

**AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. JERZEGO KUKUCZKI
W KATOWICACH**

Miłosz Drozd

**WPŁYW WIELKOŚCI OBCIĄŻENIA ZEWNĘTRZNEGO
NA CZAS REAKCJI I POZIOM GENEROWANEJ MOCY
KOŃCZYN DOLNYCH ZAWODNIKÓW MIESZANYCH
SZTUK WALKI (MMA)**

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor naukowy:
dr hab. Adam Maszczyk prof. nadzw. AWF

KATOWICE 2020

Spis treści

Wstęp	3
1. Mieszane sztuki walki (MMA) – charakterystyka dyscypliny	7
2. Siła mięśniowa.....	12
3. Moc mięśniowa	13
4. Struktura włókien mięśniowych	14
4.1 Potencjał mięśniowy zawodnika.....	15
5. Cykl rozciągnięcie-skurcz.	18
5.1 Klasyfikacja cyklu rozciągnięcie- skurcz	19
5.2 Podstawy fizjologiczne i neurofizjologiczne cyklu rozciąganie-skurcz.....	20
6. Klasyfikacja wysiłku fizycznego.....	22
7. Czas reakcji.	23
7.1 Czas reakcji prostej.....	25
7.2 Czas reakcji złożonej.	26
8. Problem badawczy w świetle piśmiennictwa	29
9. Materiał i metody badawcze.....	32
9.1 Narzędzia pomiarowe i protokół badań	32
9.2 Narzędzia analizy statystycznej	33
9.3 Cel pracy i hipotezy badawcze	35
9.4 Zastosowane procedury obliczeń.....	37
10. Wyniki badań.....	38
10.1 Analizy wstępne–statystyki opisowe w grupie zaawansowanej i średnio zaawansowanej z uwzględnieniem kategorii wagowych.....	38
10.2. Analiza występowania różnic pomiędzy wartościami generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji kończyn dolnych.....	42
10.3 Analiza generowania mocy szczytowej oraz czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy, w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego	57

10.4. Analiza dynamiki zmian wartości poziomu mocy szczytowej kończyn dolnych zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych, w zależności od kategorii wagowych	67
10.5. Analiza dynamiki zmian wartości czasu reakcji kończyn dolnych w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego.....	83
10.6. Analiza występowania zależności pomiędzy wartościami siły w której uzyskana została moc szczytowa, a wartościami mocy szczytowej, w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego	99
11. Dyskusja.....	101
Wnioski.....	110
Bibliografia	111
Streszczenie	130
Summary.....	132

Skróty użyte w pracy

Pełna nazwa	Skrót	Nazwa techniczna
Moc szczytowa dolnej kończyny wykroczonej (Wat)	PPW	Peak PWR Pwr (Wat) Wykroczonej
Moc szczytowa dolnej kończyny zakroczonej (Wat)	PPZ	Peak PWR Pwr (Wat) Zakroczonej
Siła w której została uzyskana moc szczytowa dolnej kończyny wykroczonej (Niuton)	PPFW	Peak PWR Force (Niuton) Wykroczonej
Siła w której została uzyskana moc szczytowa dolnej kończyny zakroczonej (Niuton)	PPFZ	Peak PWR Force (Niuton) Zakroczonej
Czas reakcji dolnej kończyny wykroczonej (sekunda)	CRW	Reaction time (sekunda) Wykroczonej
Czas reakcji dolnej kończyny zakroczonej (sekunda)	CRZ	Reaction time (sekunda) Zakroczonej

Wstęp

Mieszane sztuki walki (ang. mixed martial arts - MMA) dzięki swojej popularności na świecie, prostocie zasad walki, często zmieniającym się sytuacjom i dużej dynamice wciąż stanowią obiekt wielu badań. Kluczowym aspektem w tej dziedzinie sportu jest nie tylko taktyka, ale i odpowiednie przygotowanie motoryczne zawodnika, bez którego nie jesteśmy w stanie sprostać zadaniom taktycznym. Obecnie tą dyscyplinę wyróżnia coraz większa ilość pojedynków wymagająca od zawodników właściwego przygotowania sprawnościowego, które jest warunkiem pełnego wykorzystania umiejętności techniczno-taktycznych w sytuacjach walki sportowej.

Analizując historię MMA zauważamy znaczące zmiany. W ostatnich latach zwiększyło się tempo walki, bardzo zmienił się też styl prowadzonej rywalizacji, zauważamy diametralne różnice w technice i taktyce walki. Czynniki te spowodowały, że metodyka treningu obecnie wygląda zupełnie inaczej niż kilkanaście lat temu i cały czas dąży do maksymalnego wykorzystania potencjału motorycznego zawodnika, co wiąże się z efektywniejszym zastosowaniem umiejętności technicznych w warunkach rywalizacji sportowej, zwłaszcza wśród zawodników klasy mistrzowskiej.

Niniejsza praca poświęcona jest aspektowi przygotowania motorycznego zawodników MMA. Przedmiotem badań był wpływ wielkości obciążenia zewnętrznego na czas reakcji i poziom generowanej siły i mocy szczytowej kończyn dolnych. Większość działań zawodnika w trakcie walki sportowej bazuje na wykorzystaniu otwartego łańcucha kinematycznego, gdzie dolna taśma mięśniowa inicjuje wykonanie złożonych zadań ruchowych, takich jak: np. rzuty, kombinacje ciosów kończynami górnymi i dolnymi. Wymagają one w czasie współpracy skoordynowanych grup mięśniowych pełniących role stabilizatorów, antagonistów oraz synergistów. (Cheragbi i wsp. 2014) stwierdzili, iż pełny ruch całego łańcucha kinematycznego kończyny dolnej umożliwia wykonanie prawidłowego zadania ruchowego w warunkach funkcjonalnych, co wpływa na poziom siły i mocy mięśniowej, z której ta ostatnia definiowana jest jako zdolność do generowania siły mięśniowej z jednoczesnym wysokim tempem ruchu (Zając i wsp. 2010). Natomiast czas reakcji definiowany jest jako czas upływający od zadziałania bodźca do zapoczątkowania ruchu (Mori i wsp. 2002, Neto i wsp. 2009, Bianco i wsp. 2011). W MMA zależy to od tego, czy wizualny bodziec spowodowany jest działaniem przeciwnika (np. wycofaniem się, atakiem lub obroną). Ponadto w czasie walki zawodnik nieustannie stara się rozszyfrować rywala pod kątem strategii ataku, jak również jego ruchów w zakresie obrony lub kontrataku (Borysiuk i Waśkiewicz 2008, Loturco i wsp. 2015).

Zatem zastosowanie odpowiednich metod treningowych w periodyzacji treningu sportowego zawodników MMA, może doprowadzić do poprawy wyników związanych z wykorzystaniem umiejętności techniczno-taktycznych poprzez odpowiednie przygotowanie motoryczne, co pozwala podwyższyć wartość bojową zawodnika. (Stone i wsp. 2007, Hartmann i wsp. 2009, Mário 2015).

1. Mieszane sztuki walki (MMA) – charakterystyka dyscypliny

Mieszane sztuki walki (ang. mixed martial arts-MMA) jest stosunkowo młodą dyscypliną sportu, która jednak nawiązuje do starożytnych zawodów o zbliżonym charakterze. Pierwszym udokumentowanym sportem walki przypominającym MMA był pankration, w którym stosowano różne techniki z greckich zapasów i pięściarstwa a zabronione było jedynie wkładanie palców do oczu, gryzienie i uderzanie w genitalia (Magnus 2015). Przełomowym momentem w historii światowego MMA był bez wątpienia dzień 12 listopada 1993 roku, wtedy to został zorganizowany pierwszy oficjalny turniej Ultimate Fighting Championship (UFC). Jednym z organizatorów UFC był bratanek Carlosa Gracie, Rorion Gracie (brazylijska rodzina, z której wywodzą się utytułowani zawodnicy sportów walki. Jej członkowie są twórcami brazylijskiego jiu-jitsu). Mimo upływu lat UFC pozostaje na świecie najbardziej rozpoznawalną i skupiającą najlepszych zawodników organizacją MMA. Pierwsze gale UFC rządziły się innymi prawami niż te, które możemy podziwiać obecnie. Wraz z upływem czasu, w kolejnych edycjach UFC następowały zmiany zasad, mające na celu uatrakcyjnienie walk z jednoczesną poprawą bezpieczeństwa zawodników. Wprowadzono podział na pięć kategorii wagowych, gdzie walkę można było zakończyć na 8 sposobów a listę zakazanych akcji zwiększono do 31. (Bounty 2013, Buse 2006).

MMA jest sportem dwupodmiotowym tzn. bezpośrednim zmaganiem się dwóch zawodników. Walka składa się z 3 rund, po 5 minut każda lub w przypadku walki o mistrzostwo 5 rund po 5 minut, z jednogminutową przerwą wypoczynkową między rundami (Schick 2010). W walce wykorzystywane są techniki brazylijskiego ju-jitsu, judo, zapasów, boks, karate i wielu innych sportów walki. Zawodnicy podczas rywalizacji wyprowadzają różnorodną kombinację ciosów i chwytów, dążąc do pokonania przeciwnika (Tácito i wsp. 2015). Charakterystyczną cechą walk prowadzonych w MMA jest zmienna intensywność wysiłku. Struktura dyscypliny wymaga zarówno wysokiego poziomu siły, mocy mięśniowej jak i szeroko pojętej wytrzymałości. Charakteryzuje się ona jako zdolność organizmu do wykonywania wysiłków w warunkach zaburzonej homeostazy wewnątrzustrojowej organizmu, jak i zdolność do szybkiej regeneracji po zakończeniu pracy (Bounty i wsp. 2013, Forbes i wsp. 2009, Helgerud i wsp. 2007, Neal i wsp. 2013). Ponadto wyżej wymienione zdolności motoryczne w warunkach walki są istotnie skorelowane z czasem reakcji, który odgrywa ważną rolę w sportach walki i może być zdefiniowana jako czas, w którym zawodnik reaguje na dany bodziec (Neto i wsp. 2009, Bainco i wsp. 2011). W MMA czas reakcji zależy od wizualnego

bodźca wywołanego działaniem przeciwnika (atak, obrona). Podczas walki zawodnik musi w tym samym czasie działać ofensywnie (uderzenia kończynami górnymi i dolnymi, obalenia) jak i defensywnie (blok, obrona przed obaleniem, utrzymanie dystansu).

Rywalizacja w MMA odbywa się przy udziale wszystkich systemów wytwarzania energii w ustroju (fosfagenowy, glikolityczny oraz tlenowy), gdzie w obrębie całej walki dominuje mechanizm tlenowy (Lenetsky 2012, Bazyler i wsp. 2015, Vesterinen i wsp. 2016). Natomiast pewne specjalistyczne elementy techniki, takie jak: uderzenia, kopnięcia, rzuty, uniki, zasłony wymagają wysokiego poziomu zdolności szybkościowo-siłowych, w których dominuje fosfagenowy mechanizm resyntezy ATP (Adezyntrofosorn) (McGill 2010, Aagaard i wsp. 2002, 2008). Kiedy wiodące mięśnie w czynnościach specjalistycznych działają eksplozywnie z wykorzystaniem cyklu rozciągnięcie-skurcz (SSC), to mięśnie głębokie pełnią funkcję stabilizującą (McGill 2010, Willardson 2013, Lee i McGill 2015). Dlatego optymalny wzorzec w ruchu dynamicznym charakteryzuje się wykorzystaniem skumulowanej energii elastycznej tkanek niekurczliwych wokół mięśnia (ścięgien, powięzi, tkanki łącznej) nagromadzonej podczas fazy ekscentrycznej i uwolnienie jej podczas fazy koncentrycznej (Zajac i Chmura 2016, Taber i wsp. 2016, Hornsby i wsp. 2017).

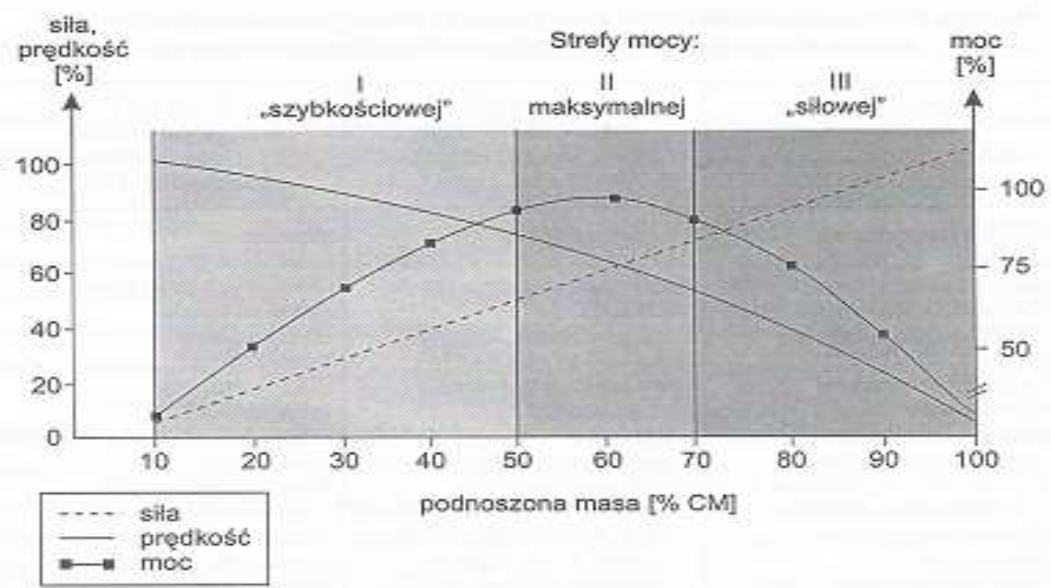
Reasumując, walka toczy się zarówno w pozycji stojącej lub w parterze (niskie położenia ciała w sporcie lub tańcu), gdzie dozwolone są rzuty, uderzenia kończynami górnymi (pięść, łokcie), dolnymi (stopa, kolano), dźwignie i duszenia. Zabronione są natomiast techniki stanowiące znaczne niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia zawodników. W regulaminach większości organizacji czy zawodów zwykle zakazane jest gryzienie, zahaczanie (wkładania palców w otwory fizjologiczne, np. usta czy nos), atakowanie genitaliów, oczu, krtani, uderzania głową i w kręgosłup oraz stosowanie dźwigni na małe stawy. Często organizatorzy wprowadzają dodatkowe ograniczenia, zabraniając np. ciosów łokciami, dźwigni na kręgosłup, skrętnych na staw kolanowy, wykonywania rzutów skutkujących upadkiem rywala na głowę lub uderzania kończynami dolnymi w parterze (Lenetsky 2012). O wyniku walki decyduje nokaut, poddanie oraz, jeśli walka nie zakończyła się przed czasem, decyzja sędziów. W zależności od regulaminu danych zawodów niekiedy dopuszczalnym rozstrzygnięciem może być też remis. Walki odbywają się na zwykłym ringu bokserskim lub na ringach różnych kształtów otoczonych siatką (potocznie zwaną „klatką”), która zapobiega wypadaniu zawodników poza miejsce walki. Ośmiokątny ring używany przez UFC jest określany „oktagonem”. Zawodnicy zawsze muszą posiadać ochraniacze na zęby oraz rękawice (zwykle cienkie, umożliwiające chwytywanie). Niekiedy dopuszcza się również stosowanie nagolenników lub ochraniaczy na kolana (Woodward 2009).

Efektywność kluczowych elementów technicznych w walce uwarunkowana jest odpowiednim poziomem siły mięśniowej, jednakże nawet najlepsi zawodnicy nie są w stanie wykorzystać swojego potencjału. Przyczyną niepełnego wykorzystania potencjału siłowego, przez zawodników jest nieodpowiednia synchronizacja (koordynacja) śródmięśniowa i międzymięśniowa. Jedyną sytuacją, w której może nastąpić pobudzenie prawie wszystkich jednostek motorycznych przy jednoczesnej skutecznej synchronizacji śródmięśniowej i między mięśniowej, jest sytuacja zagrożenia życia (Kraemer i wsp.2010, Thomas i wsp. 2011). W takiej sytuacji osoby działające w ogromnym napięciu wykonują czynności, które istotnie przekraczają ich codzienne możliwości wysiłkowe. Zjawisko to związane jest z udziałem amin katecholowych, które zwiększają kurczliwość mięśni szkieletowych. Efekt działania mięśnia w postaci generowanej siły zależy od liczby pobudzonych jednostek motorycznych oraz częstotliwości pobudzenia (Aagaard 2010, Baker i Newton 2005, Earle i Beachle 2008).

