

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
WE WROCŁAWIU

Marcin Urbaniak

**REGENERACJA POWYSIŁKOWA U KARATEKÓW A MOC  
MAKSYMALNA I PRÓG BOLESNOŚCI MIĘŚNI  
SZKIELETOWYCH.**

Rozprawa doktorska wykonana Zakładzie Sportu Paraolimpijskiego

Promotor:  
dr hab. Adam Kawczyński  
prof. AWF Wrocław

**Wrocław 2021**

## Spis treści

1. WSTĘP.....	3
2. METODY I MATERIAŁ BADAWCZY .....	8
2.1.Materiał badawczy .....	8
2.2.Metody .....	9
2.3.Trening siłowy.....	10
2.4.Próg bolesności mięśniowej .....	10
2.5.Algometria.....	12
2.6.Moc maksymalna .....	12
2.7.System Opto-Jump .....	13
2.8.Masaż tkanek głębokich .....	13
2.9.Metody statystyczne .....	14
3. WYNIKI.....	15
3.1.Próg bolesności mięśniowej .....	15
3.2.Moc maksymalna .....	17
4. DYSKUSJA .....	19
5. WNIOSKI .....	25
6. LITERATURA.....	26
7. SPIS TABEL, RYCIN I WYKRESÓW .....	34
8. SUMMARY .....	35

## 1. WSTĘP

Historia karate – dosłownie - pusta dłoń, sięga XVII-wiecznej Japonii. Wtedy to Japończycy podbili wyspę Okinawa i zakazali posługiwania się jakąkolwiek bronią, doprowadziło to do stworzenia sztuki walki jaką jest obecnie karate (Chaahène i wsp. 2012). Według światowej organizacji karate (WKF) na świecie znajduje się około 100 milionów osób trenujących karate w różnych jego odmianach. Niezależnie od odmiany zawody w tej dyscyplinie możemy podzielić na dwie kategorie: kata oraz kumite. Kata polega na wykonaniu opracowanej sekwencji ruchów ofensywnych i/lub obronnych w określonych ramach czasowych – od 60 do 80 sekund, w trakcie których oceniane są takie składowe jak: rytm, technika, siła, ekspresyjność czy napięcie izometryczne mięśni na końcu wykonywanego ruchu. Każda sekunda poniżej lub powyżej czasu określonego na wykonanie sekwencji wiąże się z przyznaniem ujemnych punktów. W przypadku kumite dochodzi do konfrontacji dwóch zawodników, którzy to mogą dowolnie się przemieszczać oraz uderzać i kopać. Dozwolonymi obszarami uderzeń i kopnięć są: głowa, twarz, klatka piersiowa, brzuch, plecy. Akcje są punktowane od jednego do trzech i wyróżnia się: Yuko – 1 punkt; Wazaari – 2 punkty oraz Ippon – 3 punkty. Walki trwają maksymalnie 3 minuty w walkach seniorów mężczyzn oraz 2 minuty w przypadku kobiet (Chaahène i wsp. 2012). Niezwykle ważne jest wygenerowanie dużej siły w krótkim czasie i wykonanie akcji obronnej bądź ataku w zależności od sytuacji (Chaahène i wsp. 2012). Jak w każdej dyscyplinie rodzaj wysiłku w trakcie zawodów determinuje dobór odpowiednich metod treningowych. Poza specyficznym treningiem sportowym, ważne jest przygotowanie ogólnokondycyjne, w skład, którego wchodzić ćwiczenia koncentryczne, ekscentryczne oraz izometryczne, kształtujące siłę i wytrzymałość. Ze względu na charakterystykę wysiłku wykonywanego przez zawodników karate, wybrany został trening ekscentryczny.

### Ćwiczenia ekscentryczne

Na poziomie mechanicznym skurcz ekscentryczny polega na aktywnym wydłużaniu napiętego mięśnia pod wpływem działającej siły zewnętrznej (Herzog i wsp. 2014). Naukowcy nie mają jednak jasnej odpowiedzi na to w jaki sposób dochodzi do uzyskania większej siły mięśniowej w stosunku do innych rodzajów skurczu (Franchi i wsp. 2017). Jest kilka sposobów w jakie badacze starają się tłumaczyć poziom uzyskiwanej siły

mięśniowej

w pracy ekscentrycznej. Według jednej z nich w trakcie aktywnego rozciągania mięśnia w połączeniu miozyny z aktyną biorą udział obie główki filamentu miozynowego a nie jak w przypadku skurczu koncentrycznego tylko jedna z nich, pozwalając na utrzymanie dużej liczby połączeń pomiędzy filamentami co przekłada się na wyższą wartość uzyskiwanej siły (Douglas i wsp. 2016). Inna teoria opisuje udział tytyny, białka łączącego miozynę z linią Z sarkomeru, pełniącą funkcję stabilizacyjną dla jednostki kurczliwej. Struktura ta pozwala na magazynowanie energii potencjalnej w trakcie pracy ekscentrycznej poprzez swoją sprężynowatą budowę, a także zachowanie siły mięśnia w trakcie osłabiania połączeń pomiędzy aktyną i miozyną poprzez swoje usztywnienie. Pozwala to również na zapobiegnięcie uszkodzeniom mięśni w trakcie aktywnego rozciągania (Herzog i wsp. 2015). Rola tytyny jako elementu pozwalającego na uzyskiwanie większej siły w trakcie pracy ekscentrycznej tłumaczyłaby również fakt zmniejszonego zapotrzebowania energetycznego w trakcie takiej pracy w stosunku do pracy koncentrycznej i jej większej wydajności metabolicznej (Hessel i wsp. 2017).

Ćwiczenia ekscentryczne charakteryzują w porównaniu z treningiem koncentrycznym: szybszą, wcześniejszą i bardziej rozległą aktywacją korową w trakcie wykonywania ruchu, zmniejszoną aktywacją sympatyczną mięśni, odwróconym wzorcem aktywacji jednostki motorycznej, szybszą adaptacją nerwową następującą po treningu oporowym, mniejszą amplitudą sygnału elektromiograficznego przy podobnej generowanej sile oraz silniejszym sygnałem EMG poprzedzającym ruch, zjawiskiem określanym „cross education” (Roig i wsp. 2009, Hedayatpour i wsp. 2015).

#### Regeneracja powysiłkowa

Regeneracja powysiłkowa jest nieodłącznym elementem profesjonalnego treningu sportowego. Intensywny wysiłek fizyczny wywołuje zmęczenie, podniesienie temperatury ciała, ubytek substratów energetycznych, uszkodzenia tkanek czy odwodnienie. W konsekwencji dochodzi do obciążenia w obrębie układów: nerwowego, zarówno centralnego jak i obwodowego; krwionośnego, oddechowego, wydalniczego, endokrynnego czy odpornościowego. Celem restytucji jest przywrócenie homeostazy poprzez uzupełnienie zapasów energetycznych oraz niezbędnej ilości płynów, regeneracja uszkodzonych tkanek

oraz przywrócenie równowagi w pracy wszystkich układów organizmu (Peake 2019). W trakcie powrotu organizmu do pełni sił, uzupełniany jest poziom glikogenu w mięśniach oraz w wątrobie, dochodzi do syntezy białek budulcowych mięśni w celu regeneracji uszkodzonych włókien mięśniowych. Dostępne piśmiennictwo opisuje wiele metod regeneracji powysiłkowej, oprócz poruszanych w tym podrozdziale środków manualnych jak na przykład masaż, opisywane są również takie środki jak; odżywianie (Hauswirth i wsp. 2011), suplementacja (Ammar i wsp. 2018), nawadnianie (Keen i wsp. 2016), zakładanie odpowiedniej odzieży (Bieuzen i wsp. 2014), aktywny wypoczynek (Mika i wsp. 2016) czy zabiegi fizykalne (Fonda i wsp. 2013).

Poza przyjmowaniem pokarmów i płynów, czy zabiegami fizykalnymi takimi jak: : wibracja (Aminian-Far i wsp. 2011, Imtiyaz i wsp. 2014), kąpiele w zimnej wodzie (Ascensão i wsp. 2011, Bastos i wsp. 2012, Klich i wsp. 2018), krioterapia (Fonda i wsp. 2013), elektroterapię (Wang i wsp. 2017), laseroterapia (Leal Junior i wsp. 2008), występuje duża grupa środków manualnych stosowanych jako forma restytucji powysiłkowej. Możemy do nich zaliczyć: masaż (Kong i wsp. 2018), terapię manualną (Heapy i wsp. 2018), rolowanie (Richman i wsp. 2018), punkty spustowe (Devereux i wsp. 2018) czy suche igłowanie (Bandy i wsp. 2017). Każda z zastosowanych procedur ma swoje zalety. W przypadku zabiegów fizykalnych można w krótkim czasie objąć restytucją powysiłkową grupę zawodników, nie jest wymagany liczny personel przeprowadzający proces odnowy. Biorąc pod uwagę środki manualne, opierają się one o pracę indywidualną zawodnika z terapeutą, pozwalając na bardziej ukierunkowane działania restytucyjne, skierowane na dany obszar, wskazany przez zawodnika lub parametry regeneracyjne.

