentieller Nutzen und Risiken. *Sport Orthop Traumatol* 32:267–275. doi: 10.1016/j.orthtr.2016.07.002
20. Garcia-Bernal MI, Heredia-Rizo AM, Gonzalez-Garcia P, Cortés-Vega MD, Casuso-Holgado MJ (2021) Validity and reliability of myotonometry for assessing muscle viscoelastic properties in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 11:1–12. doi: 10.1038/s41598-021-84656-1
21. Gavronski G, Veraksitš A, Vasar E, Maaros J (2007) Evaluation of viscoelastic parameters of the skeletal muscles in junior triathletes. *Physiol Meas* 28:625–637. doi: 10.1088/0967-3334/28/6/002
22. Grabow L, Young JD, Alcock LR, Quigley PJ, Byrne JM, Granacher U, Škarabot J, Behm DG (2018) Higher quadriceps roller massage forces do not amplify range-of-motion increases nor impair strength and jump performance. *J Strength Cond Res* 32:3059–3069. doi: 10.1519/jsc.0000000000001906
23. Grahame R (1999) Joint hypermobility and genetic collagen disorders: Are they related? *Arch Dis Child* 80:188–191. doi: 10.1136/adc.80.2.188
24. Janecki D, Jarocka E, Jaskólska A, Marusiak J, Jaskólski A (2011) Muscle passive stiffness increases less after the second bout of eccentric exercise compared to the first bout. *J Sci Med Sport* 14:338–343. doi: 10.1016/j.jsams.2011.02.005
25. Jay K, Sundstrup E, Søndergaard SD, Behm D, Brandt M, Særvoll CA, Jakobsen MD, Andersen LL (2014) Specific and cross over effects of massage for muscle soreness: randomized controlled trial. *Int J Sports Phys*

26. Junker DH, Stöggel TL (2015) The Foam Roll as a Tool to Improve Hamstring Flexibility. *J Strength Cond Res* 29:3480–3485. doi: 10.1519/JSC.0000000000001007
27. Koo TK, Li MY (2016) A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 15:155–163. doi: 10.1016/j.jcm.2016.02.012
28. Laffaye G, Da Silva DT, Delafontaine A (2019) Self-Myofascial Release Effect With Foam Rolling on Recovery After High-Intensity Interval Training. *Front Physiol* 10. doi: 10.3389/fphys.2019.01287
29. Lee Y, Kim M, Lee H (2021) The Measurement of Stiffness for Major Muscles with Shear Wave Elastography and Myoton: A Quantitative Analysis Study. *Diagnostics* 11:524. doi: 10.3390/diagnostics11030524
30. Macdonald GZ, Button DC, Drinkwater EJ, Behm DG (2014) Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 46:131–142. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182a123db
31. MacDonald GZ, Penney MDH, Mullaley ME, Cuconato AL, Drake CDJ, Behm DG, Button DC (2013) An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. *J Strength Cond Res* 27:812–821. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825c2bc1
32. Madoni SN, Costa PB, Coburn JW, Galpin AJ (2018) Effects of foam rolling on range of motion, peak torque, muscle activation, and the hamstrings-to-quadriceps strength ratios. *J Strength Cond Res* 32:1821–1830. doi: 10.1519/JSC.0000000000002468
33. Marusiak J, Kisiel-Sajewicz K, Jaskólska A, Jaskólski A (2010) Higher Muscle Passive Stiffness in Parkinson’s Disease Patients Than in Controls Measured by Myotonometry. *Arch Phys Med Rehabil* 91:800–802. doi: 10.1016/j.apmr.2010.01.012
34. Mencil J, Marusiak J, Jaskólska A, Jaskólski A, Kisiel-Sajewicz K (2021) Impact of the location of myometric measurement points on skeletal muscle mechanical properties outcomes. *Muscles Ligaments Tendons J* 11:525–535. doi: 10.32098/mltj.03.2021.18
35. Monteiro ER, Cavanaugh MT, Frost DM, Novaes J da S (2017) Is self-massage an effective joint range-of-motion strategy? A pilot study. *J Bodyw Mov Ther* 21:223–226. doi: 10.1016/j.jbmt.2016.10.003
36. Pearcey GEP, Bradbury-Squires DJ, Kawamoto JE, Drinkwater EJ, Behm DG, Button DC (2015) Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures. *J Athl Train* 50:5–13. doi: 10.4085/1062-6050-50.1.01
37. Pérez-Bellmunt A, Llorca-Almuzara L, Simon M, Navarro R, Casasayas O, López-de-celis C, Seijas R, Alvarez P (2019) Neuromuscular Response What is it and How to Measure it ? *Phys Med Rehabil J* 2:118
38. Plastaras CT (2013) Non-Operative Management of a Cervical Zygoapophyseal Joint Cyst: Case Report. *J Pain Reli* 02. doi:

10.4172/jnd.1000116

39. Schlager A, Ahlqvist K, Rasmussen-Barr E, Bjelland EK, Pingel R, Olsson C, Nilsson-Wikmar L, Kristiansson P (2018) Inter- and intra-rater reliability for measurement of range of motion in joints included in three hypermobility assessment methods. *BMC Musculoskelet Disord* 19:1–10. doi: 10.1186/s12891-018-2290-5
40. Schroeder J, Renk V, Braumann KM, Hollander K (2017) Akute Foamroll-Effekte auf kontraktile Eigenschaften des Bizeps femoris: Eine randomisierte Cross-over-Pilotstudie. *Ger J Exerc Sport Res* 47:294–300. doi: 10.1007/s12662-017-0467-y
41. Stanisław A (2007) Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 2. Modele liniowe i nieliniowe., Wyd. II. StatSoft Polska, Kraków, s.301. ISBN: 978-83-88724-30-5
42. Stanisław A (2007) Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 2. Modele liniowe i nieliniowe., Wyd. II. StatSoft Polska, Kraków, s.649. ISBN: 978-83-88724-30-5
43. Wiewelhove T, Döweling A, Schneider C, Hottenrott L, Meyer T, Kellmann M, Pfeiffer M, Ferrauti A (2019) A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Front Physiol* 10. doi: 10.3389/fphys.2019.00376
44. Yanaoka T, Yoshimura A, Iwata R, Fukuchi M, Hirose N (2021) The effect of foam rollers of varying densities on range of motion recovery. *J Bodyw Mov Ther* 26:64–71. doi: 10.1016/j.jbmt.2020.09.002
45. (2020) MyotonPRO Digital Palpation Device USER MANUAL [instrukcja obsługi]