W MMA większość walk jest zakończona ciosem, uderzeniem lub kopnięciem, a ich efektywność zależy od wyuczonego wzorca techniki ruchu oraz od wartości siły eksplozywnej, rozumianej jako zdolność rozwijania maksymalnej siły w jak najkrótszym czasie. Często w literaturze wartość generowanej siły wyraża się jako tempo rozwijania siły (RFD–Rate of Force Development) lub tempo rozwijanej mocy (RPD–Rate of Power Development) (Kundson 2009, Thomas i wsp. 2015). Wyższa wartość RFD i RPD świadczy o generowaniu odpowiednio większej siły i mocy przy tym samym obciążeniu, a najlepiej wykorzystywana jest w działaniach techniczno-taktycznych trwających do 250 ms (Moir 2015, Lahti 2016). Działania techniczno-taktyczne, związane z pokonywaniem oporu przeciwnika, będą warunkowane wartością siły oraz prędkością wykonania ruchu (Andersen 2000). Wraz ze wzrostem oporu, moc początkowo wzrasta, osiągając maksimum przy wielkości oporu zbliżonej do 60% RM (Repetition maximum), a następnie maleje. Rozwijaną przez sportowca moc można rozpatrywać w trzech umownych strefach (Trzaskoma 2001):

- ✓ I strefa małego oporu zewnętrznego, umownie: „mocy szybkościowej”, tj. mocy rozwijanej przy małych wartościach siły i dużych prędkościach, rozwijana moc zwiększa się wraz ze wzrostem pokonywanej masy, ale jest mniejsza od mocy maksymalnej;
- ✓ II strefa średniego oporu zewnętrznego, umownie: „mocy maksymalnej (szczytowej)”, tj. mocy rozwijanej przy optymalnych wartościach siły i prędkości (zakres 50-70% RM), moc rozwijana w ćwiczeniu jest największa;
- ✓ III strefa dużego oporu zewnętrznego, umownie: mocy „siłowej”, tj. mocy rozwijanej

przy dużych wartościach siły i małych prędkościach (zakres powyżej 70% RM), rozwijana moc zmniejsza się wraz ze wzrostem wielkości oporu zewnętrznego.



Rycina 1 Zmiana siły, prędkości i mocy podczas pokonywania różnych wartości oporu zewnętrznego (wielkości oporu) w warunkach koncentrycznych (Trzaskoma 2001).

W sportach walki działania defensywne i ofensywne związane z poszczególnymi czynnościami przeciwnika zależą od jego reakcji. To pozwala stwierdzić, iż czas reakcji w MMA można postrzegać jako zdolność motoryczną, która umożliwia szybko reagować właściwą postawą i kontrolą na bodziec przeciwnika, taki jak: ruch, dźwięk lub wzrok (Konrad i wsp. 2019, Mori i wsp. 2002). W wielu przypadkach, w trakcie walki często jest konieczna błyskawiczna reakcja. Chociaż wiemy, że genetyka w większym stopniu wpływa na czas reakcji, to jego komponenty też podlegają wytrenowaniu, między innymi w takich przypadkach jak np. działania obronne w MMA związane z zablokowaniem działania ofensywnego na ramię lub nogę, gdyż zawodnik odczytuje i przewiduje ruchy ciała a nawet wychwytuje zmiany związane z mimiką twarzy przeciwnika. Pozwala to w trakcie walki na pozycjonowanie postawy w zależności od sytuacji. Najbardziej utytułowani zawodnicy mogą antycypować, szybko i eksplozywnie reagować, stosując właściwe postawę i kontrolę. Dzięki czemu mogą skutecznie zainicjować właściwe działania ofensywne lub defensywne.

Po uwzględnieniu powyższych informacji można stwierdzić, że wynik sportowy mieszanych sztuk walki w ujęciu motorycznym będzie zależny zarówno od poziomu siły i mocy szczytowej kończyn dolnych jak i czasu reakcji. Mają one bezpośredni wpływ na jakość czynności ruchowych wiążących się ze zdolnością do powstawania przyspieszeń, które z kolei

decydują o szybkości ruchu (Andersen 2006, Stone 2007). Nieustanne dążenie do wykorzystania maksymalnego potencjału zawodnika jak i charakter MMA, stawia zawodników i trenerów przed dużym problemem. Z jednej strony zawodnik musi być dobrze przygotowany do walki pod względem technicznym i taktycznym, z drugiej wykorzystanie tych elementów warunkuje odpowiednie przygotowanie motoryczne, co stawia MMA w kategorii sportów holistycznych (Antmann i wsp. 2008, Kraemer i wsp. 2001, Barbas i wsp. 2011).

2. Siła mięśniowa

Siła mięśniowa to zdolność do pokonywania oporów zewnętrznych lub przeciwstawiania się nim kosztem wysiłku mięśniowego (Bompa 2010). W ujęciu mechanicznym, według drugiej zasady dynamiki Newtona, siła jest iloczynem masy i przyspieszenia (Kraemer i Ratamess 2000, 2004). Z obecnej literatury wynika, iż wysoki poziom siły mięśniowej jest znacznie powiązany z wynikami sportowymi. Ma ona istotny związek z poziomem sportowym w sprincie lekkoatletycznym (Mário i wsp. 2015, Cormie i wsp. 2000), judo (Saraiva i wsp. 2017, Ruivo i wsp. 2012), MMA (Peacock i wsp. 2018), piłce nożnej (Wollin i wsp. 2018, Miodrag i wsp. 2016), rugby (Harrison 2018), hokeju (Kniffin 2017) jak i wielu innych sportach. Potwierdza to, iż siła mięśniowa jest głównym czynnikiem decydującym w wielu czynnościach sportowych, takich jak: zabezpieczenie układu mięśniowo-szkieletowego, pokonywanie lub przeciwstawienie się oporowi zewnętrznemu oraz stanowi fundament w kształtowaniu mocy mięśniowej. Dlatego właściwe speriodyzowanie treningu oporowego może kształtować tak układ nerwowo-mięśniowy, żeby zwiększyć jego możliwość do generowania siły mięśniowej i wpłynąć ostatecznie na wynik sportowy (Campos i wsp. 2002, Kraemer i Fleck 2007, Bradley-Popovich i Haff 2001). Należy pamiętać, że słabo kontrolowana genetycznie siła wykazuje wysoką podatność na trening, co umożliwia szybką adaptacją do zmiennych warunków środowiskowych, gdzie może być wykorzystywana w wielu działaniach. Dlatego wyróżniamy dwa względnie samodzielne mechanizmy wzrostu siły. Pierwszy to hipertrofia związana ze zmianami morfologicznymi i funkcjonalnymi zachodzącymi w tkance mięśniowej, gdzie w odpowiedzi na trening następuje przyrost przekroju poprzecznego włókien kurczliwych, co pośrednio pozwala zwiększyć możliwości przejawiania siły. Drugi związany jest ze zdolnością układu nerwowego, gdzie pod wpływem oddziaływania odpowiednim treningiem, wzorzec pobudzenia nerwowego może zostać zmieniony. Doprowadza to do zaangażowania dużej liczby jednostek motorycznych tworzonych przez neuron motoryczny (motoneuron) i zaopatrywanych przez niego włókien mięśniowych (Kruszewski i wsp. 1997, Szopa i wsp. 1996, Henrik i wsp. 2018, Gołaś i wsp. 2016, Marques i wsp. 2011).

3. Moc mięśniowa

Teoria sportu definiuje moc mięśniową jako zdolność do generowania siły mięśniowej, z jednoczesnym wysokim tempem ruchu. Najczęściej moc mięśniowa określana jest jako (Zajac i wsp. 2016):

- prędkość generowania skurczu mięśniowego
- produkcja siły i prędkości ($P = F \times V$)
- wielkość wytworzonej pracy przez jednostkę motoryczną w określonym czasie.

W wielu opracowaniach moc mięśniowa charakteryzowana jest jako relacja pomiędzy siłą, pokonywanym dystansem i czasem zaangażowania w wykonywaną czynność (Zajac i wsp. 2016).

$$Moc = \frac{\text{siła} \times \text{przesunięcie}}{\text{czas}}$$

W odróżnieniu od takich zdolności jak wytrzymałość czy siła mięśniowa, moc mięśniowa uzależniona jest genetycznie. Dlatego treningowe zmiany adaptacyjne związane są głównie z genotypem danego zawodnika. Moc jest ściśle związana, z takimi uwarunkowaniami genetycznymi jak: duża zawartość włókien szybko kurczliwych FT IIX (białych), umiejętność selektywnego ich pobudzenia, sprawność procesów nerwowych, szybkie przechodzenie z pobudzenia do hamowania i odwrotnie (Bompa i wsp. 2013). Dlatego moc warunkująca wysoki poziom zawodnika jest składową kilku lub kilkunastu czynników (komponentów), które je w jakimś stopniu je definiują (Magill 2007).

4. Struktura włókien mięśniowych

Aparat ruchowy człowieka składa się z mięśni szkieletowych noszących nazwę ze względu na swoją budowę, mięśni poprzecznie prążkowanych (Chmura 2001). W mięśniach dochodzi do wielu procesów biochemicznych i fizjologicznych, które przekształcają energię chemiczną w mechaniczną, która warunkuje skurcz i wykonanie wszystkich czynności motorycznych. Mięsień składa się z kilku tysięcy włókien mięśniowych (komórek mięśniowych) o wrzecionowatym kształcie. Długość ich waha się od kilku milimetrów do 50 cm o średnicy od 10 do 100 μm . Włókna układają się wiązkami, dzięki czemu przybierają budowę pęczków, z których zbudowany jest mięsień. Pomędzy pęczkami włókien mięśniowych biegną nerwy i naczynia krwionośne (kapilary), które transportują tlen i substancje odżywcze a także usuwają produkty przemiany materii.

Włókna mięśniowe tworzą pojedynczą wielojędrzastą komórkę, która otoczona jest z zewnątrz pobudliwą błoną komórkową. Tworzy ona zagłębienie, które przenika do wnętrza, w strukturze kanalików poprzecznych T, rozdzielając wnętrze komórki na odcinki po ok. 2,5 μm . Kanalik te, w środku komórki, przywierają do pęcherzyków struktury siateczki śródplazmatycznej. We wnętrzu komórki znajduje się sarkoplazma, pęczki włókien mięśniowych, jądro komórkowe, mitochondria, lizosomy, niewielkie ilości tłuszczu, wiele ziaren glikogenu i inne składowe. Włókno mięśniowe składa się z kilkuset włókienek mięśniowych. Miofibryl (włókienko) zbudowane jest z cienkich i grubych nitek białek kurczliwych tj. aktyny i miozyny. W skład każdego włókienka wchodzi sarkomery (odcinki kurczliwe), które przedzielone są poprzecznymi błonami białkowymi tzw. liniami Z położonymi niedaleko kanalików T. Nitki aktyny podłączone są do linii Z w taki sposób, że dzielą je na dwie połowy, dzięki czemu jedna połowa nitki aktyny przynależy do jednego sarkomeru a druga do drugiego. W środku sarkomeru (pomiędzy liniami Z) ułożone są grube nici miozyny (Frontera i Ochala 2012).

Wyjaśniając w skrócie, sarkomer to podstawowa jednostka strukturalna i funkcjonalna tzw. aparatu kurczliwego w mięśniach poprzecznie prążkowanych. Obejmuje cały prążek ciemny (miozynowy) i dwie połówki prążków jasnych (aktynowych). W czasie skurczu filamety aktynowe są wciągane pomiędzy filamety miozynowe. Sarkomer jest w istocie złożonym kompleksem kilkunastu białek, które tworzą dwa podstawowe filamety: grube, składające się z miozyny i tytyny kotwiczącej filament w prążku Z oraz filamety cienkie,

składające się z aktyny, troponiny i tropomiozyny zakotwiczone końcem plus za pomocą czapeczek Z w prążkach Z.

Wzajemne oddziaływania między obu typami filamentów, pod wpływem jonów wapnia, powodują skurcz sarkomerów a co za tym idzie również skurcz całych mięśni, dlatego ich działanie jest podstawą czynności ruchowych (Chmura 2001).

4.1 Potencjał mięśniowy zawodnika

Potencjał mięśniowy zawodnika zależy od umiejętności wykorzystania posiadanej siły mięśniowej w określonych czynnościach ruchowych (Przetransferowanie posiadanego potencjału siły i mocy mięśniowej na takie techniki o charakterze wielostawowym jak eksplozywne uderzenia kończynami górnymi i dolnymi, podczas walki w bezpośrednim zwarciu z przeciwnikiem dążąc do obalenia lub do zerwania uchwytu) dla danej dyscypliny sportu (Alegre i wsp. 2006, Sewall i Lander 1991). Wzmiankowany potencjał zależy od kilku czynników, które zostały opisane poniżej.

➤ *Rekrutacja jednostek ruchowych.*

Określenie „Rekrutacja jednostek ruchowych” odnosi się do liczby pobudzanych jednostek ruchowych mięśnia. Kiedy zostaje pobudzonych więcej jednostek motorycznych, wartość siły wzrasta (Żołądź 2003). Rekrutacja zachodzi zwykle w uporządkowany sposób, od mniejszych do większych jednostek ruchowych, zależy też od szybkości skurczu, jego rodzaju oraz stanu metabolicznego mięśnia (Bompa 2010). Zasada Hennemana głosi, iż pobudzanie jednostki ruchowej zależy od jej rozmiarów. Większe jednostki ruchowe mają wyższy poziom pobudzania i są uruchamiane później niż jednostki mniejsze. Większe obciążenie zewnętrzne będzie aktywowało większe jednostki ruchowe (Gray i wsp. 2013, Siewe i wsp. 2013, Nelson i wsp. 2014). Mimo wszystko, wzorzec rekrutacji jednostek ruchowych, zależy nie tylko od wartości rozwijanej siły, ale również od szybkości skurczu (Kraemer 1992, Kreamer 1994).

➤ *Kodowanie częstościowe w jednostkach ruchowych.*

Odnosi się do pobudzania jednostki ruchowej. Niezwykłą cechą jest to, że wzrost siły rozwijanej przez mięsień nie pociąga za sobą rekrutacji dodatkowych jednostek ruchowych. Kodowanie odgrywa znaczącą rolę w określeniu dowolnego skurczu (Aagaard 2010).

➤ *Synchronizacja jednostek ruchowych.*

Synchronizacja jednostek ruchowych następuje wskutek równoczesnego pobudzenia wielu jednostek ruchowych. Uważa się, że ten proces jest odpowiedzialny za rozwijanie większej mocy (Kramer 2005).

➤ *Hamowanie nerwowo-mięśniowe.*

Hamowanie nerwowe, w wyniku którego zostaje obniżona zdolność rozwijania dużej siły, może się pojawić wskutek odpowiedzi nerwowej z różnych receptorów mięśniowych i stawowych. Narządy ścięgniste Golgiego, będące swoistym „bezpiecznikiem”, zapobiegają rozwinięciu przez mięsień siły niszczącej w wysiłkach maksymalnych lub submaksymalnych. Jeśli wzorzec tego „bezpiecznika” zostanie zmieniony, może pojawić się proces przeciwny, wskutek którego możliwość rozwinięcia siły wzrasta (Alegre i wsp. 2006).

➤ *Rozrost mięśnia (hipertrofia).*

W odpowiedzi na trening przyrost pola przekroju mięśnia wiąże się z rozrostem mięśnia (hipertrofią). Przyrosty te zwiększają liczbę włókien kurczliwych i tym samym zwiększają zdolność rozwijania siły. Wyróżnia się dwa rodzaje hipertrofii: (Zając i wsp. 2010).

- miofibrylarną: polega na rozroście włókien mięśniowych.
- sarkoplazmatyczną: cechuje ją wzrost objętości glikogenu w mięśniach, co przyczynia się częściowo do powstania zjawiska zwanego pompą mięśniową.

➤ *Rodzaj włókien mięśniowych.*

Rodzaj włókien ukierunkowuje zawodnika do wykonywania pracy o charakterze wytrzymałościowym lub szybkościowym. Stosunek włókien mięśniowych u każdego człowieka różni się procentową zawartością. Sama struktura włókien dotyczy zarówno budowy morfologicznej jak i cech funkcjonalnych (Paavo i Komi 2005). Włókna typu II FT (szybkokurczliwe), zwane inaczej białymi poprzez małą zawartość mioglobiny, charakteryzują się bardzo krótkim czasem skurczu z dużą, bądź średnią siłą skurczu. Odznaczają się wyższą, niż w przypadku włókien wolno kurczliwych podatnością na zmęczenie. Cechą wyróżniającą włókna FT jest wysoki potencjał anaerobowy. Wyróżniamy dwa rodzaje włókien szybokurczliwych, mianowicie:

- **FT-IIA**- włókna tlenowo glikolityczne o średniej podatności na zmęczenie. Posiadają duże ilości mioglobiny, mitochondriów i naczyń włosowatych. Włókna tego typu mają bardzo wysoką zdolność generowania ATP przez oksydacyjne procesy metaboliczne a także mają dużą szybkość skurczu i są odporne na zmęczenie (Chmura 2017).