#### Parametry regeneracji powysiłkowej

W każdej z wyżej wymienionych wyżej metod naukowcy zajmują się zależnościami pomiędzy różnymi parametrami, których zmiany towarzyszą procesowi regeneracji i są charakterystyczne dla testowanego rodzaju wysiłku fizycznego. Analizując zastosowanie szerokiej gamy środków regeneracyjnych, brane są pod uwagę różne czynniki świadczące o poziomie zmęczenia i stopnia regeneracji powysiłkowej. W dostępnym piśmiennictwie brak jednolitego sposobu badania zależności pomiędzy zastosowaną procedurą regeneracyjną, a jej wpływem na prędkość powrotu organizmu do pełni sił. W opracowaniach naukowych

możemy znaleźć takie właściwości odnoszące się do wyczerpania jak poziom odczuwanego bólu, do którego wykorzystywane mogą być: skala bólowa – VAS (Kanda i wsp. 2013), kwestionariusze bólowe jak MPQ – McGill Pain Questionnaire (Newcomb i wsp. 2011) czy pomiary progu bolesności mięśniowej – algometria (Andersen i wsp. 2013, Kawczyński i wsp. 2012) Innym wyznacznikiem zmęczenia może być sztywność mięśniowa, mierzona z pomocą miotonometru (Kong i wsp. 2018, Kawczyński i wsp. 2018). Stosowana jest także ocena uzyskiwanej mocy maksymalnej mięśni z pomocą: platformy do mierzenia sił nacisku (Fonda i wsp. 2013) lub systemem Opto-Jump (Burt i wsp. 2011). Sprawdzane mogą być również: tętno i ciśnienie krwi, parametry te będą wzrastać do pewnego poziomu w trakcie wykonywania określonego wysiłku, a po jego zaprzestaniu powinny wracać do wartości początkowych, określany również jest czas powrotu tych właściwości do wartości spoczynkowych (Privett i wsp. 2010). Kolejną badaną właściwością jest wielkość stanu zapalnego, którego wyznacznikami mogą być; poziom interleukiny- 6 w surowicy krwi (Bieuzen i wsp. 2014) czy poziom białka C-reaktywnego we krwi (Ascensão i wsp. 2011). Pod uwagę brane są również mikrouszkodzenia mięśni, którym odpowiada poziom kinazy kreatynowej (Aminian-Far i wsp. 2011), czy poziom mioglobiny we krwi (Ascensão i wsp. 2011). Wyższe wskaźniki z krwi będą wskazywać na stopień uszkodzenia tkanek oraz rozległość stanu zapalnego. Szybszy powrót tych parametrów do wartości wyjściowych będzie wskazywał na poziom regeneracji powysiłkowej.

### Bolesność mięśniowa

Nieodłącznym elementem wysiłku fizycznego jest bolesność mięśniowa, która w literaturze najczęściej jest określana jako opóźniona bolesność mięśniowa, ponieważ występuje po ok 12 - 24 godzinach po zakończeniu wysiłku fizycznego. Szczyt bolesności przypada ok 48 - 72 godziny po treningu (Koh i wsp. 2013, Nelson i wsp. 2013) i najczęściej występuje on po wykonywaniu ćwiczeń wymagających ekscentrycznej pracy mięśni szkieletowych (Draper i wsp. 2020, Sonkodi i wsp. 2020). Innymi cechami charakterystycznymi dla zjawiska określanego jako DOMS (delayed onset of muscle soreness) są: tkliwość, sztywność i opuchlizna (Ammar i wsp. 2018). Zjawisku temu towarzyszy również spadek siły mięśniowej (Isner-Horobeti i wsp. 2013, Nelson i wsp. 2013). Mechanizmami tłumaczącymi powstawanie bolesności mięśniowej są obciążenie

mechaniczne oraz odpowiedź zapalna organizmu. Naukowcy nie są zgodni co do tego czy ból występuje na skutek mikrouszkodzeń mięśni, czy tylko ze względu na przebudowywanie się tkanki mięśniowej, ponieważ DOMS występuje również u ludzi, u których nie doszło do uszkodzenia tkanki mięśniowej (Nelson i wsp. 2013). Według Sonkodi i wsp. występowanie opóźnionej bolesności jest spowodowane nie poprzez mikrouszkodzenia mięśni, a na skutek uszkodzeń zakończeń nerwowych w obrębie wrzecion nerwowo-mięśniowych. W skutek obciążeń spowodowanych szczególnie w trakcie skurczów ekscentrycznych mięśni w obrębie wrzecion nerwowo-mięśniowych, dochodzi do kompresji zakończeń nerwowych, a w konsekwencji ich uszkodzenia i wystąpienia bolesności. Przy czym Sonkodi i wsp. zakładają, że do uszkodzeń zakończeń nerwowych we wrzecionach nerwowo-mięśniowych dochodzić musi zawsze, a uszkodzenia mięśni otaczających nie są elementem niezbędnym dla wystąpienia DOMS (Sonkodi i wsp. 2020). Wyżej wymieniona teoria pozwala na wytłumaczenie, dlaczego bolesność może wystąpić u osób, u których nie doszło do uszkodzenia tkanki mięśniowej. Pewne jest powstawanie stanu zapalnego, do którego dochodzi ze względu na nagromadzenie się w komórkach produktów ubocznych przemiany materii. Powodują one pobudzenie wolnych zakończeń nerwowych powodując wystąpienie bólu, skutkują również zwiększoną przepuszczalnością błony komórkowej powodując reakcję odpornościową organizmu poprzez nagromadzenie w tym miejscu cytokin i neutrofilii. Nagromadzone neutrofile doprowadzają do powstania wolnych rodników, które niszczą błonę komórkową, napędzając w ten sposób proces zapalny. Towarzyszy temu opuchlizna wynikająca z napływu płynów w celu rozcieńczenia powstałego w danym miejscu stężenia płynowego (Nelson i wsp. 2013)

### Moc maksymalna

Jest to zdolność mięśni do wygenerowania dużej siły w krótkim czasie i pełni istotną rolę w treningu sportowym. Wiele dyscyplin sportowych kładzie duży nacisk na rozwijanie tej cechy, zarówno w sportach drużynowych jak i indywidualnych, gdzie wykonuje się dużo skoków, kopnięć czy sprintów (Markovic i wsp 2007, Gołaś i wsp. 2016). Pomiar mocy maksymalnej jest wykorzystywany jako wyznacznik stopnia regeneracji powysiłkowej, ponieważ w wyniku intensywnego wysiłku fizycznego dochodzi to spadku mocy

maksymalnej. Jest to związane z wydłużeniem się cyklu rozciągnięcie – skurcz jak również z osłabieniem kurczliwości mięśni (Black i wsp. 2018, Imtiyaz i wsp 2014).

W dostępnym piśmiennictwie brakuje badań odnoszących się do wpływu regeneracji powysiłkowej w postaci masażu tkanek głębokich. Brak jest opisu mechanizmów stojących za potencjalną skutecznością masażu tkanek głębokich jako środka restytucji powysiłkowej, jak również, nie zostały określone rzetelne i obiektywne sposoby oceny tego typu interwencji. Należy możliwie dokładnie opisać procesy stojące za tą formą regeneracji i wskazać istniejące braki w obecnym stanie wiedzy. Trzeba wyznaczyć odpowiednią ilość interwencji oraz określić optymalny czas pomiędzy kolejnymi sesjami masażu w celu uzyskania jak największej i najszybszej regeneracji zawodnika, aby mógł osiągnąć jak najlepsze wyniki sportowe.

Celem niniejszej dysertacji doktorskiej jest analiza określonych procedur regeneracyjnych pod względem ich skuteczności oraz określenie związków pomiędzy wykorzystanymi procedurami regeneracyjnymi, a restytucją w zakresie mocy maksymalnej kończyn dolnych u karateków oraz progu bolesności mięśniowej wybranych mięśni. Hipoteza: Masaż tkanek głębokich sprzyja powstawaniu w organizmie warunków pozwalających na skrócenie czasu powrotu mocy maksymalnej mięśni oraz przyspiesza podnoszenie się progu bolesności mięśniowej.

## **2. METODY I MATERIAŁ BADAWCZY**

### **2.1. Materiał badawczy**

Badaniu została poddana grupa 20 zawodników karate odnoszących sukcesy na poziomie krajowym. Wszyscy zostali poproszeni o utrzymanie normalnej codziennej aktywności podczas trwania eksperymentu. Ich parametry antropometryczne znajdują się w Tabeli 1. Kryteria włączenia do badań były następujące: 1) brak bólu w obrębie kończyn dolnych bezpośrednio przed eksperymentem, 2) brak wcześniejszych urazów kończyn dolnych, mogących ograniczać możliwości wysiłkowe lub powodować wystąpienie objawów bólowych, 3) brak treningu siłowego w ciągu ostatniego miesiąca, 4) aktualne badania lekarskie, wydane przez lekarza sportowego, dopuszczające do wysiłku fizycznego. Badanie zostało poprzedzone pisemną zgodą badanych, zostali poinformowani o tym, że



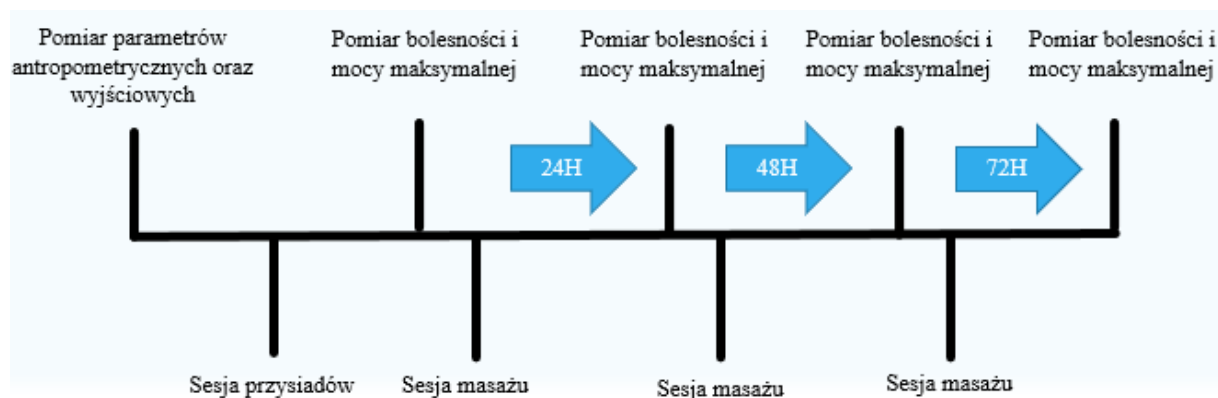
mogą zrezygnować z badania w każdym momencie. Badanie to uzyskało zgodę Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych nr 6/2019.

Tabela 1. Parametry antropometryczne

Wiek	25 lat $\pm$ 7 lat
Staż zawodniczy	9,1 lat $\pm$ 5 lat
Ciężar ciała	179,1cm $\pm$ 10,5 cm
Wysokość ciała	72,6 kg $\pm$ 15 kg

## 2.2. Metody

Ekspertyment badawczy składał się z siedmiu części: 1) pierwszy pomiar wyjściowy progu bolesności mięśniowej i mocy maksymalnej mięśni kończyn dolnych bezpośrednio przed treningiem, 2) protokół ćwiczeń ekscentrycznych, 3) drugi pomiar mocy maksymalnej i progu bolesności mięśniowej kończyn dolnych po ćwiczeniach, 4) sesja masażu tkanek głębokich, 5) trzeci pomiar ewaluacyjny progu bolesności mięśniowej i mocy maksymalnej oraz sesja masażu tkanek głębokich 24 godziny po ćwiczeniach, 6) czwarte wyznaczenie progu bolesności mięśniowej i mocy maksymalnej oraz sesja masażu tkanek głębokich 48 godzin po ćwiczeniach 7) piąty pomiar progu bolesności mięśniowej i mocy maksymalnej mięśni kończyn dolnych 72 godziny po ćwiczeniach. Wszystkie pomiary zostały wykonane przez jedną, przeszkoloną i zaznajomioną ze sprzętem osobę. Masaż był wykonywany przez jednego dyplomowanego fizjoterapeutę.



Rycina 1. Algorytm badania

### **2.3. Trening siłowy**

Trening siłowy został poprzedzony rozgrzewką, w trakcie której ćwiczenia skupiały się na aktywacji mięśni biorących udział we właściwej części treningu siłowego.

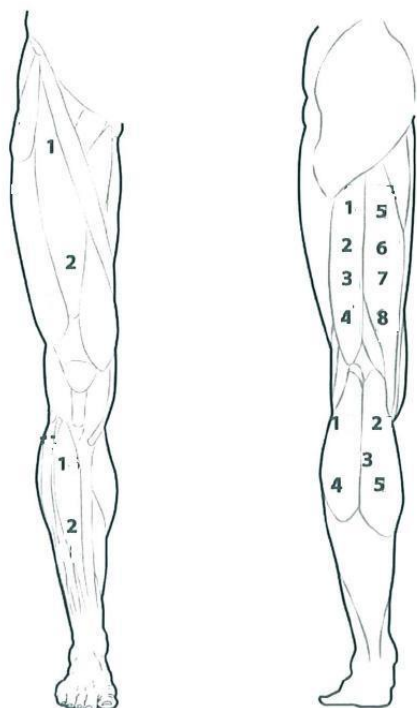
Zawodnicy zostali poddani treningowi siłowemu kończyn dolnych do którego obciążenie zostało dobrane w oparciu o ciężar jednokrotnego maksymalnego powtórzenia [1RM].

W ramach treningu siłowego badani wykonali 5 serii przysiadów po 5 powtórzeń z obciążeniem równym 60% 1RM. Zawodnicy wykonywali przysiady z odpowiednio dobranym ciężarem na sztandze i mieli za zadanie wykonywać powtórzenia jak najszybciej, ponieważ jest to najskuteczniejsza metoda kształtowania mocy mięśniowej. Przysiad wykonywany był do ok 90° zgięcia w stawie kolanowym, a następnie badany wracał do pozycji wyjściowej. Przerwa pomiędzy poszczególnymi seriami przysiadów wynosiła od 60 do 90 sekund. (Trzaskoma & Trzaskoma 2001).

### **2.4. Próg bolesności mięśniowej**

Wszystkie pomiary progu bolesności mięśniowej zostały wykonane przez jednego operatora. Badani, podczas pomiaru, znajdowali się w pozycji leżenia przodem oraz tyłem. Uczestnicy kładli się na leżance z kończynami górnymi ułożonymi swobodnie wzdłuż ciała, z głową w otworze znajdującym się w leżance. Zostali także poproszeni o maksymalne rozluźnienie kończyn dolnych podczas badania. Pomiar został wykonany za pomocą algometru elektronicznego (Somedic, Algometer type II, Hörby, Szwecja) pozwalającego na wyznaczenie progu bolesności mięśniowej (Park i wsp. 2011, Mutlu i wsp. 2015). Pomiary progu bolesności mięśniowej zostały wykonane w siedemnastu punktach zlokalizowanych na obu kończynach dolnych osoby badanej - osiem punktów pomiaru dla grupy tylnej mięśni uda, pięć punktów pomiaru dla grupy tylnej mięśni podudzia, dwa punkty dla mięśnia prostego uda oraz dwa punkty dla mięśnia piszczelowego przedniego. Punkty te zostały wyznaczone wzdłuż osi długiej mięśni, po środku głowy mięśnia w równych odległościach od siebie i od przyczepów końcowych mięśni oraz na połączeniu głów mięśni w przypadku pomiaru dokonywanego na tylnej części podudzia. W każdym z siedemnastu punktów dla

każdej kończyny został dokonany pomiar progu bolesności mięśniowej poprzez przyłożenie nacisku pionowo w dół za pomocą algometru. Osoby badane zostały poproszone, aby w momencie odczucia pierwszych dolegliwości bólowych zatrzymać pomiar przyciskiem „stop”. W ten sposób została wygenerowana wartość progu bolesności mięśniowej, wyrażona w [kPa].



Rycina 2. Schemat punktów badania progu bolesności mięśniowej

### 2.5. Algometria

Jest to nowoczesna metoda pozwalająca na obiektywny pomiar uciskowego progu bólowego, który to jest dobrym wskaźnikiem stanu tkanki mięśniowej i łącznej. Wyznaczanie uciskowego progu bólowego jest metodą prostą oraz wysoce rzetelną pozwalającą ocenić parametry bólowe zarówno na osobach zdrowych jak i pacjentach (Wilk i wsp. 2015, Mutlu i wsp. 2015, Pelfort i wsp. 2015). Algometr jest niewielkim urządzeniem, które łatwo zastosować w celu ustalenia obiektywnego poziomu bólu odczuwanego przez badanego w przypadku opóźnionej bolesności mięśniowej, stanów zapalnych mięśni czy bólu mięśniowo powięziowego (Wilk i wsp. 2015). Rzetelność powtarzalność pomiarów bolesności uciskowej z wykorzystaniem algometru została

wykazana w wielu badaniach na ludziach (Park i wsp 2011, Zamani i wsp 2017, Kregel i wsp 2013)



Rycina 3. Algometr firmy Somedic, type II Hörby (Szwecja), (<http://somedic.com/en/algometer.html>)

## 2.6. Moc maksymalna

Moc maksymalna mięśni została oszacowana na podstawie pomiarów wykonywanych pionowych wyskoków. Badani mieli za zadanie wykonać 3 wyskoki dotyżne z rękami umieszczonymi na biodrach w trakcie, którego dane zostały zebrane z użyciem systemu Opto-Jump (Bolzano, Włochy). Pomiaru mocy maksymalnej mięśni zostały wykonane w pozycji stojącej, wyskok był poprzedzony wykonaniem przysiadu w celu wygenerowania największej siły mięśni kończyn dolnych.

## 2.7. System Opto-Jump

Jest to system pozwalający na rzetelną ocenę mocy maksymalnej (Lehance 2005). Składa się z dwóch belek długości 1 m, w które wbudowane zostały 33 diody, znajdują się one 0,3 cm nad powierzchnią ziemi, w odległościach 3,125 cm od siebie. Belki ustawia się równolegle do siebie w taki sposób, aby diody komunikowały się ze sobą. W momencie przerwania komunikacji pomiędzy diodami, włączony zostaje chronometr cyfrowy, pozwalający na obliczenie czasu długości lotu (Castagna i wsp. 2013). Przy pomocy tego urządzenia można zmierzyć wiele parametrów w trakcie wykonywania zadania ruchowego

przez badaną osobę, takich jak na przykład: wysokość skoku, wyrażoną w [cm], czas wyskoku [s] czy moc [W/kg]. System ten jest w stanie dokonać pomiaru czasu długości lotu z dokładnością do 1/1000 sekundy (Lafay i wsp. 2009).



Rycina 4. System Opto-jump (Bolzano, Włochy), (<http://podologue-grossetie-pessac.fr/>)

## 2.8. Masaż tkanek głębokich

Masaż tkanek głębokich (ang. Deep Tissue Massage, DTM) jest jedną z form masażu (Majchrzycki i wsp. 2014), mających na celu obniżenie napięć w obrębie mięśni oraz ściśle powiązanej z nimi powięzi (Romanowski i wsp. 2017). Metoda ta opiera się na rozluźnianiu tkanek miękkich (tj. mięśnie, ścięgna, więzadła), a w efekcie poprawie przesuwalności poszczególnych warstw tkanek między sobą, w możliwie jak najskuteczniejszy sposób w opracowywanej tkance. W masażu tym zachowane zostają zasady warstwowości opracowywania tkanek, od powierzchniowych do głębiej leżących. Działając na kolejne warstwy mięśni, czekamy na rozluźnienie warstw znajdujących się bliżej skóry, tak aby rozluźnianie tkanki było jak najbardziej efektywne. Masaż ten pozwala na wykorzystanie powierzchni przedramienia, grzbietowej powierzchni paliczków kończyny górnej, bocznej powierzchni paliczków kończyny górnej (kłykci/kostek), a także dłoniowej strony ręki (Riggs 2007).