- **FT-IIIX**- włókna glikolityczne, wyjątkowo podatne na zmęczenie. Zawierają małą ilość mioglobiny, mitochondriów i naczyń włosowatych, ale wysokie stężenie glikogenu. Włókna są białe, dostosowane do resyntezy ATP w beztlenowych procesach metabolicznych. Włókna te posiadają największy potencjał w szybkości i skracaniu mięśnia oraz największą aktywność kinazy kreatynowej (Chmura 2001).

➤ *Temperatura mięśni.*

Czynnikiem wpływającym na zdolność mięśni do generowania mocy szczytowej jest temperatura wewnątrzmięśniowa. Jej wielkość w spoczynku mierzona na głębokości około 4cm, w mięśniu czworogłowym uda, wynosi ok 36 stopni C. W wyniku prawidłowej rozgrzewki wzrasta ona o około 3-4 stopnie, co zwiększa możliwości generowania szczytowej mocy o około 15-20%. W wyniku wzrostu temperatury rośnie maksymalna szybkość skracania włókien mięśniowych. Włókna typu I nabierają cech włókien typu II (Andersen i Aagaard 2000).

5. Cykl rozciągnięcie-skurcz.

Podczas wykonywania uderzenia kończyną górną bądź dolną, celem zawodnika jest wykonanie jej tak, aby przeciwnik nie był w stanie jej przewidzieć, ani właściwie na nią przeciwdziałać. Dlatego zawodnicy wykonują złożone kombinacje kończynami górnymi jak i dolnymi zmieniając tempo jak i miejsce uderzeń, które bardzo często zakończone są silnym ciosem lub obaleniem. Stąd też wygenerowanie silnego ciosu z pominięciem fazy ekscentrycznej może być bardzo trudne do osiągnięcia, ponieważ nie wystąpiła faza poprzedzająca daną czynność ruchową związaną z cyklem rozciągnięcie skurcz (SSC- short shortening cycle). Wytworzenie wysokiej mocy w ruchach dynamicznych podczas walki wymaga udziału SSC ,gdyż większość działań wiąże się z kombinacją trzech faz skurczu mięśnia co przedstawiono na rycinie numer 1 (Bompa 2015, Haff i Nimphius 2012, Jetton i wsp. 2013, Kim i wsp. 2001, Zajac i Chmura 2016,).

Fazy cyklu rozciągnięcie skurcz w ruchu dynamicznym przedstawiają się następująco:

- a. Faza ekscentryczna (skurcz ekscentryczny-rozciągnięcie mięśnia) nazywana również hamowaniem, może być zainicjowana przez świadome działanie lub być efektem energii kinetycznej powstałej np. podczas zeskoku. Podczas fazy ekscentrycznej dochodzi do kumulacji energii elastycznej, która może być wykorzystana do wykonania pracy koncentrycznej w fazie odbicia (Kubo i wsp. 2000).
- b. Faza przejściowa- to faza pomiędzy rozciągnięciem, a fazą koncentryczną. Dochodzi wtedy do tzw. fazy quasi-izometrycznej, w trakcie której mięsień nie ulega już rozciąganiu, ale już zainicjował skracanie. Dynamiczne przejście z fazy amortyzacji do skracania pozwala na wykorzystanie energii nagromadzonej podczas fazy ekscentrycznej. Zbyt długa faza przejściowa powoduje częściową utratę energii skumulowanej w fazie rozciągania, która ulega rozproszeniu w tkance mięśniowej i elementach elastycznych.

- c. Faza koncentryczna- faza odbicia (zwana też skracania, propulsją, odepchnięciem) występuje natychmiast po fazie quasi-izometrycznej, wykorzystuje koncentryczną pracę mięśni na potrzeby wykorzystania energii w poprzednich fazach.

Faza	Czynność	Mechanizm fizjologiczny
Ekscentryczna	Rozciąganie mięśni	Gromadzenie energii elastycznej w mięśniach i ścięgnach. Pobudzenie wrzecion mięśniowych.
Amortyzacji	Przejście między fazą I i III praca quasi-izometryczna	Aferentne włókna nerwowe Ia łączą się z motoneuronami ruchowymi. Alfa motoneurony przenoszą pobudzenie na mięśnie.
Koncentryczna	Skracanie mięśni	Energia elastyczna z kompleksu ścięgno-mięsień zostaje uwolniona. Alfa motoneurony pobudzają mięsień do skurczu.

Rycina nr 2 Fazy cyklu rozciągnięcie-skurcz w ruchu (Zajac i Chmura 2016).

5.1 Klasyfikacja cyklu rozciągnięcie- skurcz

Schmidtbleicher (1992) zasugerował, że cykl rozciągnięcie-skurcz (SSC) można sklasyfikować poprzez podział na dwa podtypy: szybkie SSC i powolne SSC.

Szybki cykl SSC charakteryzuje się krótkim czasem skurczu (<0,25s), z niewielkimi odchyleniami kątowymi i może być obserwowany podczas takich ćwiczeń jak różnego skippingi na drabince koordynacyjnej. Natomiast powolny SSC oznacza dłuższy czas skurczu (0,25-0,50s), większe przesunięcia kątowe i może być obserwowane podczas ćwiczeń, takich jak: drop jump (DJ), podskoki w formie przysiadu ze sztangą na plecach i z niewielkim procentowym obciążeniem zewnętrznym (Behringer i wsp. 2011).

5.2 Podstawy fizjologiczne i neurofizjologiczne cyklu rozciąganie-skurcz.

Sterowanie układu nerwowego, obejmujące komponenty ośrodkowe i obwodowe, odgrywa kluczową rolę cyklu rozciąganie-skurcz i może być w naturalny sposób związane z dostosowaniem zachowań mechanicznych i modyfikacji strukturalnych kompleksu mięsień-ścięgno. (Nicol i wsp. 2006). Dlatego wyróżniamy kilka mechanizmów wpływających na SSC:

- **Mechanizm obwodowy:** polega na wykorzystaniu energii sprężystej zgromadzonej w kompleksie mięsień-ścięgno, która gromadzona jest podczas fazy ekscentrycznej i zostaje uwolniona w fazie koncentrycznej ruchu. Wykorzystanie energii sprężystej wynika z właściwości sprężystych kompleksu mięsień-ścięgno, która gromadzona jest podczas fazy ekscentrycznej a zostaje uwolniona w fazie koncentrycznej ruchu. Wykorzystanie tej energii wynika z owego kompleksu mięsień-ścięgno podczas jego powracania do pierwotnego kształtu, po ustąpieniu naprężeń mechanicznych, które wpłynęły na jego odkształcenie. W mechanizmie tym istotną rolę odgrywają proprioceptory, które przekazują informacje o stanie mięśnia do rdzenia kręgowego (Zajac i Chmura 2016, Turner i Jeffreys 2010, Komi i Gollhofer 1997)

- **Mechanizm ośrodkowy:** wpływa na wzrost generowanej siły mięśniowej poprzez wykorzystanie odruchu mitotycznego (wrzecionka nerwowo-mięśniowe) oraz ze ścięgna (organy Golgiego). W odruchu miotatycznym główną rolę pełnią włókna intrafuzalne (wrzecionka nerwowo mięśniowe), które położone są równolegle do włókien mięśniowych odpowiadających za skracanie lub zmianę napięcia mięśnia (włókna ekstrakfuzalne) (Zajac i wsp 2010, Kubo i wsp. 2000, Flanagan i Comyns 2008). Rozciągane wraz z mięśniem wrzecionka nerwowo-mięśniowe przesyłają impulsy do rdzenia kręgowego, z którego pobudzenie biegnie dalej do włókien mięśniowych, powodując ich skracanie. W motoneuronie alfa następuje sumowanie się pobudzenia z ośrodkowego układu nerwowego oraz wrzecionek mięśniowo-nerwowych, co powoduje wzrost generowanej siły mięśniowej za sprawą zwiększonego napięcia mięśniowego (Hobara i wsp. 2008, Hori i wsp. 2005, Lloyd i wsp. 2012). Odwrotne skutki wywołuje odruch ze ścięgna. Znajdują się tu receptory zwane narządami Golgiego (czujniki rejestrujące wartość siły generowanej przez mięsień). Gdy naprężenie układu mięsień ścięgno gwałtownie wzrasta, impulsy będą do magnetronu alfa, zarówno pobudzane mięśnia, gdzie wpływają na hamowanie skurczu, jak i jego antagonisty

powodują inicjonowanie skurczu. W ten sposób naprężenie kompleksu mięsień-ścięgno obniża się. Jest to mechanizm obronny, który zapobiega uszkodzeniu tego kompleksu przez działanie zbyt dużych sił zewnętrznych (Zajac i Chmura 2016, Zatsiorsky i Kreaemer 2006, McBride i wsp. 2008, McCaulley i wsp. 2007).

- ***Pozostałe mechanizmy SCC:*** rozciągnięcie mięśnia przed wystąpieniem jego skurczu umożliwia zwiększenie czasu rozwijania siły mięśniowej, który w cyklu ruchu z fazą koncentryczną jest wydłużony o fazę ekscentryczną. Efektem wstępnego rozciągnięcia jest wzrost generowanej siły mięśniowej, w porównaniu do czynności ruchowej, w której nie występuje etap fazy ekscentrycznej (Zajac i Chmura 2016, Slimani i wsp. 2016). Dodatkowo na poziomie subkomórkowym w fazie ekscentrycznej, podczas interakcji między aktyną i miozyną, kumulowana jest energia potencjalna, która może być wykorzystana jako dodatkowy czynnik zwiększający siłę skurczu mięśniowego (Foure i wsp. 2009, Foure i wsp. 2011). Elementem, który również wpływa na wzrost mocy mięśniowej, jest zmiana kąta położenia między poprzecznymi mostkami miozynowymi a nitkami aktyny, jaka występuje podczas rozciągania pobudzanego mięśnia. (Zajac i wsp. 2010, 2016, Boullosa i wsp. 2018, Earp i wsp. 2011).

6. Klasyfikacja wysiłku fizycznego.

MMA charakteryzuje się zmiennością pracy mięśniowej, która wynika z płaszczyzny walki i rodzaju wykonywanych czynności ruchowych w trakcie działań techniczno-taktycznych (uderzenia, klincz, techniki parterowe). Dzięki czemu wysiłek fizyczny i jego podział dotyczy intensywność oraz charakterystycznych zmian, jakie zachodzą w walki. Pierwszym głównym kryterium jest podział ze względu na rodzaj skurczów mięśni biorących udział w wysiłku.

- **Wysiłek statyczny**- dominują izometryczne skurcze mięśni (zmiana napięcia mięśnia bez zmiany jego długości) (Czarkowska- Pączek i Przybylski 2006).
- **Wysiłek dynamiczny**- dominują izotoniczne skurcze mięśni (zmiana długości mięśnia bez zmiany jego napięcia) (Sowa-Lewnadowska 2012).
- **Wysiłek ekscentryczny**- dominują ekscentryczne skurcze mięśni (rozciągnięcie się mięśnia pod wpływem działającej siły zewnętrznej) (Górski 2006).
- **Wysiłek koncentryczny**- dominują koncentryczne skurcze mięśnie (zmniejszenie się długości mięśnia) (Jaskólska 2005).

7. Czas reakcji.

W wielu dyscyplinach sportu zawodnicy zmuszeni są wykonywać wysiłki o różnej intensywności a jednocześnie muszą wykazywać się odpowiednimi zdolnościami psychomotorycznymi (Spradley i wsp. 2012). Czas reakcji jest niezwykle istotnym czynnikiem decydującym o efektywności ruchu jak i też ważnym elementem przygotowania zawodników. W sporcie wyczynowym zawodnicy muszą wykonywać zadania ruchowe nie tylko niezwykle precyzyjnie, ale również pod presją czasu (Ando i wsp. 2002, Żukowski 1995). Wpływ na nią ma wiele czynników, m.in.: poziom pobudzenia struktur nieswoistych układu nerwowego (przede wszystkim układu siatkowatego), wiek, płeć, stan psychiczny, cykl okołodobowy, zmęczenie, odżywianie, zażywanie używek, uwarunkowania genetyczne, a także osobnicze predyspozycje (Huciński i wsp. 2007, Cojocariu i Honceriu 2011, Nisiyama i Ribeiro 2014). Podłożem strukturalnym czasu reakcji jest łuk odruchowy, czyli droga od zakończenia nerwów dośrodkowych w narządzie recepcyjnym (receptora) do zakończeń nerwów odśrodkowych w narządzie wykonawczym (efektora). Parametr ten zależy od bodźca, który ma daną reakcję wywołać. Na bodźce dźwiękowe reagujemy znacznie szybciej (odpowieź waha się w przedziale 105-108 ms) niż na sygnały wzrokowe (150- 225 ms) (Nisiyama i Ribeiro 2014, Ritesh i wsp. 2012).

Czas reakcji można zdefiniować jako czas upływający od zadziałania bodźca do zapoczątkowania ruchu. Na jego całościowy wymiar składa się pięć parametrów:

- t1-powstanie pobudzenia w receptorze.
- t2-przekazanie pobudzenia do ośrodkowego układu nerwowego.
- t3-przebieg pobudzenia przez nerwowe ośrodki i uformowanie sygnału wykonawczego.
- t4-przebieg sygnału z ośrodkowego układu nerwowego do mięśnia.
- t5- pobudzenie mięśnia, zmiana jego napięcia oraz zapoczątkowanie ruchu.

Można zatem wyznaczyć określony wzór na czas reakcji:

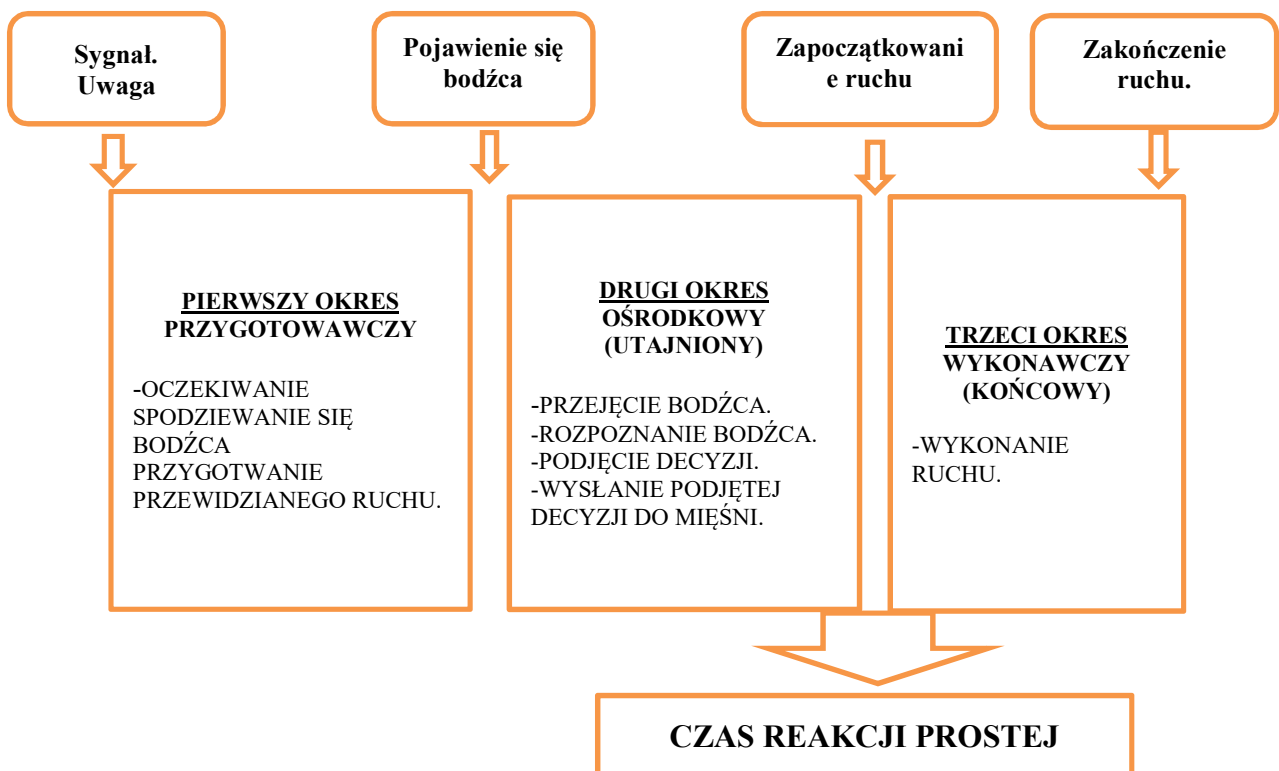
$$t = t1 + t2 + t3 + t4 + t5$$

Powstanie pobudzenia w receptorze (t_1) zależy przede wszystkim od zdolności skupienia uwagi (wzrokowej, słuchowej) oraz umiejętności widzenia obwodowego. Elementy te są w pewnym stopniu możliwe do wytrenowania oraz można je doskonalić w procesie treningowym (Szafraniec i wsp. 2012, Kwiatkowski i wsp. 2006). Czas przekazania pobudzenia do ośrodkowego układu nerwowego (t_2) powiązany jest z w miarę stałą szybkością przewodzenia nerwów czuciowych (Bauman 1992).