Badani w trakcie sesji masażu byli proszeni o położenie się na przygotowanym wcześniej stole do masażu. Masaż wykonywany był zarówno w leżeniu przodem jak i tyłem, tak aby objąć masażem zarówno przedni jak i tylny przedział mięśni kończyn dolnych. W badaniu została wykorzystane takie techniki jak: głaskanie, uwalnianie z uwięźnięcia, mobilizacja do rozciągnięcia, a także masaż poprzeczny. Poszczególne techniki były wykorzystywane w wymienionej wyżej kolejności. Poprzez przygotowanie tkanek powierzchownych z wykorzystaniem głaskania, następnie fizjoterapeuta z użyciem techniki uwalniania z uwięźnięcia dokonywał rozluźniania poszczególnych mięśni lub ich część w obrębie wyczuwalnych restrykcji. Kolejnym etapem była mobilizacja mięśni do rozciągnięcia, w tych jego przedziałach, w których ruch rozciągania był wyczuwalnie zaburzony. Ostatnią techniką był masaż poprzeczny, zastosowany w przypadku pozostałych jeszcze zaburzonych pęczków mięśniowych, których rozluźnienie nie nastąpiło na poprzednich trzech etapach masażu.

## **2.9. Metody statystyczne**

Analiza statystyczna została przeprowadzona z użyciem oprogramowania PASW Statistic SPSS 18. Do analizy statystycznej mocy maksymalnej oraz progu bolesności dla poszczególnych mięśni została zastosowana analiza wariancji (ANOVA) dla pomiarów powtarzanych. Test Bonferroni został zastosowany jako test typu post-hoc dla danych uzyskanych z pomiaru mocy maksymalnej oraz progu bolesności, dla różnic istotnych statystycznie w analizie wariancji ANOVA. Dane zostały przedstawione w postaci średnich arytmetycznych i średniego odchylenia standardowego. Poziom  $p < 0.05$  został przyjęty jako istotny statystycznie.

Powtarzalność metody obserwacji gry została sprawdzona za pomocą współczynnika korelacji wewnątrz czynnikowej (ICC), przy użyciu modelu 2-czynnikowego mieszanego.

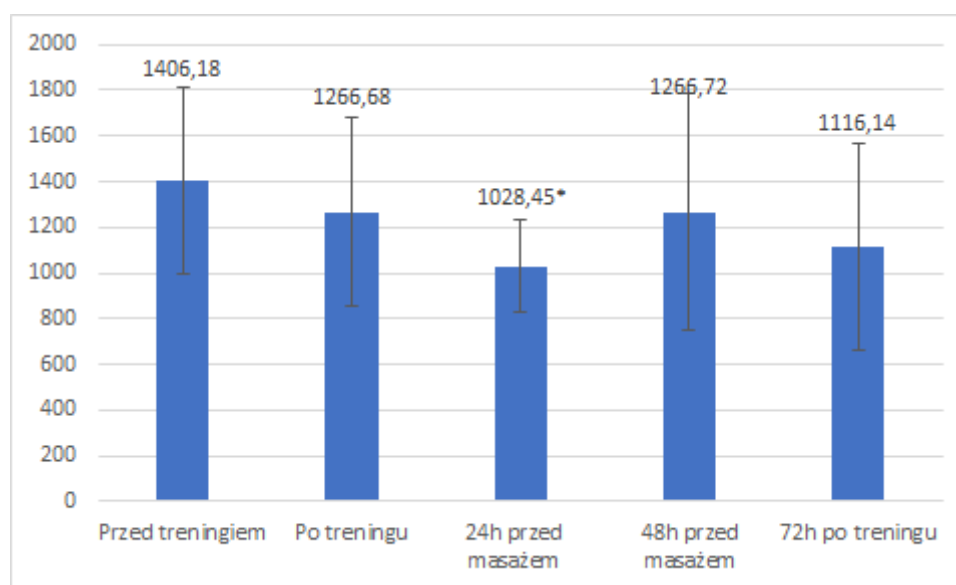
## **3. WYNIKI**

Współczynnik korelacji wewnątrz-czynnikowej dla pomiarów progu bolesności mięśniowej wyniósł: ICC = 0,72, dla pomiarów mocy maksymalnej wyniósł ICC = 0,92.

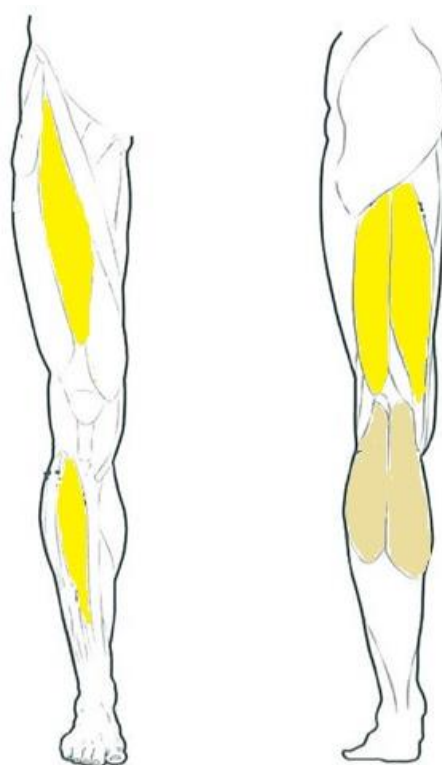
### 3.1. Próg bolesności mięśniowej

Wartość progu bolesności mięśniowej została określona dla 4 mięśni zgodnie ze schematem punktów umieszczonym wcześniej. Wzorec rozwoju opóźnionej bolesności mięśniowej udało się zmienić dla 3 badanych mięśni. Był to mięsień prosty uda, dla którego próg bolesności mięśniowej był najniższy po 24 godzinach od wykonania ćwiczenia. W kolejnych pomiarach próg bolesności nie wykazywał zmian istotnych statystycznie względem pomiaru początkowego.

Wykres 1. Wartość bolesności mięśniowej dla mięśnia prostego uda



Legenda: \* oznacza zmianę progu poziomu bolesności mięśniowej istotną statystycznie  $p \leq 0.05$  w stosunku do pomiaru przed treningiem



Rycina 5. Schemat mięśni objętych badaniem (na żółto mięśnie, w których udało się uzyskać zmianę wzorca rozwoju bolesności mięśniowej przy zastosowaniu masażu tkanek głębokich, na kremowo mięśnie, gdzie nie udało się zmienić wzorca bolesności mięśniowej)

Tabela 2. Wartości progu bolesności mięśniowej dla badanych mięśni

Badanie	Średnia ± SD			
	m. prosty uda	m. piszczelowy przedni	m. dwugłowy uda	m. brzuchaty łydki
Przed treningiem	1406,18±406,47	1499,64±392,46	1423,68±429,13	1289,52±439,89
Po treningu	1266,68±415,35	1507,68±376,43	1383,13±398,19	1169,47±385,69
24h przed masażem	1028,45±202,92*	1311,36±303,33	1189,39±314,07	977,93±260,68*
48h przed masażem	1266,72±517,11	1330,36±377,09	1213,70±304,39	1074,54±343,31*
72h po treningu	1116,14±453,29	1336,64±509,53	1223,46±393,56	960,70±302,92

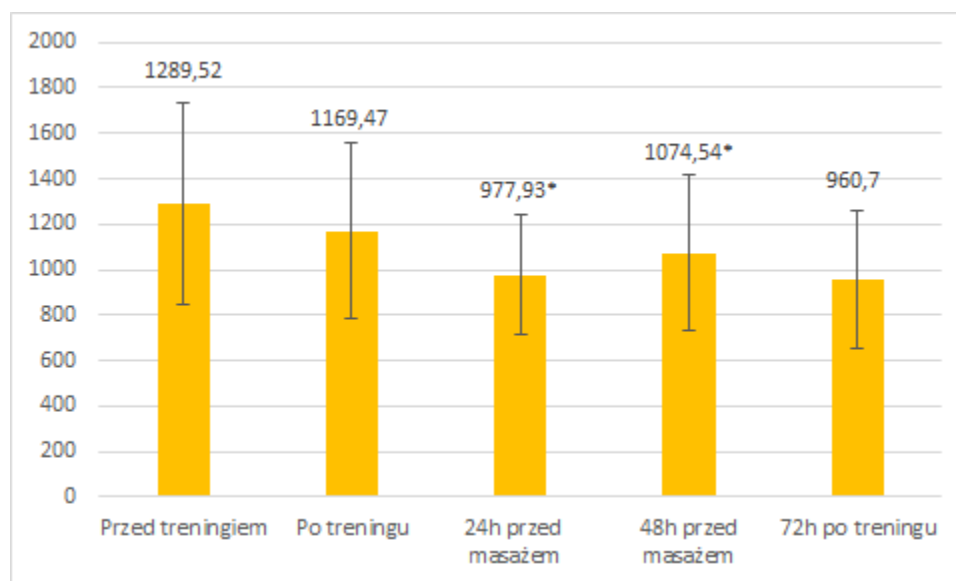
Legenda: \* oznacza zmianę progu poziomu bolesności mięśniowej istotną statystycznie  $p \leq 0.05$  w stosunku do pomiaru przed treningiem



Nie doszło do istotnej statystycznie zmiany progu bolesności mięśniowej dla mięśnia piszczelowego przedniego, pozostał on na stałym poziomie przez wszystkie pomiary. Zmiana progu bolesności mięśniowej nie miała również miejsca w przypadku mięśnia dwugłowego uda i próg utrzymywał się na niezmiennym poziomie.

Zmiana wzorca zaszła w mięśniu brzuchatym łydki. W tym przypadku masaż tkanek głębokich nie miał wpływu na rozwój opóźnionej bolesności mięśniowej.

Wykres 2. Wartość progu bolesności mięśniowej dla mięśnia brzuchatego łydki

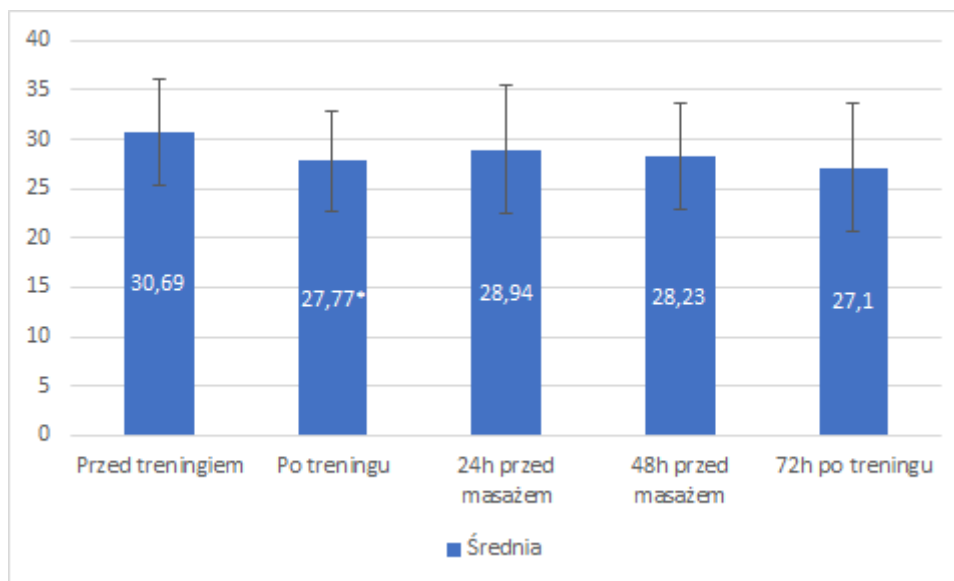


Legenda: \* oznacza zmianę progu poziomu bolesności mięśniowej istotną statystycznie  $p \leq 0.05$  w stosunku do pomiaru przed treningiem.

### 3.2. Moc maksymalna

Wartość mocy maksymalnej nie zmieniła się w sposób istotny statystycznie w stosunku do pomiaru początkowego z wyłączeniem drugiego pomiaru dokonanego bezpośrednio po przeprowadzonym treningu.

Wykres 3.. Wartość mocy maksymalnej kończyn dolnych



Legenda: \* oznacza zmianę progu poziomu bolesności mięśniowej istotną statystycznie  $p \leq 0.05$  w stosunku do pomiaru przed treningiem

Tabela 3. Wartość mocy maksymalnej kończyn dolnych

Pomiar	Średnia $\pm$ SD
Przed treningiem	30,69 $\pm$ 5,43
Po treningu	27,77 $\pm$ 5,15
24h przed masażem	28,94 $\pm$ 6,44
48h przed masażem	28,23 $\pm$ 5,33
72h po treningu	27,10 $\pm$ 6,50

Tabela 4. Wyniki analizy statystycznej dla pomiarów mocy maksymalnej kończyn dolnych

Źródło	Badanie	Współczynnik F	Istotność statystyczna
Badanie	po a przed	15,012	0,003*
	24h po a przed	2,269	0,16
	48h po a przed	3,223	0,1
	72h po a przed	4,16	0,066

### **Legenda:**

\*- wartość istotna statystycznie

Przed – przed treningiem

Po – bezpośrednio po treningu

24h po – 24 godziny po treningu, przed masażem

48h po – 48 godzin po treningu, przed masażem

72h po – 72 godziny po treningu

## **4. DYSKUSJA**

W toku analizy, zebranych w trakcie badania danych, okazało się, że dla 3 z 4 mięśni udało zmienić się wzorzec rozwoju opóźnionej bolesności mięśniowej poprzez utrzymanie wartości progu na niezmiennym poziomie w stosunku do wartości początkowych. Poziomą moc maksymalną również utrzymał się na stałym poziomie przez cały czas badania.

Otrzymane wyniki są zgodne z wynikami uzyskanymi w innych badaniach odnoszących się do opóźnionej bolesności mięśniowej. Andersen i współpracownicy sprawdzając efekt masażu na rozwój opóźnionej bolesności mięśniowej na mięśniu czworobocznym, przy użyciu algometru; uzyskali znaczące zmniejszenie dolegliwości bólowych (Andersen i wsp. 2013). Andersen i współautorzy jako możliwe mechanizmy działania masażu podają pobudzenie włókien czuciowych typu Ia oraz receptorów Golgiego co jest jedną z części teorii bramki kontrolnej. W teorii tej na skutek występowania hierarchii przewodzenia impulsów nerwowych, włókna grubsze, czyli Ia, będą blokowały przewodzenie impulsacji bólowej z cieńszych włókien C. Ponadto autorzy powołują się na pobudzenie krążenia krwi oraz limfy na skutek masażu, co prowadzi do zwiększonego usuwania produktów ubocznych przemiany materii. Podwyższenie progu bolesności mięśniowej udało się również uzyskać w przypadku badania przeprowadzonego przez Han i jego grupę badawczą. W trakcie tego eksperymentu wywołano DOMS poprzez protokół ćwiczeń mięśnia brzuchatego łydki (Han i wsp. 2014). Han opisując wpływ masażu na DOMS również jako mechanizm opisuje zwiększony przepływ krwi i limfy, co skutkuje zwiększonym usuwaniem produktów przemiany materii takich jak: kwas mlekowy, oraz zmniejszenie obrzęku tkanek na skutek lepszej wymiany płynowej. Obniżenie poziomu dolegliwości bólowych udało się również uzyskać w badaniu mięśni zginaczy

przedramienia, w trakcie którego stosowano indukcję DOMS poprzez ćwiczenia ekscentryczne, a następnie przeprowadzano sesję masażu (Imriyaz i wsp. 2014). Imriyaz i współautorzy, opisują jako mechanizm działania przeciwbólowego zmniejszenie obciążenia mechanicznego co prowadzi do zmniejszenia mikrouszkodzeń mięśni i zmniejszenia występującego stanu zapalnego. W przypadku pomiarów mocy maksymalnej, tylko dwa inne badania wykazały wpływ masażu jako środka regeneracyjnego poprzez zwiększenie wysokości skoku dosiężnego Mancinelli oraz Kargarfad wraz ze współautorami (Mancinelli i wsp. 2006, Kargarfad et al 2015) W przypadku pracy Mancinelli'ego badanych podzielono na grupę badawczą i kontrolną, każda z grup liczyła 11 zawodniczek siatkówki oraz koszykówki, które zostały przypisane do grup losowo. Pomiarów wyjściowych dokonano przed wysiłkiem, zaraz po wysiłku i 4 dni po odbytym treningu. Wyniki wyjściowe zostały zestawione z wynikami po treningu tak aby upewnić się, że doszło do istotnego statystycznie spadku wysokości dosiężnego. Badane w grupie kontrolnej po wysiłku odpoczywały biernie, natomiast w grupie badawczej odbyła się sesja masażu kończyn dolnych. Po czterech dniach dokonano ponownego pomiaru skoku dosiężnego. W grupie kontrolnej nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wysokości pomiędzy pomiarem w dniu czwartym oraz pomiarami po treningu ( $p \leq 0.42$ ). Udało się uzyskać istotną statystycznie poprawę wysokości skoku dosiężnego w grupie badawczej przy wartościach przed masażem na poziomie 45,8cm oraz po masażu 46,2cm przy  $p \leq 0.05$  (Mancinelli i wsp. 2006). Kargarfad dokonywał pomiarów na dwóch grupach, kontrolnej i badawczej, każda liczyła 15 osób. Badani mieli wcześniej minimum dwa lata doświadczenia w kulturystyce i zostali przypisani do grup losowo. Pomiarów skoku dosiężnego dokonano przed treningiem, przed masażem, bezpośrednio po masażu, 24, 48 i 72 godziny po masażu. W przypadku grupy kontrolnej masażu nie wykonywano, badani odpoczywali biernie, uczestniczyli tylko w kolejnych sesjach pomiarowych. Zarówno w grupie kontrolnej jak i badawczej, doszło do obniżenia się poziomu uzyskiwanych wyników, pomiędzy pierwszym badaniem, a badaniem w 48 godzin po masażu. Jednak w grupie badawczej w 72 godziny po masażu (51.73cm) nie było już istotnej statystycznie różnicy ( $p=0.865$ ) w stosunku do parametrów wyjściowych (51.80 cm) tego badania, podczas gdy grupa kontrolna nie uzyskała poprawy wysokości skoku dosiężnego (Kargarfad i wsp. 2015).

Wpływ masażu na opóźnioną bolesność mięśniową jest bezsporny. Oprócz wymienionych w powyższym akapicie, również Zainuddin i Mori wspólnie ze swoimi zespołami, otrzymali takie wyniki (Zainuddin i wsp. 2005), (Mori i wsp. 2004). Wyłącznie dwa inne badania pojawiające się w literaturze potwierdzają wpływ masażu na powrót mocy maksymalnej. Jednym z możliwych wyjaśnień tak małej liczby prac jest czas trwania zabiegu, który nie musi stanowić najlepszego wyznacznika efektywności masażu. W protokole zastosowanej interwencji wykorzystano reakcję tkanki mięśniowej jako czynnika wskazującego, kiedy sesja masażu powinna dobiec końca. Biorąc pod uwagę aspekt metodyki badań nie jest to najbardziej obiektywny sposób przeprowadzania doświadczenia, ze względu na fakt, że poszczególni masażyści mają do dyspozycji inną wrażliwość czuciową dłoni, co trudno jest wymiernie wykazać. W powyższym badaniu żadna sesja masażu nie przekroczyła 20 minut, a koniec masażu był podyktowany odczuciem terapeuty. Inną przyczyną braku efektu masażu na powrót parametrów motorycznych u sportowców mógł być fakt testowania pojedynczych mięśni lub grup mięśniowych, jak w przypadku badań przeprowadzonych przez zespół Hilberta., który testował szczytowy moment siły dla mięśnia dwugłowego, w którym wywoływał zmęczenie, a następnie poddawał sesji masażu (Hilbert i wsp. 2003) ignorując mięsień czworogłowy. Wywołanie zmęczenia w jednym tylko mięśniu jest niemożliwe, ponieważ, zawsze do pracy włączają się mięśnie antagonistyczne i synergistyczne. W związku z tym badanie tylko i wyłącznie jednego mięśnia może dawać błędne wyniki, jeśli chodzi o skuteczność masażu jako środka regeneracyjnego. Z punktu widzenia biomechaniki na poziom otrzymywanych wyników ma wpływ zachowanie całego łańcucha biokinematycznego, a nie tylko pojedynczy jego element. Toteż wykonanie masażu w obecnym badaniu zarówno na przedniej i tylnej stronie podudzia oraz przedniej i tylnej stronie uda w przeciwieństwie do innych przeprowadzonych badań, mogło przelożyć się na powrót mocy maksymalnej zawodników. Nie bez znaczenia jest również wpływ rozgrzewki przed wykonywanymi pomiarami, jako, że przed wstępnym badaniem jak i kolejnymi pomiarami w 24, 48 i 72 godzinie po wysiłku badani mieli możliwość wykonania rozgrzewki. Inni autorzy nie wspominają o tym, aby rozgrzewka była wykonywana przez badanych przed pomiarami skoczności, siły czy mocy zawodników. Należy więc przyjąć, że brakowało jednego z niezbędnych elementów, aby ocenić te parametry przy podobnym

poziomie aktywacji nerwowo-mięśniowej i naczyniowej mięśni związanych z przeprowadzoną rozgrzewką.