Okres przejścia pobudzenia z ośrodka czuciowego do ruchowego i uformowanie sygnału wykonawczego (t_3) jest ściśle zależny od ruchliwości procesów nerwowych. Poziom wytrenowania zawodnika będzie znacząco wpływał na czas pobudzenia i jest najbardziej zróżnicowaną, co do wielkości składową, co decyduje o ogólnej czasie reakcji. W znacznym stopniu zależy to od stopnia przyswajania nawyku ruchowego i jego plastyczności. Prawidłowo przygotowany okres treningowy oraz dosyć relatywnie wysoki poziom koordynacyjno - techniczny zawodnika może spowodować obniżenie tego parametru. Czas przebiegu uformowanego sygnału z ośrodkowego układu nerwowego do mięśnia (t_4) nerwami ruchowymi, podobnie jak (t_2) jest wielkością względnie stałą, powiązana z szybkością przewodzenia we włóknach mięśniowych i w zależności od ich grubości mieści się, w przybliżeniu, w przedziale 60-120 m/s. Szybkość ta zmienia się wraz z dojrzewaniem, gdzie najlepsze wyniki osiągamy między 9-28 rokiem życia, po tym okresie stopniowo ulega pogorszeniu (Dirix 1988). Czas pobudzenia mięśnia (t_5) powoduje jego zmiany napięcia i zainicjowania ruchu, ściśle powiązany jest np. z siłą mięśni, które pokonują na początku ruch bezwładności ciała, poprzez kurczliwość włókien mięśniowych oraz prawidłową koordynację i pracę mięśniową (np. rozluźnianie grup, które w danym momencie nie biorą udziału w ruchu). Świadczy to o tym, że poprzez odpowiedni trening jesteśmy w stanie skrócić także i tę składową czasu reakcji (Sozański i wsp. 1999).

7.1 Czas reakcji prostej.

Czas reakcji prostej jak przedstawiono na schemacie nr 2 jest definiowana na dwie składowe: czas reagowania, czyli czas trwania okresu utajonego i czas wykonania ruchu, czyli czas odpowiedzi ruchowej okresu wykonawczego (Chmura 2001, Huczinski i wsp. 2007, Czajkowski 1994). Danemu bodźcowi odpowiada jedna określona odpowiedź ruchowa. Największy wpływ na czas reakcji prostej ma m.in. rodzaj bodźca, intensywność, częstość jego działania, aktualny stan receptora. Reakcja prosta to odpowiedź wcześniej określonym ruchem na już poznany, nagle pojawiający się sygnał. Do tego rodzaju reakcji zalicza się start w biegu, wyskok przy rozgraniu spornej piłki (Geblewiczowa 1973, Savelsbergh i wsp. 2005, Ghuntla i wsp. 2013). Uzyskiwane wyniki w znacznym stopniu uzależnione są od czynników wrodzonych, czyli od szybkości przebiegu impulsu po włóknach nerwowych (Der i Deary 2006).



Schemat nr1 reakcji prostej (Czajkowski 1998)

Okres przygotowawczy: Rozpoczyna się od podania komendy: UWAGA! i trwa do chwili pojawienia się bodźca. W tym okresie zachodzą dwa ważne procesy:

- Oczekiwanie na pojawienie się bodźca.
- Przygotowanie ruchu (działania).

Zawodnik, wiedząc jaki wystąpi bodziec, może przygotować program odpowiedniego ruchu, wydobywając z pamięci podstawowe składowe danego działania (sposób zablokowania ciosu dłonią, kopnięcie nogą). W zależności od przewagi jednego z tych procesów wyróżniamy typ reakcji czuciowej (sensomotorycznej) lub typ reakcji ruchowej (motorycznej).

Okres ośrodkowy (utajniony): trwa od momentu pojawienia się bodźca do zapoczątkowania ruchu. W okresie utajnionym badany nie wykonuje żadnego ruchu, ale w jego ośrodkowym układzie nerwowym zachodzą bardzo istotne procesy:

- przejęcie bodźca (część czuciowa).
- część kojarzeniowa, w której następuje rozpoznanie, że jest to bodziec, na który oczekujemy (podjęcie decyzji).
- część ruchowa, w której podniety z ruchowego pola kory mózgowej płyną do narządu wykonawczego, czyli do mięśni, co powoduje wykonanie już uprzednio przygotowanego ruchu.

Procesy zachodzące w okresie utajnionym są niewidoczne dla obserwatora.

Okresy wykonawczy (końcowy): trwa od zapoczątkowania do zakończenia ruchu. W okresie tym badany wykonuje z góry przewidziany ruch, a więc określone działania. W czasie walki, czy też jednostki treningowej, widzimy tylko okres wykonawczy, czyli końcowy efekt reakcji przejawiający się aktem ruchowym (Chmura 2001, Pilianidis i wsp. 2012, Ghuntla i wsp. 2013, Czajkowski 1998).

7.2 Czas reakcji złożonej.

Reakcja złożona, jest odpowiedzią czuciowo ruchową, w której występuje więcej niż jeden oczekiwany bodziec. Charakterystyczną cechą reakcji złożonej jest to, iż bodźce, na które reagują zawodnicy rozłożone są na dużej przestrzeni (Bołoban 2009, Chmura 2001, Green 2000, Gagajew 1973). W ramach reakcji złożonych wyróżnia się:

➤ **Reakcje różnicowe:** jak przedstawiono to na schemacie nr 2, polegają na różnicowaniu bodźców, wynikających z walki sportowej. Na jeden bodziec-działanie reagujemy właściwie (bodziec istotny-pozytywny), a na inne bodźce-działanie pozorowane nie reagujemy (bodziec nieistotny- negatywny). W tej reakcji zachodzi konieczność różnicowania, czyli odróżnienia bodźców pozytywnych od negatywnych. W warunkach walki sportowej różnicowe reagowanie przejawia się w dwóch sytuacjach:

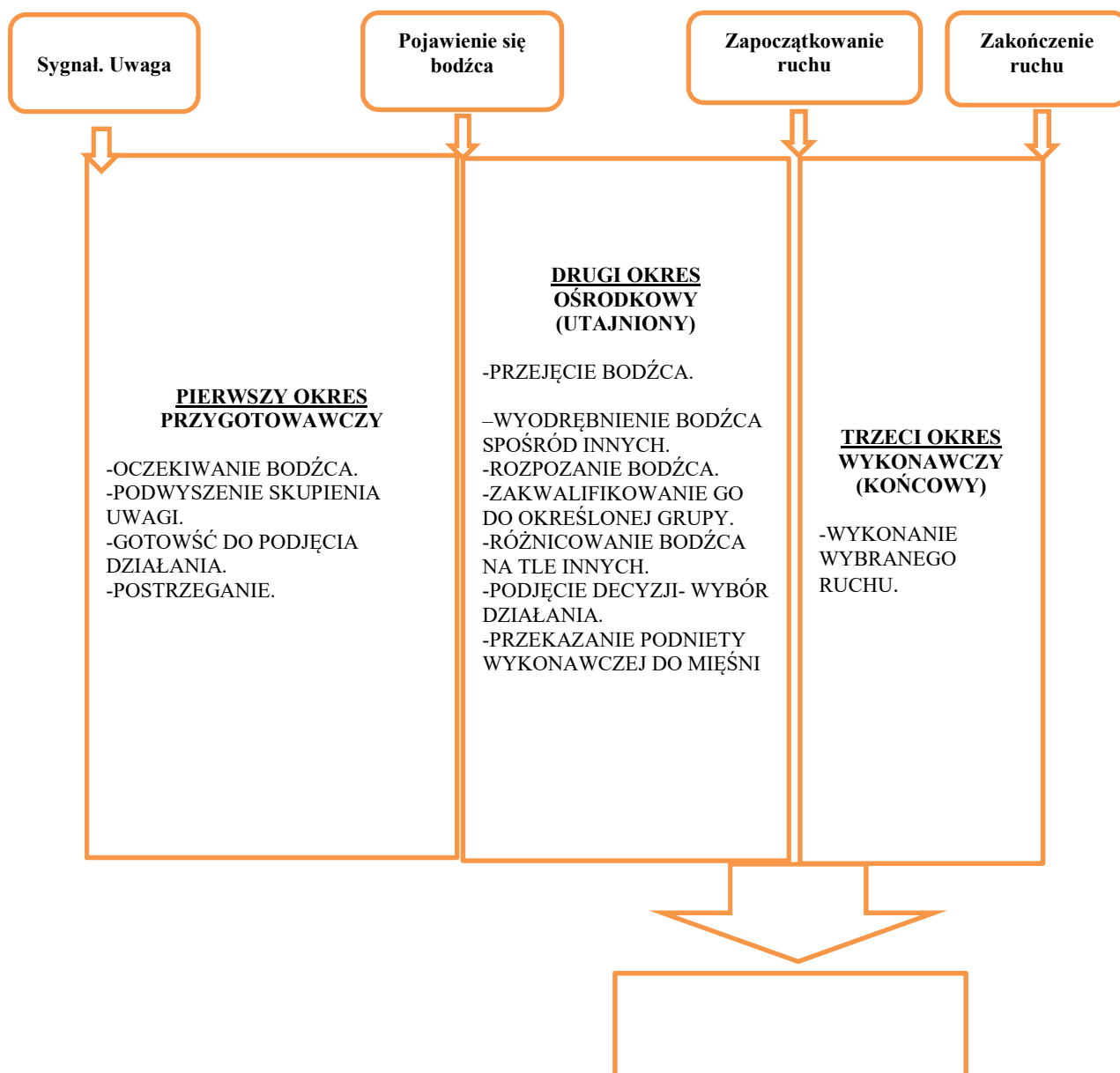
- kiedy zawodnik jest poddany dużej ilości bodźców, wtedy na jedne reaguje na drugie nie.
- kiedy na zawodnika działają bodźce bardzo podobne, musi je wyodrębnić i właściwie zareagować.

O uzyskaniu dobrych wyników w reakcjach różnicowych, decydują następujące czynniki: szybkość przewodzenia impulsu nerwowego po włóknach nerwowych (wchodzi to w zakres czasu reakcji prostej) oraz w znacznej mierze szybkość przetwarzania bodźca w korze mózgowej, czyli szybkość różnicowania bodźców i szybkość podejmowania trafnych decyzji (Żukowski 1995,1978, Spratford i Campbell 2017).



Schemat nr 2 Proces reakcji różnicowej Chmura (2001)

- **Reakcje z wyboru:** reakcja, w której wiemy jak zareagować na różne bodźce, ale nie wiemy jaki bodziec zadziała w danym momencie, ponieważ na każdy z nich odpowiadamy innym, wybranym ruchem (działaniem) co przedstawia schemat nr 3 (Chmura 2001, Gagajew 1973, Montes-Mico i wsp. 2000, Ando i wsp. 2001).



Schemat nr 3 reakcji z wyboru (Chmura 2001)

8. Problem badawczy w świetle piśmiennictwa

Zarówno w krajowej jak i w światowej literaturze istnieje wiele doniesień na temat poziomu siły i mocy szczytowej zawodników sportów walki (Alm i wsp. 2013, Lenetsky i wsp. 2013). Zawierają one pozycje określające zależność poziomu mistrzostwa sportowego z poziomem siły i mocy szczytowej (Tota i wsp. 2014). Zdolność do generowanej szczytowej mocy jest wskazywana jako znaczący czynnik sukcesu w czynnościach sportowych wymagających optymalnej korelacji pomiędzy siłą i prędkością (Baker 2005, Argus i wsp. 2013). Przeprowadzone badania w celu określenia optymalnego profilu motorycznego zawodnika MMA, potwierdziły, iż zawodnicy wyższego poziomu sportowego posiadają lepszy potencjał nerwowo-mięśniowy, z uwzględnieniem siły i mocy szczytowej, od zawodników niższego szczebla (Lachlan i wsp. 2016). Jednakże wyniki te były mniej wyraźne, kiedy zostały przypisane do stylu bazowego zawodnika (styl, z którego wywodzi się dany zawodnik). Większa siła była widoczna u zawodników wywodzących się ze sportów chwytanych, natomiast lepszą prędkość uzyskiwali zawodnicy bazujący na sportach uderzanych. Kolejnym istotnym wnioskiem uzyskanym podczas badania profilu motorycznego zawodnika MMA, polegającego na teście kończyn dolnych, w progresywnym SJ (jump squacie) z obciążeniem 0,25,50,75,100 % BM (body mass) i SJ z 0% BM. Wykazało, że w stosunku do zawodników rangi amatorskiej (264.46 ± 68.19) zawodnicy rangi mistrzowskiej posiadają wyższe wartości szczytowe RPD (352.68 ± 84.51). Ponadto wartości szczytowe RPD zawodników mistrzowskich we wszystkich powtórzeniach jak i wartościach średnich RPD 50-75%BM wskazują, iż moc ma istotne znaczenie w MMA. (Tidow 1990, Aagaard i wsp. 2002). Niewiele jest natomiast informacji dotyczących zróżnicowania siły i mocy szczytowej prawej i lewej kończyny dolnej, które stanowią w sportach walki kończynę zakroczną i wykroczną. Wieloletni proces treningowy ukierunkowany na wykonywanie działań unilateralnych w aspekcie techniczno-taktycznym jak i przyjęta pozycja wyjściowa może doprowadzić do asymetrii i dominacji jednej kończyny dolnej lub górnej, co może wynikać również z istniejących wcześniej preferencji kończyn. Kiedy w procesie treningowym nie uwzględnia się obu kończyn a sportowiec praktykuje powtarzalne, asymetryczne obciążenie, może to wtedy doprowadzić do zwiększenia dysbalansu mięśniowego (Rynkiewicz i wsp. 2013, Kanpik 1991, Gore 2014, Mały i wsp. 2017). Nawet jeśli optymalizacja procesu treningowego jest przeprowadzana prawidłowo, to obciążenia narzucone przez dyscyplinę mogą być wystarczająco silne, aby sportowcy w wyniku zmian adaptacyjnych po stronie dominującej nieuchronnie rozwinęli pewien stopień

funkcjonalności i asymetrii, powodując różnice w składzie mineralnym kości i gęstości mineralnej kości (Calbet i wsp. 1998, Kannus i wsp. 1995, Vad i wsp. 2004). Wyjątek mogą stanowić te dyscypliny sportowe, w których gibkość jest parametrem fundamentalnym w osiąganym rezultacie, ponieważ występuje tu jednoczesna wydajność mięśniowa kończyn dolnych. Stosowane w gimnastyce ćwiczenia, pomagają symetrycznie rozwijać czynną i bierną elastyczność kończyn dolnych i prowadzą do uzyskania wyższego wyniku sportowego (Khudik i wsp. 2012, Carrara i wsp. 2015).

Mało jest również informacji dotyczących wpływu różnych wartości obciążenia zewnętrznego na czas reakcji. W trakcie badań (Brisswalter i Arcelin 1997) dotyczących wpływu wysiłku fizycznego na czas reakcji prostej, dwie grupy biegaczy średnio-dystansowych, z podziałem na stopień zawansowania, wykonywało cztery wysiłki submaksymalne na cykloergometrze trwające 10 min z obciążeniem 20/40/60/80 % Pmax. Aparatura do czasu reakcji była umiejscowiona na kierownicy w postaci joysticka, a bodziec pojawiał się na środku ekranu (100 cm od twarzy) i był oddzielony nieregularnym okresem poprzedzającym, wahającym się od 3 do 5 sekund. W czasie reakcji uczestnicy zadania trzymali joystick i musieli odpowiedzieć na sygnał wzrokowy. Parametr badano zarówno przed każdą z sesji jak i minutę po próbie wysiłkowej. Wykazano, iż średnia wartość czasu reakcji w spoczynku różniła się w zależności od poziomu sprawności fizycznej ($p < 0.05$). Średnie czasy były znacznie krótsze niż te uzyskane podczas zadania, niezależnie od obciążenia pracą ($p < 0.005$). Badania wykazały istotny wpływ sprawności fizycznej ($p < 0.01$) oraz interakcji sprawności fizycznej i obciążenie pracą na średnią czasu reakcji ($p < 0.01$) (Deligni i wsp. 1994). Jednym z najczęściej badanych czynników dotyczących czasu reakcji jest pobudzenie napięcia mięśniowe. Owa reakcja jest najszybsza przy średnim poziomie pobudzenia i pogarsza się, gdy pasmo jest albo zbyt rozluźnione, albo zbyt napięte (Welford 1997, Broadbent 1971). Istnieją również badania analizujące czas reakcji w różnych rodzajach aktywności fizycznej. Bieżące badania, które zbadały tę kwestię, przyniosły sprzeczne wyniki ponieważ stosowano szereg niespójnych metod oraz strategii pomiaru. Analizując wpływ zmęczenia elitarnych tureckich zapaśniczek na czas reakcji bezpośrednio przed jak i po rywalizacji sportowej, stwierdzono związek pomiędzy zmienną w spoczynku jak i po walce sportowej, gdzie czas przed rywalizacją wyniósł ($227, 62 \pm 64.71$ ms) jak i bezpośrednio po ($280, 37 \pm 64.71$ ms) (Ruchan i wsp. 2016). W literaturze istnieje kilka zbliżonych badań, w których sportowcy uprawiający tenis, boks oraz tenis stołowy, wykonując analizę czasu reakcji bezpośrednio po obciążeniu na 40%, 60% i 80% Pmax wykazało, iż czas reakcji się wydłużyła (Kioumourtzoglou i wsp. 1998, Duvan i wsp. 2010). Eksperymenty czasu reakcji można sklasyfikować na trzy główne kategorie: prosty test

czasu reakcji wykorzystuje jeden bodziec-jedna odpowiedź. Następnie w teście czasu reakcji wykorzystuje się symbole, aby zignorować lub reagować tylko jednym prawidłowym bodźcem, wywołując w ten sposób jedną prawidłową odpowiedź. Istnieje wiele bodźców i reakcji wielokrotnych, ale reakcja musi odpowiadać właściwemu bodźcowi (Kosiński 2013). Ponadto występują badania porównujące zawodników sportów walki i osób nieaktywnych fizycznie, wskazujące na to, że czas reakcji jest lepszy u zawodników sportów walki niż u osób nie biorących czynnego udziału w aktywności fizycznej (Donovan i wsp. 2006, Arito i Oguri 1990, Brisswalter i wsp. 1997).

W obrębie danych empirycznych określających wpływ beztłuszczowej masy ciała (*FFM-fat free mass*) na poziom sportowy oraz na wielkość generowanej siły i mocy szczytowej kończyn dolnych, stwierdzono większą siłę i moc kończyn u zawodników rangi mistrzowskiej niż w grupie średnio zaawansowanych jak i amatorów (Loturco i wsp. 2016). Ponadto analiza składu ciała, poszczególnych segmentów z uwzględnieniem tkanki tłuszczowej i mięśniowej, może zostać wykorzystana w celu zminimalizowania ryzyka wystąpienia urazu (Mała i wsp. 2014). Natomiast badania zapaśników różnych kategorii dotyczące różnic pomiędzy mocą anaerobową kończyn dolnych nie wykazały istotnych statystycznie zmian w mocy względnej. Jednakże zawodnicy ciężkiej kategorii wagowej osiągnęli najniższe wyniki mocy względnej w stosunku do pozostałych grup wagowych zapaśników (Barbas i wsp. 2011, Toshiyuki i wsp. 2015).

W wielu dyscyplinach sportu poziom siły i mocy szczytowej prawej i lewej kończyny dolnej jest zbliżony. Jednakże charakter MMA różnicuje pod tym względem obie kończyny ze względu na przyjętą pozycję podstawową oraz wyuczony wzorzec ruchu. Mając na uwadze powyższe, ocena poziomu siły i mocy szczytowej przeprowadzona osobno dla dolnej kończyny zakroczonej i wykroczonej, pozwoli określić różnice występujące między nimi, gdyż w literaturze przedmiotu brakuje doniesień dotyczących poziomu siły i mocy szczytowej dolnej kończyny wykroczonej i zakroczonej (Loffing 2015).

Podjęcie tej tematyki z uwzględnieniem dolnej kończyny wykroczonej i zakroczonej u zawodników MMA wydaje się zatem uzasadnione w szczególności w aspekcie określenia wpływu wielkości obciążenia zewnętrznego na czas reakcji, poziom generowanej mocy szczytowej i siły w której została uzyskana moc szczytowa.

9. Materiał i metody badawcze

Materiał badawczy stanowili zawodnicy MMA będący w wieku seniora. Badania zostały przeprowadzone w okresie startowym. System doboru zawodników do badań miał charakter mieszany. W badaniach wzięło udział 45 zawodników MMA z minimum 10 letnim stażem treningowym. Badanych podzielono na trzy kategorie wagowe (lekka: 66-70 kg; średnia: 77-84 kg i ciężka powyżej 93kg). Klasyfikacja zawodników została opracowana na podstawie Rankingu Polskich Zawodników MMA. W toku badań z powodu urazów i kontuzji wyeliminowano 3 zawodników na skutek urazów i kontuzji. Do każdej kategorii wagowej zakwalifikowano po 14 zawodników. Badani nie wykonywali żadnych oporowych ćwiczeń kończyn dolnych i górnych przez 48 godzin przed przystąpieniem do prób wysiłkowych. Zawodnicy zostali poinformowani o protokole badań i wynikających z niego zagrożeń i korzyści, a następnie wyrazili pisemną zgodę na uczestnictwo w badaniach. Każdy zawodnik mógł zrezygnować z uczestnictwa w badaniach na dowolnym etapie ich trwania. Protokół badań został zaakceptowany przez Uczelnianą Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach.

9.1 Narzędzia pomiarowe i protokół badań

Badania przeprowadzono w Pracowni Siły i Mocy Mięśniowej AWF Katowice z wykorzystaniem urządzenia pneumatycznego Keiser Leg Press (Keiser, Fresno, CA, USA). Przyrząd umożliwia pomiar siły w której została uzyskana moc szczytowa i mocy szczytowej niezależnie dla obu kończyn dolnych z jednoczesną rejestracją czasu uzyskania tych zmiennych. Stosując przyrząd Keiser Leg Press z modułem diagnostycznym *A420* można zmierzyć poszczególne zmienne w całym zakresie ruchu. Wspomniane wyżej oprogramowanie, pozwala na indywidualną rejestrację liczby powtórzeń ćwiczenia następujących zmiennych: moc szczytowa [W], czas reakcji [s], poziom siły, w której została uzyskana moc szczytowa [N], poziom siły maksymalnej (1RM). Moc szczytowa oraz poziom siły, w której została uzyskana moc szczytowa zostały wyrażone w wartościach uzyskanych z uwzględnieniem *FFM*. Pomiar masy i składu ciała został przeprowadzony, na czczo w godzinach rannych na urządzeniu pomiarowym InBody 370, działającym w oparciu o impedancję elektryczną.

Badania przeprowadzono w godzinach popołudniowych po lekkim posiłku o charakterze węglowodanowym. Uczestnicy przed przystąpieniem do rozgrzewki informowali, która z kończyn jest dolną kończyną zakroczną. Przed przystąpieniem do pomiarów właściwych badani wykonywali 20 minutową rozgrzewkę (10 minut pracy na cykloergometrze rowerowym

oraz wykonaniu kilku ćwiczeń siłowych, angażujących górną i dolną część ciała 5 min). Kończącym elementem rozgrzewki była praca na urządzeniu pomiarowym Keiser Leg Press zgodnie z protokołem producenta, w którym zgięcie w stawie kolanowym między udem a podudziem wynosiło 90 stopni w celu wstępnego oszacowania względnej wartości ciężaru maksymalnego (obciążenie wzrasta o 25 kg w każdym kolejnym powtórzeniu, gdzie przerwa pomiędzy kolejnym powtórzeniem wynosi 30s). Na podstawie tych danych przeprowadzono test 10 pojedynczych powtórzeń, gdzie pierwsze dwa powtórzenia nie są brane pod uwagę w trakcie testu a wartość oporu zewnętrznego i czas do następnego powtórzenia nie ulega zmianie) w celu uzyskania danych pomiarowych. Test ten jest standaryzowanym protokołem pomiarowym firmy Kesier. W przypadku niedoszacowania wartości 1RM protokół pomiarowy uwzględnia dodatkowe 1-2 powtórzenia weryfikacyjne. Test 10RM rozpoczyna się odliczaniem czasu na wyświetlaczu użytkownika wtedy, gdy wartość osiągnie 0. Faza ekscentryczna nie jest brana pod uwagę. Urządzenie automatycznie zwiększa opór średnio o 10% wartości RM i zaczyna odliczać czas do następnego powtórzenia. Czas przerwy pomiędzy pierwszymi powtórzeniami jest relatywnie krótki i wydłuża się wraz ze wzrostem oporu. Upływający czas po 5 sekundzie zostaje wyświetlany na panelu jako myślnik, aby zapobiec przewidywaniu momentu zareagowania na bodziec. Zawodnik w każdym powtórzeniu reaguje z maksymalną siłą na zadane obciążenie zewnętrzne (wszystkie wartości wyświetlane służą do uzyskania informacji wyłącznie osobie badanej).

9.2 Narzędzia analizy statystycznej

W celu rozwiązania problemu badawczego zostały zastosowane analizy empiryczne przez eksploracyjne o charakterze porównawczym i modelowym (Maestas i Preuhs 2000, McCullough i Wilson 2005, Maszczyk i wsp. 2011, 2012, 2013).

Ponieważ moc szczytowa oraz poziom siły, w której została uzyskana moc szczytowa zostały wyrażone w wartościach uzyskanych z uwzględnieniem beztłuszczowej masy ciała (FFM), zastosowano wzory: PPW lub PPZ=PP/FFM oraz PPFW lub PPFZ=PPF/FFM

Wartość FFM obliczona została ze wzoru:

$$\mathbf{FFM=TBM-FM}$$

gdzie:

FFM to beztłuszczowa masa ciała,

TBM to całkowita masa ciała,

FM to masa tłuszczowa.

W pierwszej kolejności, w celu zdefiniowania powstałych macierzy danych zastosowano statystykę opisową (wartości średnie, odchylenia standardowe, minimum, maksimum, współczynnik zmienności).

Weryfikacja występowania różnic pomiędzy zmiennymi oraz pomiędzy grupami przeprowadzona została z wykorzystaniem testu T-Studenta oraz jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA. Gdy występowały istotne statystycznie różnice zastosowano testy post-hoc (Tukey).

W celu oceny dynamiki zjawiska zbudowane zostały modele szeregów czasowych (dynamiczny), w których rozpatrywane były poziomy zmiennych-wyniki pomiarów poszczególnych zmiennych, jako funkcja czasu. Wprowadzając numerację jednostek czasu $t=0$ do $t=n-1$ oraz podporządkowując je numerom zaobserwowane poziomy badanego zjawiska, uzyska się tzw. realizację procesu stochastycznego, w postaci szeregu czasowego (Snarska 2005, Kumar i wsp. 2008). Do analizy zmienności dynamiki zjawiska, wykorzystane zostały zatem indeksy o podstawie zmiennej (łańcuchowej) oraz stałej. Wielkość i kierunek trendu został wyznaczony z zastosowaniem średniej ruchomej. Każdorazowo po zbudowaniu modelu szeregu czasowego weryfikowany były stopień dopasowania funkcji trendu do danych empirycznych. W tym celu, wykorzystany został współczynnik zbieżności, który wyraża się wzorem:

$$\phi^2 = \frac{\sum [x_i - f(t)]^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

Kształtowanie się powiązań pomiędzy analizowanymi zmiennymi zostało sprawdzone za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona.

Reasumując, stwierdzono, że przeprowadzona będzie komplementarna analiza danych statystycznych z zastosowaniem programu komputerowego Statistica (StatSoft Polska Sp. z o.o.) oraz arkusza kalkulacyjnego Excel programu Microsoft Office (Microsoft, Poland).

9.3 Cel pracy i hipotezy badawcze

Zasadniczym celem pracy będzie określenie różnic w poziomie generowanej mocy szczytowej, siły w której została uzyskana moc szczytowa oraz czas reakcji, względem zmian wielkości obciążenia zewnętrznego z uwzględnieniem dolnej kończyny zakroczonej i wykroczonej. Problem ten będzie rozpatrywany w aspekcie kategorii wagowych oraz poziomu sportowego zawodników MMA.

Realizację tak sformułowanego celu badań sprowadzono do poszukiwania odpowiedzi na poniższe pytania:

1. Czy występują różnice pomiędzy wartością generowanej mocy szczytowej, siły w której została uzyskana moc szczytowa i czasie reakcji dolnej kończyny zakroczonej i wykroczonej u zawodników MMA, w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego?
2. Przy jakiej wartości procentowej obciążenia zewnętrznego zawodnicy MMA generują szczytową moc kończyn dolnych, w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego ?
3. Przy jakiej wartości procentowej obciążenia zewnętrznego zawodnicy MMA osiągają najkrótszy czas reakcji, w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego ?
4. Jak zmienia się poziom mocy i czasu reakcji kończyn dolnych w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego u zawodników MMA ?
5. Czy występuje istotna zależność siły w której została uzyskana moc szczytowa z wartością szczytową mocy u zawodników MMA, w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego ?

Hipotezy badawcze:

1. Istnieją istotne różnice pomiędzy wartością generowanej mocy szczytowej dolnej kończyny wykroczonej i zakroczonej u zawodników MMA z uwzględnieniem kategorii wagowych oraz poziomu sportowego.
2. Zawodnicy MMA generują największą moc szczytową kończyn dolnych przy obciążeniu 60% 1RM.
3. Najkrótszy czas reakcji na bodziec wzrokowy zawodnicy uzyskują z obciążeniem 10-20% 1RM.
4. Największy poziom mocy szczytowej i najkrótszy czas reakcji uzyskują zawodnicy w średnich kategoriach wagowych, o najwyższym poziomie sportowym (zgodnie z listą rankingową MMA).
5. Występuje zależność pomiędzy poziomem siły w której została uzyskana moc szczytowa kończyn dolnych, a wartością generowanej mocy szczytowej, jednak nie jest ona istotna.

9.4 Zastosowane procedury obliczeń

Mając na celu dokonanie szczegółowych i istotnych analiz pomiędzy badanymi zmiennymi, posłużono się następującymi technikami obliczeń statystycznych:

1. Badanie wstępne rozpoczęto od określenia statystyk opisowych analizowanych zmiennych (Maestas i Preuhs 2000, McCullough i Wilson 2005, Maszczyk i wsp. 2011, 2012, 2013).
2. W celu określenia różnic pomiędzy poszczególnymi kategoriami wagowymi oraz w zależności od poziomu sportowego w aspekcie generowanej mocy dolnej kończyny zakroczonej i wykroczonej, zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA oraz testy post-hoc (Maestas i Preuhs 2000, Green 2003, Keele i Kelly 2006).
3. W celu określenia różnic wewnątrz grup (kategoria wagowa, poziom sportowy), zastosowano test T-Studenta (Maestas i Preuhs 2000, Green 2003, Keele i Kelly 2006).
4. Dla określenia wartości procentowej obciążenia zewnętrznego, przy której zawodnicy MMA generują szczytową moc kończyn dolnych oraz osiągają najkrótszy czas reakcji i uwzględniając kategorie wagowe oraz z podziałem na poziomy sportowe, sporządzono odpowiednie wykresy.
5. W celu określenia dynamiki zmian poziomu mocy szczytowej i czasu reakcji kończyn dolnych w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego u zawodników MMA, zastosowano analizę szeregów czasowych i indeksy o podstawach stałych oraz zmiennych (Maestas i Preuhs 2000, Green 2003, Keele i Kelly 2006, Maszczyk 2012, 2014).
6. Zależności pomiędzy siłą w której została uzyskana moc szczytowa, a wartością szczytową mocy w różnych kategoriach wagowych od kategorii wagowych i poziomach sportowych sprawdzono, używając współczynnika korelacji liniowej Pearsona (Ginevan i Splitstone 2004, Maszczyk 2012, 2014).

Powyższych obliczeń dokonano z zastosowaniem programu komputerowego Statistica (StatSoft Polska Sp. z o.o.) oraz arkusza kalkulacyjnego Excel programu Microsoft Office (Microsoft Poland).

10. Wyniki badań

10.1 Analizy wstępne–statystyki opisowe w grupie zaawansowanej i średnio zaawansowanej z uwzględnieniem kategorii wagowych

Sprawdzono rozkłady wszystkich analizowanych zmiennych, uzyskanych podczas przeprowadzonych pomiarów. Parametry oraz statystyki opisowe zmiennych pomiarowych, zaprezentowano w tabelach 1-6.