Potencjalnymi mechanizmami, dzięki którym przeprowadzona interwencja okazała się skuteczna, mogą być takie właściwości masażu jak: modulacja odczuwanego bólu poprzez stymulację mechanoreceptorów oraz aktywację włókien czuciowych, co powoduje zmniejszenie impulsacji informacji bólowej (Visconti i wsp. 2015). W związku z występowaniem hierarchii przewodzenia (gate control theory) w układzie nerwowym w trakcie aktywacji włókien czuciowych I  $\beta$ , które są grubsze od włókien typu C przewodzących informację nocyceptywną, w substancji galaretowatej dochodzi do „zamknięcia bramki” dla informacji bólowej, przez co ból przestaje być odczuwany (Moayed i wsp. 2013). Innym mechanizmem uzasadniającym zmianę wzorca rozwoju DOMS oraz zmianach w powysiłkowym spadku mocy maksymalnej jest zwiększenie przepływu krwi i limfy. Wynika to ze zmniejszonego napięcia mięśniowego, które, prowadzi do zmniejszenia się opuchlizny tkanek i lepszej wymiany płynów pomiędzy nimi, pozwalając na szybszą regenerację (Miernik i wsp. 2012). Skutkuje to obniżeniem poziomu kinazy kreatynowej w osoczu, uważanej za wyznacznik uszkodzenia mięśni oraz stanu zapalnego (Kargarfad i wsp. 2015) co potwierdzałoby przebieg procesów regeneracyjnych. Ważnym czynnikiem wpływającym na szybszy powrót mocy kończyn dolnych może być wpływ masażu na odkształcalność mięśniowo-ścięgową, mobilizację i wydłużenie tkanki łącznej. W konsekwencji dochodzi do zwiększenia efektywności cyklu rozciągnięcie-skurcz, a to z kolei pozwala na lepsze magazynowanie i wykorzystanie energii sprężystej włókien mięśniowych (Duñabeitia i wsp. 2019). Z wyżej wspomnianą odkształcalnością, wiąże się również spadek mechanicznego obciążenia na sarkomery w trakcie ich wydłużania. Zapobiega to rozerwaniu retikulum sarkoplazmatycznego i uwolnieniu jonów wapnia  $Ca^{2+}$  znajdujących się w płynie wewnątrzkomórkowym, których powoduje aktywację procesów zapalnych czułych na poziom wapnia w komórce (Imtiyaz i wsp. 2014).

Dla mięśnia brzuchatego łydki nie udało zmienić się wzorca rozwoju opóźnionej bolesności mięśniowej. Biorąc pod uwagę wyżej wymienione potencjalne mechanizmy wpływające na skuteczność zastosowanej interwencji, nie sposób nie odnieść się do anatomii

układu ruchu oraz unaczynienia kończyn dolnych. Mięsień brzuchaty jest zaopatrywany przez gałąź tętnicy podkolanowej, tętnicę łydkową, która to może przebiegać pod mięśniem podkolanowym, który nie był opracowywany w trakcie wykonywania zabiegu, a zwiększone napięcie tego mięśnia mogło skutkować gorszym ukrwieniem tkanki i usuwaniem czynników zapalnych z tego obszaru. Opracowanie samego mięśnia brzuchatego łydki było na tyle skuteczne, aby w połączeniu z masażem pozostałych mięśni uzyskać szybszy powrót mocy maksymalnej badanych. W związku z potencjalnym zwiększeniem odkształcalności tkanki, lepszym magazynowaniem i wykorzystaniem energii elastycznej, a także ograniczeniem procesów degeneracyjnych wrażliwych na poziom wapnia.

Przeprowadzone badanie nie jest pozbawione ograniczeń. Jednym z nich jest ilość badanych, która nie pozwala na odnoszenie wyników tych badań na większe populacje zawodników. Innym aspektem wymagającym poprawy jest częstość wykonywanych pomiarów pozwalających na dokładniejsze śledzenie rozwoju wzorca opóźnionej bolesności mięśniowej oraz jego modulacji poprzez zastosowanie masażu lub innych środków regeneracyjnych. Niezbędne wydaje się również dokładniejsze określenie czasu trwania interwencji, w celu zwiększenia powtarzalności pomiarów. Pomimo powyższych ograniczeń połączenie systemu opto-jump oraz algometru może stanowić jedną z metod prewencji kontuzji. Jest to realizowane poprzez monitorowanie oraz kontrolę poziomu zmęczenia i stopnia regeneracji zawodników. Wdrożenie tych narzędzi może obiektywnie wykazać na jakim etapie regeneracji powysiłkowej znajduje się zawodnik w kontekście zastosowanych środków restytucji.

Duże znaczenie dla uzyskiwanych wyników miał rodzaj wysiłku fizycznego zastosowanego w protokole badawczym. Przysiady wykonywane w części właściwej treningu, skutkowały pracą mięśni kończyn dolnych w niezmiennym zamkniętym łańcuchu biokinematycznym. Wymuszona pozycja ćwiczenia, w której zmiana ustawienia kończyn dolnych nie była możliwa skutkowała określonym wzorcem pracy mięśniowej. Wzorec ten nie zawsze odpowiada pracy mięśniowej w łańcuchach otwartych czy innych łańcuchach zamkniętych, które to występują w większości dyscyplin sportowych. W powyższym protokole badawczym przyczyniło się to do ujednoczenia wyników dla

dwóch głów mięśnia brzuchatego łydki, jak również mięśnia dwugłowego uda wraz z mięśniami półścięgnistym i półbłoniastym, ponieważ pomiędzy nimi nie występowała różnica istotna statystycznie. Jest to o tyle istotne, że rozpatrując pracę mięśniową z punktu widzenia biomechaniki, udział dwóch głów mięśnia brzuchatego łydki w trakcie wspinania się na palce, czyli ruchu wykonywanego przez karateków setki razy w trakcie treningu, jest nierównomierny. Podobny dysbalans ma miejsce w przypadku mięśnia dwugłowego oraz mięśni półścięgnistego i półbłoniastego w trakcie ruchu rotacji w obrębie stawu kolanowego. Z powyższej opisanego zjawiska można wyciągnąć dwie konkluzje. Pierwsza, która się nasuwa jest potrzeba testowania środków restytucji powysiłkowej w warunkach jak najbardziej zbliżonych do warunków treningowych lub startowych. Oznacza to, że ćwiczenia w protokole badawczym powinny odpowiadać ruchom wykonywanym w trakcie udziału zawodnika w treningu specyficznym dla danej dyscypliny bądź w trakcie startu zawodnika w zawodach. Pozwoli to na wskazanie z większą dokładnością zawodników, u których dochodzi do zwiększonego ryzyka wystąpienia kontuzji. Ponieważ, to dysbalans w napięciu mięśniowym, któremu często odpowiada zwiększona bolesność mięśniowa jest jedną z przyczyn kontuzji w sporcie. W treningu siłowym należącym do części ogólnorozwojowej przygotowania sportowca, pomimo wzmacniania grup mięśniowych ważnych dla danego sportu, wykonywane ćwiczenia siłowe pozostają uniwersalnymi dla większości dyscyplin. W przypadku podobnych badań wykonywanych u zawodników koszykówki, pomiary parametrów powinny zostać poprzedzone treningiem rzutowym, uwzględniającym odpowiednią ilość powtórzeń i serii w celu indukcji opóźnionej bolesności mięśniowej lub serią ćwiczeń gry obronnej, takimi jak: krok odstawno-dostawny, step czy stanie w pozycji obronnej na czas. po zastosowaniu ćwiczeń charakterystycznych dla koszykówki, łatwiej będzie wskazać obszary kończyn dolnych które są poddawane większym obciążeniom i na których należy się skupić, jeśli chodzi o zastosowane środki restytucji powysiłkowej. Z drugiej strony brak różnic w bolesności mięśniowej pomiędzy częściami mięśnia brzuchatego czy dwugłowego uda i pozostałymi mięśniami kulszowymi może wskazywać na bardzo dobry stan tkanek w kontekście napięcia mięśniowego oraz ich elastyczności i możliwość przenoszenia sił. Duża gibkość, której wymaga taka dyscyplina sportu jaką jest karate oraz wysoki poziom wytrenowania biorących udział w badaniu nie pozwala wykluczyć takiej możliwości. Nie mniej jednak



sztynność mięśni nie była elementem tego badania i są to tylko przypuszczenia. Kolejne badania należałoby rozszerzyć również o badania sztywności mięśniowej. W świetle uzyskanych wyników, które są w sprzeczności z uzyskanymi przez część innych badaczy, wydaje się konieczne kontynuowanie podjętego zagadnienia, oraz poszerzenie liczby badanych i dyscyplin sportowych. Otrzymane rezultaty są obiecujące, ale nie jednoznaczne. Braku efektu masażu na zwiększenie progu bolesności mięśniowej dla mięśnia brzuchatego łydki oraz anatomiczne uzasadnienie tej obserwacji wymagają dalszego sprawdzenia. Technika, która pozwoliłaby na ocenę przepływów krwi w tkankach jest dopplerowskie badanie przepływowe

## **5. WNIOSKI**

1. Masaż tkanek głębokich zapewnia skrócenie czasu powrotu mocy maksymalnej oraz podnoszenie się progu bolesności mięśniowej.
2. Odstępy pomiędzy kolejnymi sesjami masażu na poziomie 24 godzin, umożliwiają wytworzenie oraz podtrzymanie procesów regeneracji powysiłkowej.
3. System Opto-jump i algometr, pozwoliły na rzetelną ocenę postępu procesu regeneracji zawodników.
4. Skuteczność systemu Opto-jump oraz algometru pozwala na ich praktyczne i obiektywne zastosowanie w procesie odnowy biologicznej w sporcie wyczynowym.
5. Ćwiczenia zastosowane w protokole badawczym powinny być jak najbardziej zbliżone do ruchów wykonywanych w trakcie treningu specyficznego dla danej dyscypliny sportowej lub warunków startowych.