Tabela 1. Parametry opisowe szczytowej mocy, siły w której uzyskana została moc szczytowa oraz czas reakcji kończyn dolnych w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg

Zmienna	\bar{X}	S	V
PPW	16,09	0,821	5,102
PPZ	16,76	1,536	9,164
PPFW	31,03	2,733	8,808
PPFZ	31,23	2,739	8,770
CRW	0,306	0,058	18,862
CRZ	0,302	0,063	20,867

Tabela 2. Parametry opisowe szczytowej mocy, siły w której uzyskana została moc szczytowa oraz czas reakcji kończyn dolnych w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg

Zmienna	\bar{X}	S	V
PPW	12,174	2,546	20,919
PPZ	12,626	2,403	19,037
PPFW	29,120	2,007	6,620
PPFZ	29,252	1,846	5,965
CRW	0,508	0,138	27,092
CRZ	0,497	0,111	22,336

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, iż w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg, największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazały zmienne: **PPFW** oraz **PPFZ** (odpowiednio

S=185,838 i S= 186,230). Natomiast największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna: **CRZ** (V=20,867%).

Natomiast w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg, największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazały zmienne: **PPW** oraz **PPZ** (odpowiednio S= 173,179 i S= 163,446). Największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna **CRW** (V=27,092%).

Reasumując, w kategorii wagowej 66-70 kg w obydwu badanych grupach zawodników, wszystkie wariancje zmiennych miały rozkład normalny z niewielkimi odchyleniami lewo lub prawostronnymi, mieszczącymi się jednak w zakresach normalności (Ferguson, Takane 1997; Maestas i Preuhs 2000; Knusel 2002).

Tabela 3. Parametry opisowe szczytowej mocy, siły w której uzyskana została moc szczytowa oraz czas reakcji kończyn dolnych w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Zmienna	\bar{X}	S	V
PPW	12,901	2,465	19,109
PPZ	13,673	2,279	16,670
PPFW	29,391	3,908	13,343
PPFZ	29,268	3,585	12,293
CRW	0,398	0,076	19,127
CRZ	0,372	0,062	16,600

Tabela 4. Parametry opisowe szczytowej mocy, siły w której uzyskana została moc szczytowa oraz czas reakcji kończyn dolnych w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg

Zmienna	\bar{X}	S	V
PPW vs. PPZ	12,575	1,153	9,170
PPFW vs. PPFZ	12,524	1,055	8,427
CRW vs CRZ	27,023	2,128	7,875
PPW vs. PPZ	27,230	2,111	7,751
PPFW vs. PPFZ	0,311	0,031	9,845
CRW vs CRZ	0,761	1,092	23,516

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, iż w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazały zmienne: **PPFW** oraz **PPFZ** (odpowiednio S= 312,670 i S= 286,849). Natomiast największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna: **CRW** (V=19,127%). Natomiast w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazały zmienne: **PPFW** oraz **PPFZ** (odpowiednio S= 170,244 i S= 168,854). Największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna: **CRZ** (V=23,516%).

Reasumując, w kategorii wagowej 77-84 kg w obydwu badanych grupach zawodników, wszystkie wariancje zmiennych miały rozkład normalny z niewielkimi odchyleniami lewo lub prawostronnymi, mieszczącymi się jednak w zakresach normalności .

Tabela 5. Parametry opisowe szczytowej mocy, siły w której uzyskana została moc szczytowa oraz czas reakcji kończyn dolnych w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Zmienna	\bar{x}	S	V
PPW	12,650	2,165	17,121
PPZ	12,680	2,208	17,421
PPFW	26,169	3,388	12,947
PPFZ	26,316	3,327	12,644
CRW	0,346	0,076	21,826
CRZ	0,367	0,074	20,265

Tabela 6. Parametry opisowe szczytowej mocy, siły w której uzyskana została moc szczytowa oraz czas reakcji kończyn dolnych w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg

Zmienna	\bar{x}	S	V
PPW	10,435	0,865	8,295
PPZ	10,285	0,935	9,098
PPFW	22,871	1,734	7,583
PPFZ	22,290	2,587	11,610
CRW	0,378	0,083	22,022
CRZ	0,353	0,095	26,862

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, iż w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazały zmienne: **PPFZ** (odpowiednio $S=359,140$ i $S=352,687$). Natomiast największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna: **CRW** ($V=21,826\%$).

Natomiast w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazały zmienne **PPFZ** (odpowiednio $S=420,01$ i $S=421,15$). Największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna: **CRZ** ($V=22,022\%$).

Reasumując, w kategorii wagowej powyżej 93 kg, w obydwu badanych grupach zawodników, wszystkie wariacje zmiennych miały rozkład normalny z niewielkimi odchyleniami lewo lub prawostronnymi, mieszczącymi się jednak w zakresach normalności.

10.2. Analiza występowania różnic pomiędzy wartościami generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji kończyn dolnych

Analizy wewnątrzgrupowe – zawodnicy zaawansowani

W kategorii wagowej 66-70 kg (zawodnicy zaawansowani), dla zmiennych w tabeli 7 analiza testem T-Studenta na poziomie istotności statystycznej $p < 0.05$ wykazała, iż nie można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa oraz czas reakcji kończyny dolnej zakroczonej i wykroczonej u badanych zawodników.

Tabela 7. Wynik analizy testem T-Studenta w celu określenia różnic pomiędzy wartościami generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji kończyny dolnej zakroczonej, i wykroczonej u zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg (zawodnicy zaawansowani).

Zmienne	\bar{X}_1	\bar{X}_2	p
PPW vs. PPZ	16,091	16,760	0,368
PPFW vs. PPFZ	31,029	31,228	0,902
CRW vs CRZ	0,305	0,302	0,914

W kategorii wagowej 77-84 kg (zawodnicy zaawansowani), dla zmiennych w tabeli 8 analiza testem T-Studenta na poziomie istotności statystycznej $p < 0.05$ wykazała, iż nie można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa oraz czas reakcji kończyny dolnej zakroczonej, i wykroczonej u badanych zawodników.

Tabela 8. Wynik analizy testem T-Studenta w celu określenia różnic pomiędzy wartościami generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji kończyny dolnej zakroczej i wykroczej u zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg (zawodnicy zaawansowani).

Zmienne	\bar{X}_1	\bar{X}_2	p
PPW vs. PPZ	12,901	13,670	0,586
PPFW vs. PPFZ	29,291	29,170	0,956
CRW vs CRZ	0,397	0,372	0,542

Podobnie jak w dwóch poprzednich kategoriach, w kategorii wagowej powyżej 93 kg (zawodnicy zaawansowani), dla zmiennych w tabeli 9 analiza testem T-Studenta na poziomie istotności statystycznej $p < 0.05$ wykazała, iż nie można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji kończyny dolnej zakroczej, i wykroczej u badanych zawodników.

Tabela 9. Wynik analizy testem T-Studenta w celu określenia różnic pomiędzy wartościami generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji dolnej kończyny zakroczej, i wykroczej u zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg (zawodnicy zaawansowani).

Zmienne	\bar{X}_1	\bar{X}_2	p
PPW vs. PPZ	12,650	12,680	0,981
PPFW vs. PPFZ	26,169	26,316	0,941
CRW vs CRZ	0,346	0,366	0,645

Analizy wewnątrzgrupowe – zawodnicy średnio zaawansowani

W kategorii wagowej 66-70 kg (zawodnicy średnio zaawansowani), dla zmiennych w tabeli 10 analiza testem T-Studenta na poziomie istotności statystycznej $p < 0.05$ wykazała, iż nie można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc maksymalna i czas reakcji dolnej kończyny zakroczej, i wykroczej u badanych zawodników.

Tabela 10. Wynik analizy testem T-Studenta w celu określenia różnic pomiędzy wartościami generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc maksymalna i czas reakcji dolnej kończyny zakroczej i wykroczej u zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg (zawodnicy średnio zaawansowani).

Zmienne	\bar{X}_1	\bar{X}_2	p
PPW vs. PPZ	12,174	12,626	0,759
PPFW vs. PPFZ	30,320	30,952	0,583
CRW vs CRZ	0,508	0,496	0,873

W kategorii wagowej 77-84 kg (zawodnicy średnio zaawansowani), dla zmiennych w tabeli 11 analiza testem T-Studenta na poziomie istotności statystycznej $p < 0.05$ wykazała, iż nie można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji dolnej kończyny i wykroczej u badanych zawodników.

Tabela 11. Wynik analizy testem T-Studenta w celu określenia różnic pomiędzy wartościami generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji dolnej kończyny zakroczonej, i wykroczonej u zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg (zawodnicy średnio zaawansowani).

Zmienne	\bar{X}_1	\bar{X}_2	p
PPW vs. PPZ	12,575	12,524	0,937
PPFW vs. PPFZ	27,023	27,230	0,869
CRW vs CRZ	0,310	0,761	0,336

Podobnie jak w dwóch poprzednich kategoriach, w kategorii wagowej powyżej 93 kg (zawodnicy średnio zaawansowani), dla zmiennych w tabeli 12 analiza testem T-Studenta na poziomie istotności statystycznej $p < 0.05$ wykazała, iż nie można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas i reakcji dolnej kończyny zakroczonej i wykroczonej u badanych zawodników.

Tabela 12. Wynik analizy testem T-Studenta w celu określenia różnic pomiędzy wartościami generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji dolnej kończyny zakroczonej i wykroczonej u zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg (zawodnicy średnio zaawansowani).

Zmienne	\bar{X}_1	\bar{X}_2	p
PPW vs. PPZ	10,435	10,285	0,779
PPFW vs. PPFZ	22,871	22,290	0,657
CRW vs CRZ	0,378	0,352	0,631

Analizy międzygrupowe – zawodnicy zaawansowani vs. średnio zaawansowani

W kategorii wagowej 66-70 kg dla zmiennych w tabeli 13 analiza wariancji ANOVA pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników, na poziomie istotności statystycznej $p < 0.05$ wykazała, iż można było odrzucić hipotezy o braku różnic w przypadku czterech zmiennych. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach dwóch zmiennych (Tabela 13).

Tabela 13. Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji dolnej kończyny zakroczonej, i wykroczonej pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg.

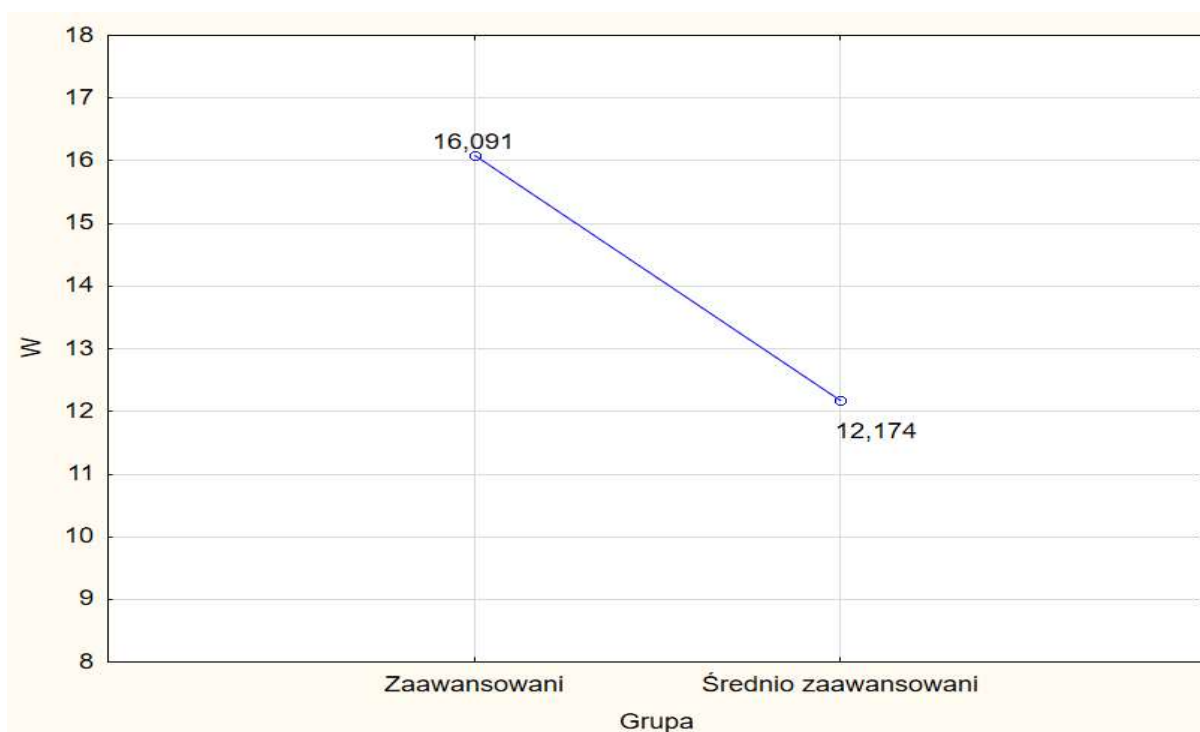
Zmienne	F	p
PPW vs. PPZ	12,853	0,005
PPFW vs. PPFZ	12,601	0,005
CRW vs CRZ	0,262	0,619
PPW vs. PPZ	0,041	0,841
PPFW vs. PPFZ	11,036	0,008
CRW vs CRZ	13,952	0,004

Otrzymane wartości analiz dowodzą, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy wartościami zmiennych: **PPZ**, **PPW**, **CRZ** oraz **CRW**, w kategorii wagowej 66-70 kg. Tabele 14 – 17 oraz ryciny 1- 4, przedstawiają wyniki testów post-hoc dla zmiennych istotnie różnicujących grupy.

Dla zmiennej **PPW** test post-hoc RIR Tukeya wykazał jednoznacznie różnice w uzyskanych wartościach tej zmiennej pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników w kategorii wagowej 66-70 kg (Tabela 14, Ryc. 3).

Tabela 14 Wynik analizy post hoc w celu określenia wielkości różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPW** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg.

Grupa	Zaawansowani	Średnio zaawansowani
	Wartość zmiennej	Wartość zmiennej
	16,091	12,174
Zaawansowani		0,005
Średnio zaawansowani	0,005	

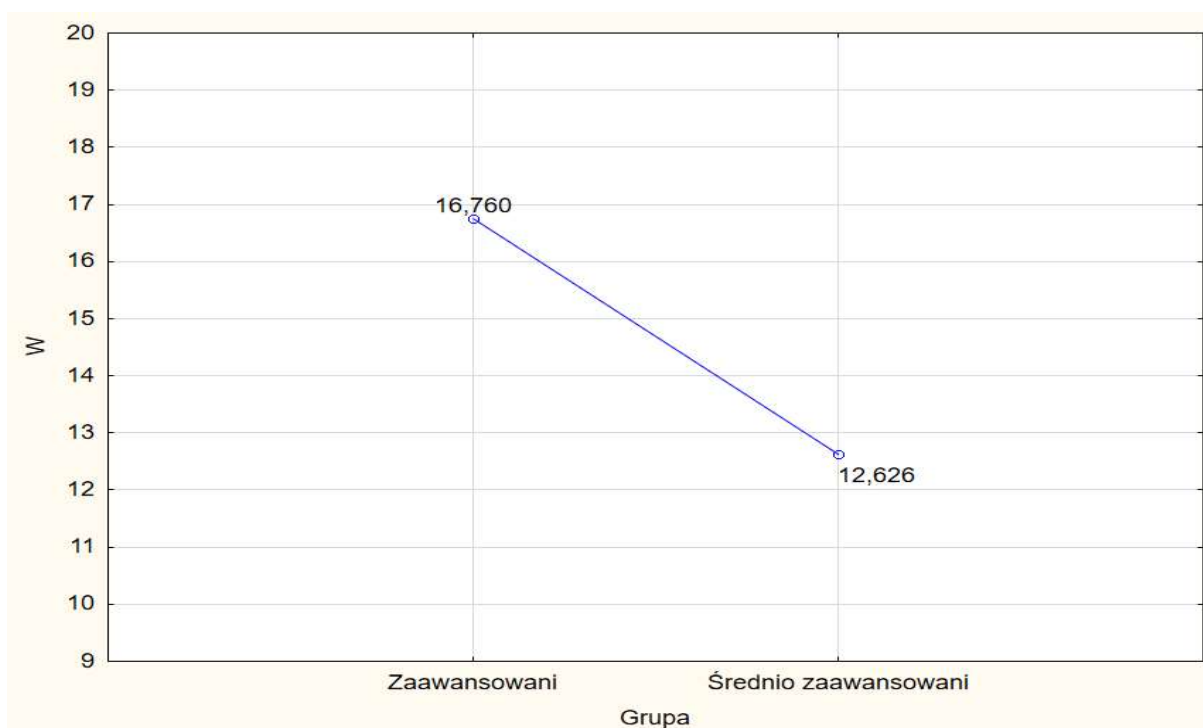


Ryc. 3. Graficzna prezentacja wyniku analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPW** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg. * - różnica istotna statystycznie względem wartości wyjściowych ($p < 0,05$).

Dla zmiennej **PPZ** test post-hoc RIR Tukeya wykazał jednoznacznie różnice w uzyskanych wartościach tej zmiennej pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników w kategorii wagowej 66-70 kg (Tabela 15, Ryc. 4)

Tabela 15. Wynik analizy post hoc w celu określenia wielkości różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPZ** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg

Grupa	Zaawansowani	Średnio zaawansowani
	Wartość zmiennej	Wartość zmiennej
	16,760	12,626
Zaawansowani		0,005
Średnio zaawansowani	0,005	

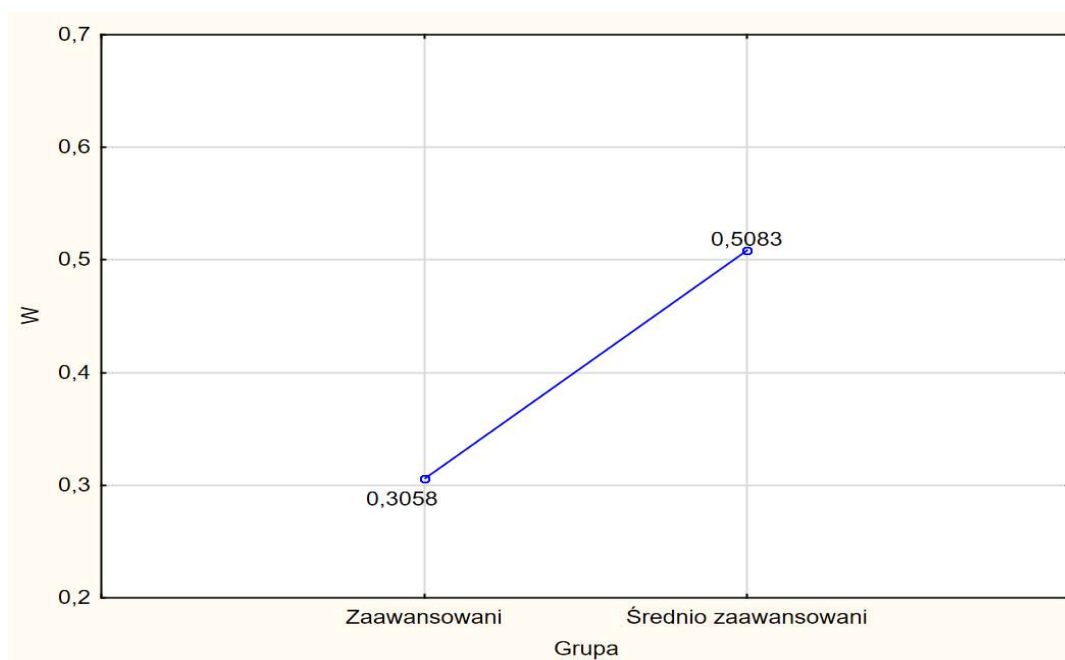


Ryc. 4. Graficzna prezentacja wyniku analizy wariacji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPZ** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg. * - różnica istotna statystycznie względem wartości wyjściowych ($p < 0,05$).

Dla zmiennej **CRW** test post-hoc RIR Tukeya wykazał jednoznacznie różnice w uzyskanych wartościach tej zmiennej, pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników w kategorii wagowej 66-70 kg (Tabela 16, Ryc. 5).

Tabela 16. Wynik analizy post hoc w celu określenia wielkości różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **CRW** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg

Grupa	Zaawansowani	Średnio zaawansowani
	Wartość zmiennej	Wartość zmiennej
	0,306	0,508
Zaawansowani		0,007
Średnio zaawansowani	0,007	

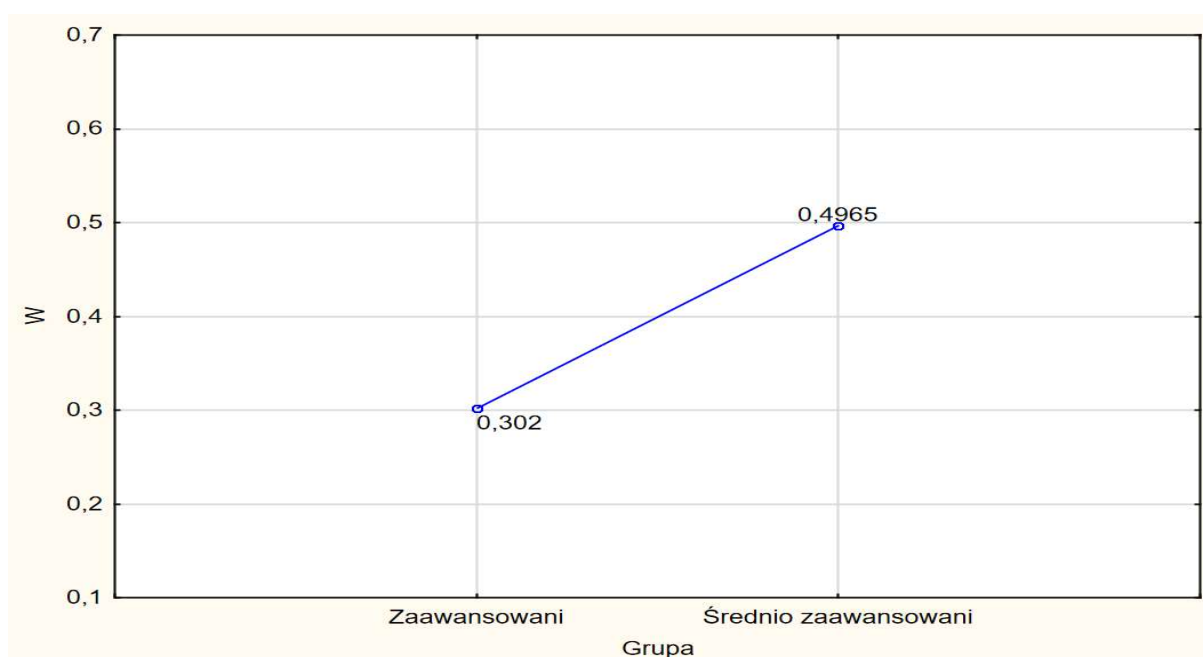


Ryc. 5. Graficzna prezentacja wyniku analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **CRW** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg. * - różnica istotna statystycznie względem wartości wyjściowych ($p < 0,05$).

Dla zmiennej **CRZ** test post-hoc RIR Tukeya wykazał jednoznacznie różnice w uzyskanych wartościach tej zmiennej pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników w kategorii wagowej 66-70 kg (Tabela 17, Ryc. 6).

Tabela 17. Wynik analizy post hoc w celu określenia wielkości różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **CRZ** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg

Grupa	Zaawansowani	Średnio zaawansowani
	Wartość zmiennej	Wartość zmiennej
	0,302	0,496
Zaawansowani		0,004
Średnio zaawansowani	0,004	



Ryc. 6. Graficzna prezentacja wyniku analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **CRZ** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 66-70 kg. * - różnica istotna statystycznie względem wartości wyjściowych ($p < 0,05$).

W kategorii wagowej 77-84 kg dla zmiennych w tabeli 18 analiza wariancji ANOVA pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników, na poziomie istotności statystycznej $p < 0,05$ wykazała, iż można było odrzucić hipotezy o braku różnic w przypadku jednej zmiennej. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach pięciu zmiennych (Tabela 18).

Tabela 18. Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji dolnej kończyny wykroczna, i zakrocza pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 77-84 kg.

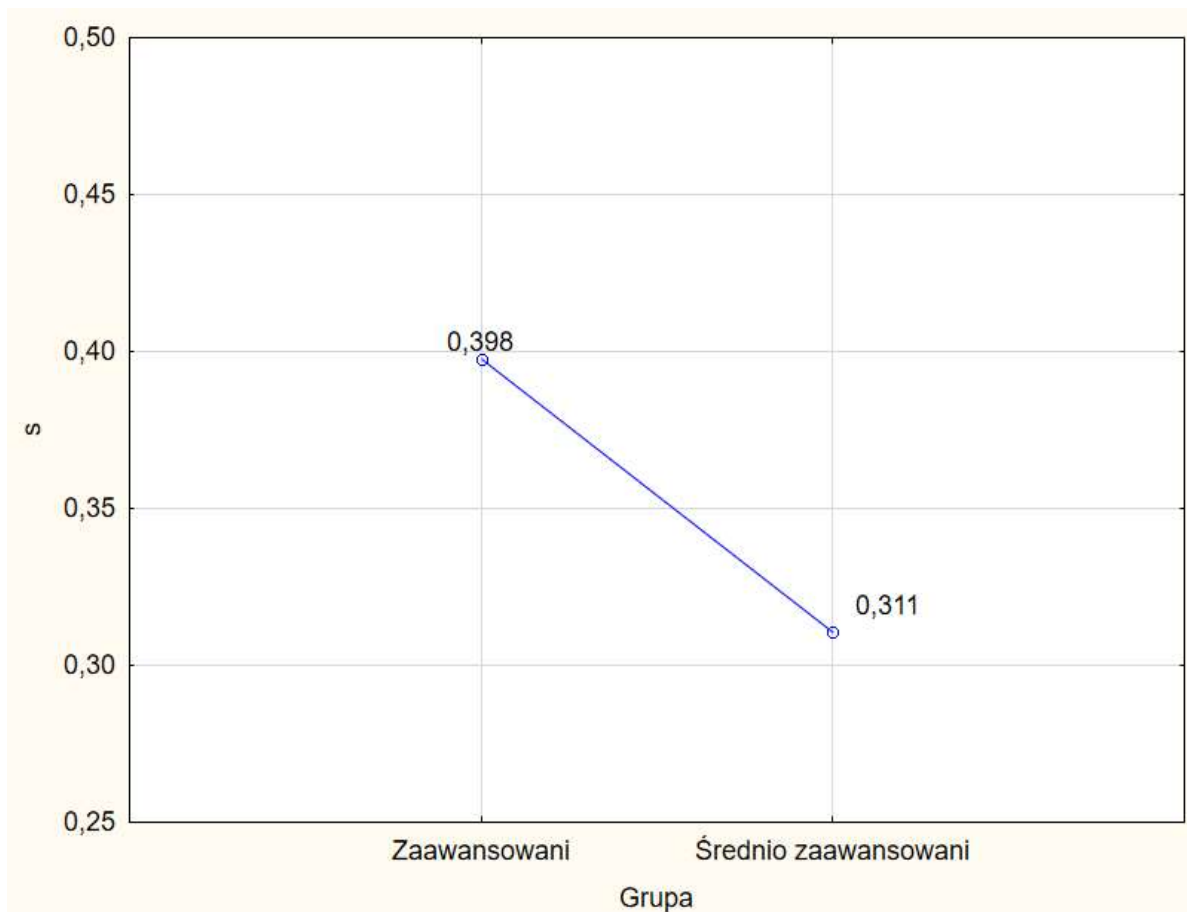
Zmienne	F	p
PPW	0,086	0,776
PPZ	1,255	0,289
PPFW	1,559	0,240
PPFZ)	1,302	0,280
CRW	6,757	0,026
CRZ	0,757	0,405

Otrzymane wartości analiz dowodzą, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy wartościami zmiennej: **CRW**, w kategorii wagowej 77-84 kg. Tabela 19 oraz rycina 5, przedstawiają wyniki testu post-hock dla zmiennej istotnie różnicującej grupy.

Dla zmiennej **CRW** test post-hoc RIR Tukeya wykazał jednoznacznie różnice w uzyskanych wartościach tej zmiennej pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników w kategorii wagowej 66-70 kg (Tabela 19, Ryc. 7)

Tabela 19. Wynik analizy post hock w celu określenia wielkości różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **CRW** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 77-84 kg

Grupa	Zaawansowani	Średnio zaawansowani
	Wartość zmiennej	Wartość zmiennej
	0,398	0,311
Zaawansowani		0,026
Średnio zaawansowani	0,026	



Ryc. 7. Graficzna prezentacja wyniku analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **CRW** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej 77-84 kg. * - różnica istotna statystycznie względem wartości wyjściowych ($p < 0,05$).

W kategorii wagowej powyżej 93 kg dla zmiennych w tabeli 20 analiza wariancji ANOVA pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników, na poziomie istotności statystycznej $p < 0,05$ wykazała, iż można było odrzucić hipotezy o braku różnic w przypadku trzech zmiennych. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice w wartościach trzech zmiennych (Tabela 20)

Tabela 20. Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach generowanej mocy szczytowej, siły w której uzyskana została moc szczytowa i czas reakcji dolnej kończyny zakroczej i wykroczej pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

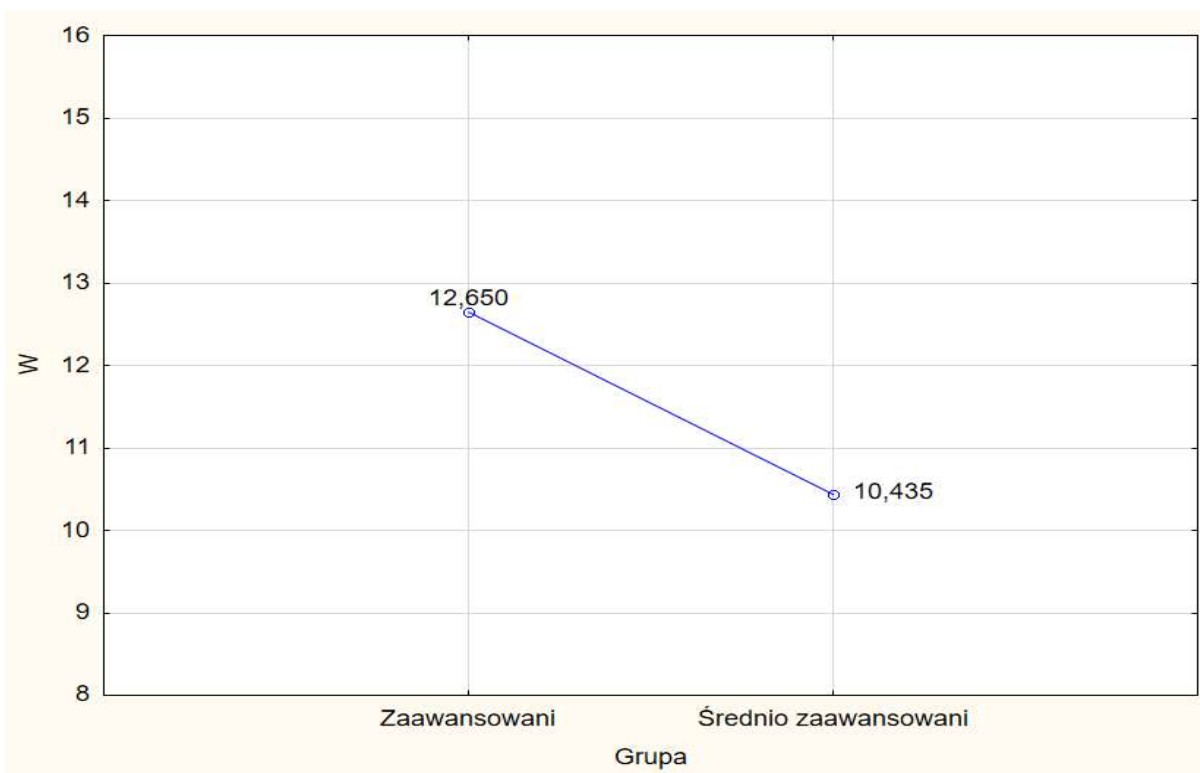
Zmienne	F	p
PPW	5,411	0,042
PPZ	5,977	0,035
PPFW	4,503	0,060
PPFZ	5,474	0,041
CRW	0,485	0,502
CRZ	0,081	0,782

Otrzymane wartości analiz dowodzą, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy wartościami zmiennej: **PPZ (Wat)**, **PPW (Wat)** oraz **PPFW (Niuton)** w kategorii wagowej powyżej 93 kg. Tabela 21 oraz rycina 8, przedstawiają wyniki testu post-hoc dla zmiennej istotnie różnicującej badane grupy.

Dla zmiennej **PPW** test post-hoc RIR Tukeya wykazał jednoznacznie różnice w uzyskanych wartościach tej zmiennej, pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników w kategorii wagowej powyżej 93 kg (Tabela 21, Ryc. 8)

Tabela 21. Wynik analizy post hoc w celu określenia wielkości różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPW** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej powyżej 93 kg

Grupa	Zaawansowani	Średnio zaawansowani
	Wartość zmiennej	Wartość zmiennej
	12,650	10,435
Zaawansowani		0,042
Średnio zaawansowani	0,042	



Ryc. 8. Graficzna prezentacja wyniku analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPW** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej powyżej 93 kg. * - różnica istotna statystycznie względem wartości wyjściowych ($p < 0,05$).