## **6. LITERATURA**

Aminian-Far A., Hadian M.-R., Olyaei G., Talebian S., Bakhtiary A. H. (2011). Whole-Body Vibration and the Prevention and Treatment of Delayed-Onset Muscle Soreness. *Journal of Athletic Training*, 46(1), 43–49.

- Ammar A., Bailey S. J., Chtourou H., Trabelsi K., Turki M., Hökelmann A., & Souissi N. (2018). Effects of pomegranate supplementation on exercise performance and post-exercise recovery in healthy adults: a systematic review. *British Journal of Nutrition*, 1–16.
- Andersen L. L., Jay K., Andersen C. H., Jakobsen M. D., Sundstrup E., Topp R., Behm D. G. (2013). Acute Effects of Massage or Active Exercise in Relieving Muscle Soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(12), 3352–3359.
- Ascensão A., Leite M., Rebelo A. N., Magalhães S., Magalhães J. (2011). Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *Journal of Sports Sciences*, 29(3), 217–225.
- Bandy WD, Nelson R, Beamer L. Comparison of dry needling vs. Sham on the performance of vertical jump. *Int J Sports Phys Ther*. 2017;12(5):747–751.
- Bastos F., Vanderlei L. C., Nakamura F., Bertollo M., Godoy M., Hoshi R., Junior J. N., Pastre C. (2012). Effects of Cold Water Immersion and Active Recovery on Post-Exercise Heart Rate Variability. *International Journal of Sports Medicine*, 33(11), 873–879.
- Bieuzen F., Brisswalter J., Easthope C., Vercruyssen F., Bernard T., & Hausswirth C. (2014). Effect of Wearing Compression Stockings on Recovery after Mild Exercise-Induced Muscle Damage. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 256–264.
- Black K. E., Witard O. C., Baker D., Healey P., Lewis V., Tavares F., Christensen S, Pease T., Smith B. (2018). Adding omega-3 fatty acids to a protein-based supplement during pre-season training results in reduced muscle soreness and the better maintenance of explosive power in professional Rugby Union players. *European Journal of Sport Science*, 1–11.
- Burt D. G., Twist, C. (2011). The Effects of Exercise-Induced Muscle Damage on Cycling Time-Trial Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2185–2192.

- Castagna C, Ganzetti M, Ditroilo M, Giovannelli M, Rocchetti A, and Manzi V. Concurrent validity of vertical jump performance assessment systems. *J Strength Cond Res* 27(3): 761–768, 2013
- Chaahène H, Hachana Y, Franchini E, Mkaouer B, Chamarf K. Physical and Physiological Profile of Elite Karate. *Athletes. Sports Med* 2012; 42 (10): 829-84
- Devereux, F., O'Rourke, B., Byrne, P. J., Byrne, D., & Kinsella, S. (2018). The Effects of Myofascial Trigger Point Release on the Power and Force Production in the Lower Limb Kinetic Chain. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Sep;33(9):2453-2463
- Douglas J., Pearson S., Ross A., McGuigan M. (2016). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Medicine*, 47(4), 663–675.
- Draper SN, Kullman EL, Sparks KE, Little K, Thoman J. Effects of Intermittent Pneumatic Compression on Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS) in Long Distance Runners. *Int J Exerc Sci*. 2020;13(2):75–86.
- Duñabeitia, I., Arrieta, H., Rodriguez-Larrad, A., Gil, J., Esain, I., Gil, S. M., ... Bidaurrezaga-Letona, I. (2019). Effects of Massage and Cold Water Immersion After an Exhaustive Run on Running Economy and Biomechanics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Nov 27
- Fonda B., Sarabon N. (2013). Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: A crossover study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, Oct;23(5):e270-8
- Franchi MV, Reeves ND and Narici MV (2017) Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front. Physiol.* 8:447.
- Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., & Stastny, P. (2016). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of human kinetics*, 52, 95–106.

- Han J.-H., Kim M.-J., Yang H.-J., Lee Y.-J., Sung Y.-H. (2014). Effects of therapeutic massage on gait and pain after delayed onset muscle soreness. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 10(2), 136–140.
- Hauswirth C., Le Meur Y. (2011). Physiological and Nutritional Aspects of Post-Exercise Recovery. *Sports Medicine*, 41(10), 861–882.
- Heapy, A. M., Hoffman, M. D., Verhagen, H. H., Thompson, S. W., Dhamija, P., Sandford, F. J., & Cooper, M. C. (2018). A randomized controlled trial of manual therapy and pneumatic compression for recovery from prolonged running – an extended study. *Research in Sports Medicine*, 26(3), 354–364.
- Hedayatpour N, Falla D. Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *Biomed Res Int*. 2015; 2015:193741.
- Hessel A. L., Lindstedt S. L., Nishikawa K. C. (2017). Physiological Mechanisms of Eccentric Contraction and Its Applications: A Role for the Giant Titin Protein. *Frontiers in Physiology*, 8:70.
- Herzog, W. (2014). The role of titin in eccentric muscle contraction. *Journal of Experimental Biology*, 217(16), 2825–2833.
- Herzog W., Powers K., Johnston K., Duvall M. (2015) A new paradigm for muscle contraction. *Front. Physiol.* 6:174.
- Hilbert, J. E., Sforzo, G. A., & Swensen, T. (2003). The effects of massage on delayed onset muscle soreness. *British journal of sports medicine*, 37(1), 72–75.
- Imtiyaz S., Veqar Z., Shareef M. Y. (2014). To Compare the Effect of Vibration Therapy and Massage in Prevention of Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS). *J Clin Diagn Res*. 2014 Jan;8(1):133-6.
- Isner-Horobeti M.-E., Dufour S. P., Vautravers P., Geny B., Coudeyre E., Richard R. (2013). Eccentric Exercise Training: Modalities, Applications and Perspectives. *Sports Medicine*, 43(6), 483–512.

- Kanda, K., Sugama, K., Hayashida, H., Sakuma, J., Kawakami, Y., Miura, S., Yoshioka H., Mori Y., Suzuki, K. (2013). Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. *Exercise Immunology Review*, 19, 72–85.
- Kargarfard, M., Lam, E. T. C., Shariat, A., Shaw, I., Shaw, B. S., & Tamrin, S. B. M. (2015). Efficacy of massage on muscle soreness, perceived recovery, physiological restoration and physical performance in male bodybuilders. *J Sports Sci.*, 34(10), 959–965.
- Kawczyński A, Samani A, Fernandes-de-las-peñas C, Chmura J, Madeleine P. Sensory mapping of the upper trapezius muscle in relation to consecutive sessions of eccentric exercise. *J Strength Cond Res.* Nov 2012, 26(6)/1577-1583.
- Kawczyński, A., Mroczek, D., Andersen, R. E., Stefaniak, T., Arendt-Nielsen, L., & Madeleine, P. Trapezius viscoelastic properties are heterogeneously affected by eccentric exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport* (2018), 21(8), 864–869.
- Keen DA, Constantopoulos E, Konhilas JP. The impact of post-exercise hydration with deep-ocean mineral water on rehydration and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr.* 2016; 13:17.
- Klich, S., Krymski, I., Michalik, K., & Kawczyński, A. (2018). Effect of short-term cold-water immersion on muscle pain sensitivity in elite track cyclists. *Physical Therapy in Sport*, 32, 42–47.
- Koh HW, Cho SH, Kim CY, Cho BJ, Kim JW, PhD, Bo K H. Effects of Vibratory Stimulations on Maximal Voluntary Isometric Contraction from Delayed Onset Muscle Soreness. *J Phys Ther Sci.* Sep 2013; 25(9): 1093–1095.
- Kong P.W., Chua Y.H., Kawabata M., Burns S.F., Cai C. (2018). Effect of Post-Exercise Massage on Passive Muscle Stiffness Measured Using Myotonometry - A Double-Blind Study. *Journal of sports science & medicine*, 17 4, 599-606.

- Kregel, J., van Wilgen, C. P., & Zwerver, J. (2013). Pain Assessment in Patellar Tendinopathy Using Pain Pressure Threshold Algometry: An Observational Study. *Pain Medicine*, 14(11), 1769–1775.
- Lafay S, Jan C, Nardon K, Lemaire B, Ibarra A, Roller M, Houvenaeghel M, Juhel C, Cara L. (2009). Grape extract improves antioxidant status and physical performance in elite male athletes. *J Sports Sci Med*. 8(3):468-80
- Leal Junior E. C. P., Lopes-Martins R. Á. B., Baroni B. M., De Marchi T., Taufer D., Manfro D. S., ... Bjordal J. M. (2008). Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes. *Lasers in Medical Science*, 24(6), 857–863.
- Lehance C., Croisier J., Bury T. (2005). Optojump system efficiency in the assessment of lower limbs explosive strength. *Science et Sports* 20, 131-135
- Majchrzycki M, Kocur P, Kotwicki T. (2014) Deep tissue massage and nonsteroidal anti-inflammatory drugs for low back pain: a prospective randomized trial. *ScientificWorldJournal*. 2014; 287597.
- Mancinelli, C., Davis, D., Aboulhosn, L., Brady, M., Eisenhofer, J., Foutty, S. (2006). The effects of massage on delayed onset muscle soreness and physical performance in female collegiate athletes. *Physical Therapy in Sport*. 7. 5–13.
- Markovic G, Jukic I, Milanovic D, Metikos D. (2007) Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *J Strength Cond Res*. May;21(2):543-9.
- Miernik, M., Wieckiewicz, M., Paradowska, A., & Wieckiewicz, W. (2012). Massage therapy in myofascial TMD pain management. *Adv Clin Exp Med*, 21(5), 681-685.
- Mika A, Oleksy Ł, Kielnar R, i wsp. (2016). Comparison of Two Different Modes of Active Recovery on Muscles Performance after Fatiguing Exercise in Mountain Canoeist and Football Players. *PLoS One*. 2016;11(10): e0164216.

- Moayed, M., & Davis, K. D. (2013). Theories of pain: from specificity to gate control. *J. Neurophysiol.*, 109(1), 5–12.
- Mori H, Ohsawa H, Tanaka TH, Taniwaki E, Leisman G, Nishijo K. (2004). Effect of massage on blood flow and muscle fatigue following isometric lumbar exercise. *Med Sci Monit*, 10(5): CR 173-178
- Mutlu EK, Ozdincler AR. (2015) Reliability and responsiveness of algometry for measuring pressure pain threshold in patients with knee osteoarthritis *J. Phys. Ther. Sci.* 27: 1961–1965,
- Nelson N. (2013) Delayed onset muscle soreness: is massage effective?, *J Bodyw Mov Ther.* Oct;17(4):475-82
- Newcomb L. W., Koltyn K. F., Morgan W. P., Cook D. B. (2011). Influence of Preferred versus Prescribed Exercise on Pain in Fibromyalgia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(6), 1106–1113.
- Park G, Kim CW, Park SB, Kim MJ, Jang SH. (2011) Reliability and usefulness of the pressure pain threshold measurement in patients with myofascial pain. *Ann Rehabil Med.* 35(3):412-7.
- Pelfort X, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, Hinarejos P, Leal-Blanquet J, Valverde D, Monllau JC. (2015) Pressure algometry is a useful tool to quantify pain in the medial part of the knee: An intra- and inter-reliability study in healthy subjects. *Orthop Traumatol Surg Res.* 101(5):559-63
- Privett S. E., George K. P., Whyte G. P., Cable N. T. (2010). The Effectiveness of Compression Garments and Lower Limb Exercise on Post-exercise Blood Pressure Regulation in Orthostatically Intolerant Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(5), 362–367.
- Richman, E. D., Tyo, B. M., & Nicks, C. R. (2018). Combined Effects of Self-Myofascial Release and Dynamic Stretching on Range of Motion, Jump, Sprint, and Agility Performance. *J Strength Cond Res*, 33(7):1795-1803

Riggs A. (2007) Deep tissue massage: A visual guide to techniques. North Atlantic Books

Romanowski MW, Špiritović M, Rutkowski R, Dudek A, Samborski W, Straburzyńska-Lupa A. (2017). Comparison of Deep Tissue Massage and Therapeutic Massage for Lower Back Pain, Disease Activity, and Functional Capacity of Ankylosing Spondylitis Patients: A Randomized Clinical Pilot Study. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2017: 9894128.

Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid WD. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 2009;43:556-568.

Sonkodi, B., Berkes, I., & Koltai, E. (2020). Have We Looked in the Wrong Direction for More Than 100 Years? Delayed Onset Muscle Soreness Is, in Fact, Neural Microdamage Rather Than Muscle Damage. *Antioxidants*, 9(3), 212.

Trzaskoma Z, Trzaskoma A., (2001). Kompleksowe zwiększanie siły mięśniowej sportowców, Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa.

Wang, J.-S. (2017). Therapeutic effects of massage and electrotherapy on muscle tone, stiffness and muscle contraction following gastrocnemius muscle fatigue. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(1), 144–147.

Wilk I, Matuszewski T, Tarkowska M, Kiebzak W, (2015). Ocena wrażliwości uciskowej przy użyciu algometru. *Fizjoterapia Polska* 15(1):16-23

Visconti, L., Capra, G., Carta, G., Forni, C., & Janin, D. (2015). Effect of massage on DOMS in ultramarathon runners: A pilot study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19(3), 458–463.

Zainuddin Z, Newton M, Sacco P, Nosaka K. (2005). Effects of Massage on Delayed-Onset Muscle Soreness, Swelling, and Recovery of Muscle Function. *J Athl Train.* 40(3): 174–180.



Zamani S, Okhovatian F, Naimi SS, Akarzadeh Baghban A. (2017). Intra-Examiner and Between-Day Reliability of Algometer for Pressure Pain Threshold and Pain Sensitivity in Upper Trapezius Muscle in Asymptomatic Young Adult Women. *J Clin Physio Res.* 2(1): 15-20.

## 7. SPIS TABEL, RYCIN I WYKRESÓW

Tabela 1. Parametry antropometryczne .....	9
Tabela 2. Wartości progu bolesności mięśniowej dla badanych mięśni.....	16
Tabela 3. Wartość mocy maksymalnej kończyn dolnych.....	18
Tabela 4. Wyniki analizy statystycznej dla pomiarów mocy maksymalnej kończyn dolnych .....	18
Rycina 1. Algorytm badania .....	10
Rycina 2. Schemat punktów badania progu bolesności mięśniowej .....	11
Rycina 3. Algometr firmy Somedic, type II Hörby (Szwecja), ( <a href="http://somedic.com/en/algometer.html">http://somedic.com/en/algometer.html</a> ).....	12
Rycina 4. System Opto-jump (Bolzano, Włochy), ( <a href="http://podologue-grossetie-pessac.fr/">http://podologue-grossetie-pessac.fr/</a> )	13
Rycina 5. Schemat mięśni objętych badaniem (na żółto mięśnie, w których udało się uzyskać zmianę wzorca rozwoju bolesności mięśniowej przy zastosowaniu masażu tkanek głębokich, na kremowo mięśnie, gdzie nie udało się zmienić wzorca bolesności mięśniowej) .....	16
Wykres 1. Wartość bolesności mięśniowej dla mięśnia prostego uda .....	15
Wykres 2. Wartość progu bolesności mięśniowej dla mięśnia brzuchatego łydki.....	17
Wykres 3. Wartość mocy maksymalnej kończyn dolnych.....	18

## **8. SUMMARY**

The main goal of sports training is to prepare a competitor to compete and rival at the highest level. An inseparable element of this training is fatigue, which contributes to a decrease in the body's efficiency manifested by many physiological parameters, such as, e.g.: a change in maximum power or a decrease in the threshold of muscle soreness. In order to obtain the appropriate training effects, there is a need to select and apply appropriate methods of post-workout regeneration as well as methods of measuring recovery. Poorly selected and applied biological regeneration measures may lead to a reduction in the effectiveness of the training. Post-exercise regeneration methods are also a method of prevention against injuries and play a significant role in restoring the performance of players in the event of an injury. In order to be able to assess the effectiveness of restitution instruments, it is important to select the appropriate control and measurement tools. The devices used to assess the progress of post-workout recovery should be as objective, reliable as possible and the obtained results should be reproducible regardless of the test conditions. The combination of appropriate training stimuli and restitution measures allows you to achieve a high level of sports performance.

In the case of karate, strength exercises are an essential element of training due to the characteristics of the discipline. It is imperative, during a fight, to generate high speed and power from a punch or kick, and to maintain these motor characteristics throughout the competition. Due to the cup competition system, at the national level, all fights are held on one day, and internationally, the competition is spread over 3 days. Therefore, it is imperative that the competitors have the possibility of quick regeneration after the fight.

The aim of this study was to determine, based on the analysis of the collected data, the changes in the value of the muscle soreness threshold and the maximum power of the lower limbs after strength training and a series of deep tissue massage, whether this massage can be an effective method of post-exercise restitution, and to check whether the algometer and the Opto-jump system can be reliable tools for measuring the regeneration of motor features.

For this study, 20 national successful karatekas participated in the study. The first step was to collect anthropometric data and measure the initial parameters. Then, the subjects

were subjected to strength training followed by measurement of the threshold of muscle soreness and the maximum power of the lower limbs, which were tested again 24, 48 and 72 hours after training. The next step was a massage series that was repeated 24 and 48 hours after strength training. Muscle soreness threshold was determined with the aid of an electronic algometer (Somedic, Algometer type II, Hörby, Sweden) at specific, pre-marked points along the anatomical path of the muscles. The maximum power of the lower limbs was tested using the Opto-jump system, during the test, the participants were asked to perform a series of 3 vertical jumps. The analysis of changes in the value of the muscle soreness threshold allowed to show the effect of deep tissue massage in the context of post-workout regeneration, out of 3 out of 4 examined muscles it was possible to change the pattern of development of delayed muscle soreness. Only one muscle showed a statistically significant reduction in the threshold of muscle soreness throughout the study and a return to baseline values 72 hours after training. During the analysis of the data on the maximum power of the lower limbs, no statistically significant changes were found, which also indicates a change in the pattern of maximum power recovery after strength training.

The obtained results confirmed the assumption that deep tissue massage is an effective means of post-workout regeneration and allows the players to regain their full strength. The measurement tools used allowed for a reliable and repeatable determination of the change of the tested parameters. There is no doubt about the use of deep tissue massage as a restitution method in strength training. Certainly, this study provided interesting data in the context of deep tissue massage in sport as well as ways to control the degree of post-exercise regeneration. This should draw the attention of scientists and people responsible for the regeneration of contestants in competitive sports to the frequency of applying restitution measures.

From a practical point of view, it seems important to deepen research into other sports disciplines and types of training applied in order to be able to fully assess both deep tissue massage and the measurement tools used.