Dla zmiennej **PPZ** test post-hoc RIR Tukeya wykazał jednoznacznie różnice w uzyskanych wartościach tej zmiennej, pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników w kategorii wagowej powyżej 93 kg (Tabela 22, Ryc. 9)

Tabela 22. Wynik analizy post hoc w celu określenia wielkości różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPZ** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej powyżej 93 kg

Grupa	Zaawansowani	Średnio zaawansowani
	Wartość zmiennej	Wartość zmiennej
	12,680	10,285
Zaawansowani		0,035
Średnio zaawansowani	0,035	



Ryc. 9. Graficzna prezentacja wyniku analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPZ** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej powyżej 93 kg. * - różnica istotna statystycznie względem wartości wyjściowych ($p < 0,05$).

Dla zmiennej **PPFZ** test post-hoc RIR Tukeya wykazał jednoznacznie różnice w uzyskanych wartościach tej zmiennej, pomiędzy grupą zaawansowanych a średnio zaawansowanych zawodników w kategorii wagowej powyżej 93 kg (Tabela 23, Ryc. 10)

Tabela 23. Wynik analizy post hoc w celu określenia wielkości różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPFZ** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej powyżej 93 kg

Grupa	Zaawansowani	Średnio zaawansowani
	Wartość zmiennej	Wartość zmiennej
	26,316	22,290
Zaawansowani		0,041
Średnio zaawansowani	0,041	

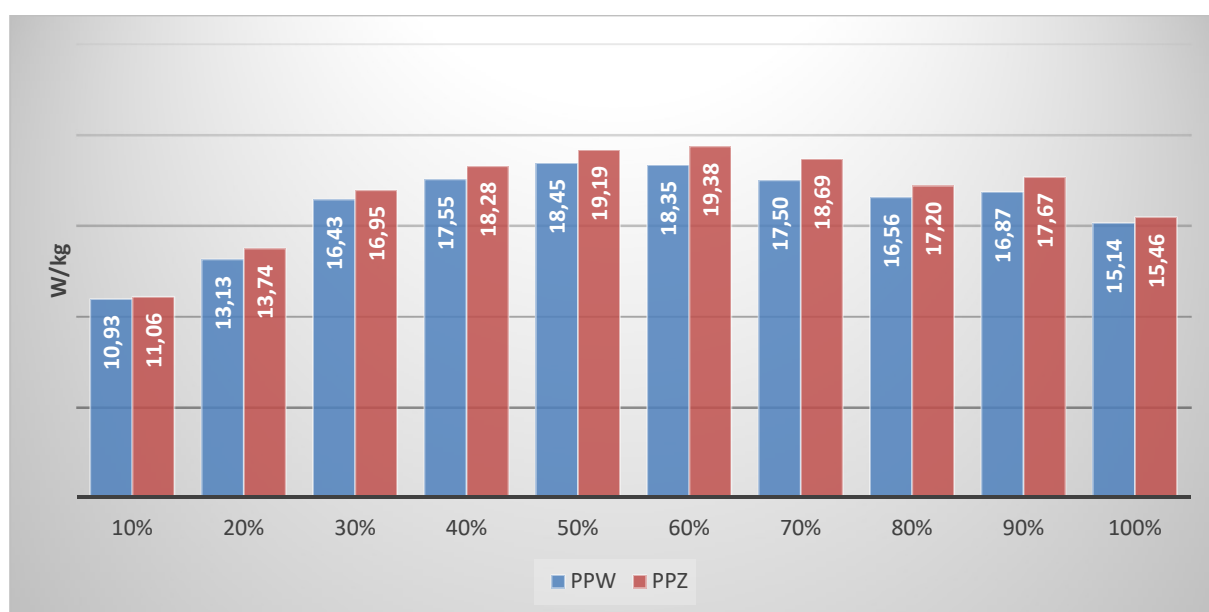


Ryc. 10. Graficzna prezentacja wyniku analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic w uzyskanych wartościach zmiennej **PPFZ** pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi a średnio zaawansowanymi w kategorii wagowej powyżej 93 kg. * - różnica istotna statystycznie względem wartości wyjściowych ($p < 0,05$).

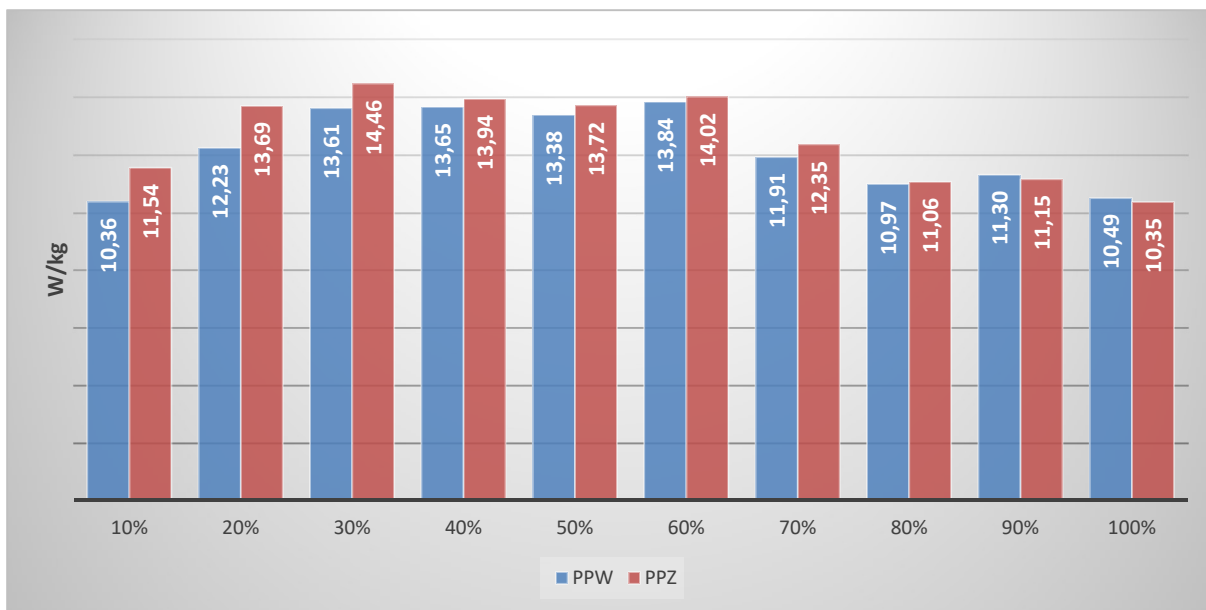
10.3 Analiza generowania mocy szczytowej oraz czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy, w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego

Ryciny od 11-16 przedstawiają osiągnięte wyniki wartości szczytowej mocy kończyn dolnych w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników średnio zaawansowanych i zaawansowanych.

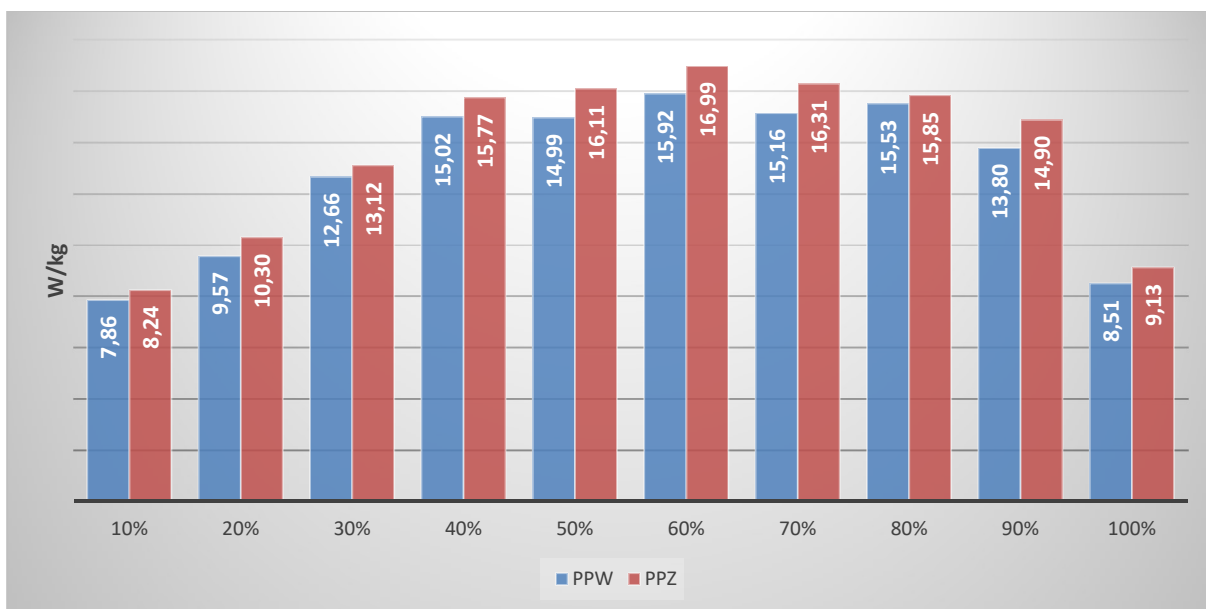
Analiza porównawcza wartości mocy szczytowej u zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-77 kg wykazała, iż największą moc szczytową zawodnicy uzyskali przy 50% obciążeniu dla kończyny dolnej wykroczonej i przy 60% obciążeniu zewnętrznym dla kończyny dolnej zakroczonej (Rycina 11). Natomiast zawodnicy średnio zaawansowani, w tej samej kategorii wagowej generowali największą moc szczytową przy 60% obciążeniu zewnętrznym dla kończyny dolnej wykroczonej oraz przy 30% dla zakroczonej (Rycina 12).



Rycina 11. Uzyskane wartości szczytowej mocy kończyn dolnych w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników zaawansowanych kategorii wagowej 66-70 kg.

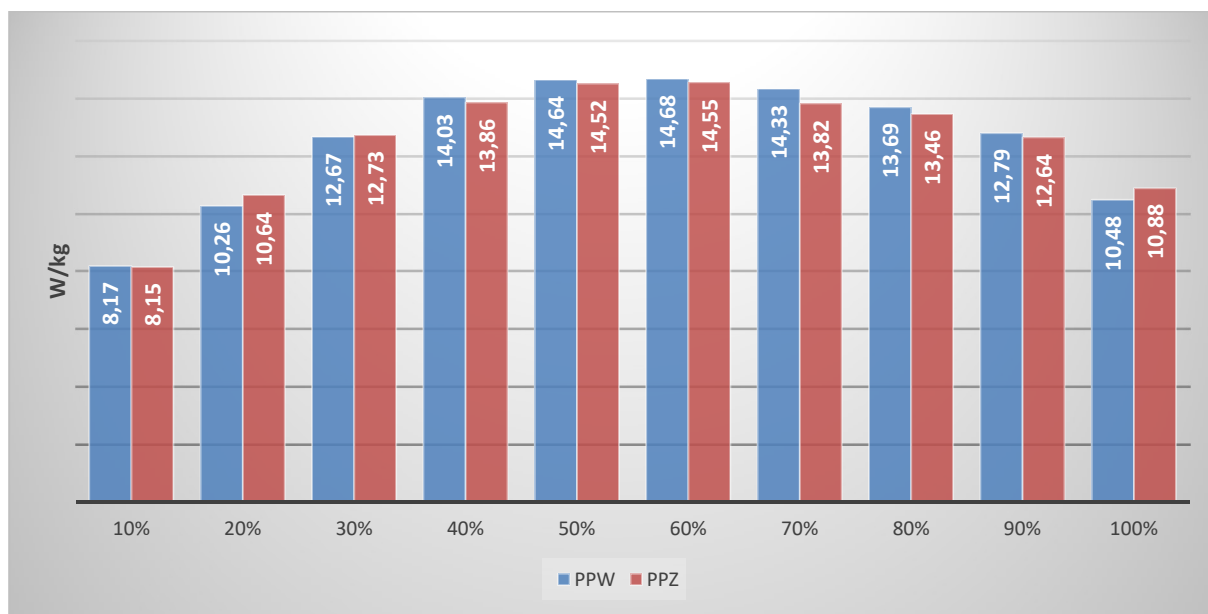


Rycina 12. Uzyskane wartości szczytowej mocy kończyn dolnych w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.



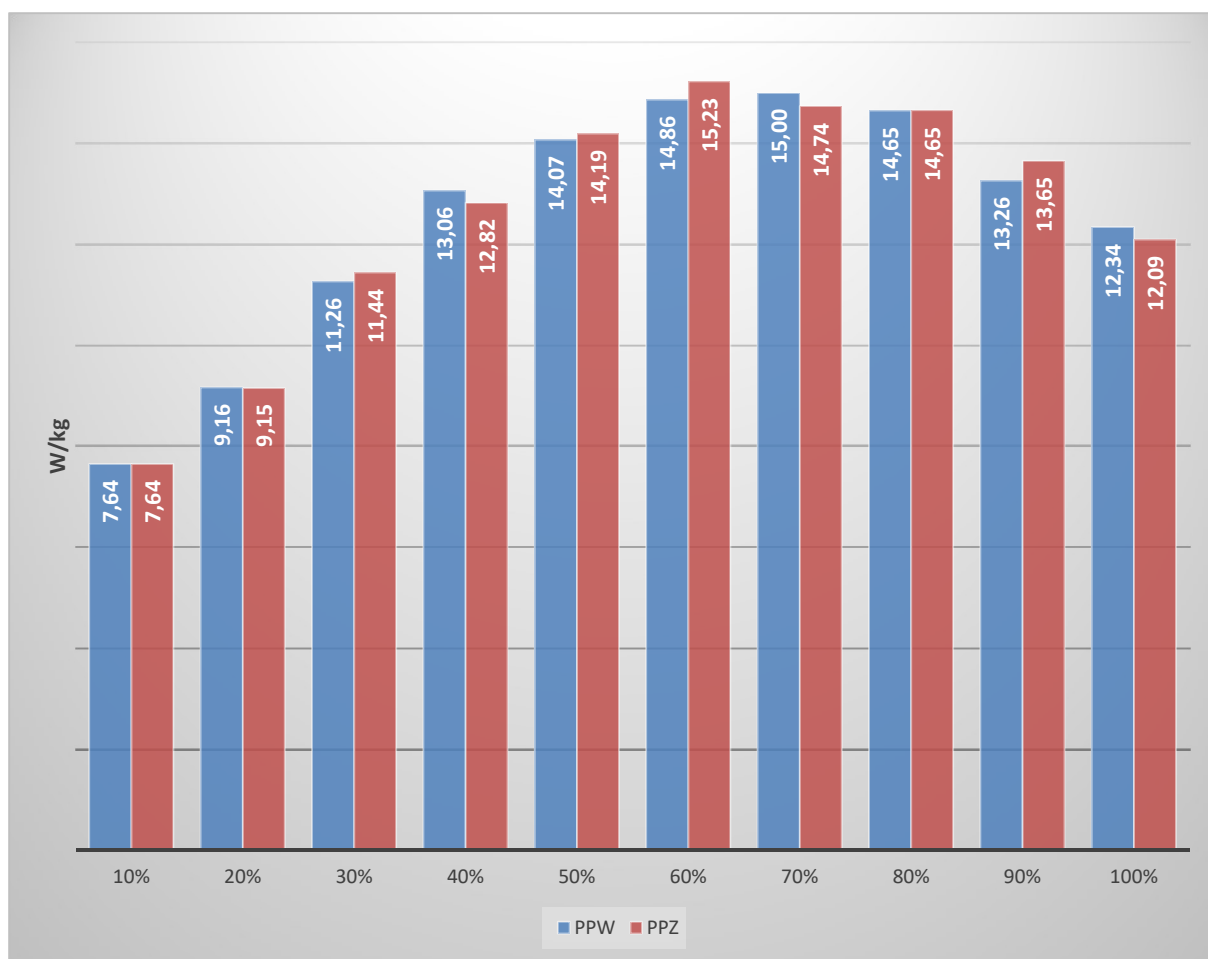
Rycina 13. Uzyskane wartości szczytowej mocy kończyn dolnych w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników zaawansowanych kategorii wagowej 77-84 kg.

Analiza porównawcza wartości mocy szczytowej u zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg wykazała, iż największą moc szczytową zawodnicy uzyskali przy 60% obciążeniu zarówno dla kończyny dolnej zakroczej jak i wykroczej (Rycina 13 i 14).

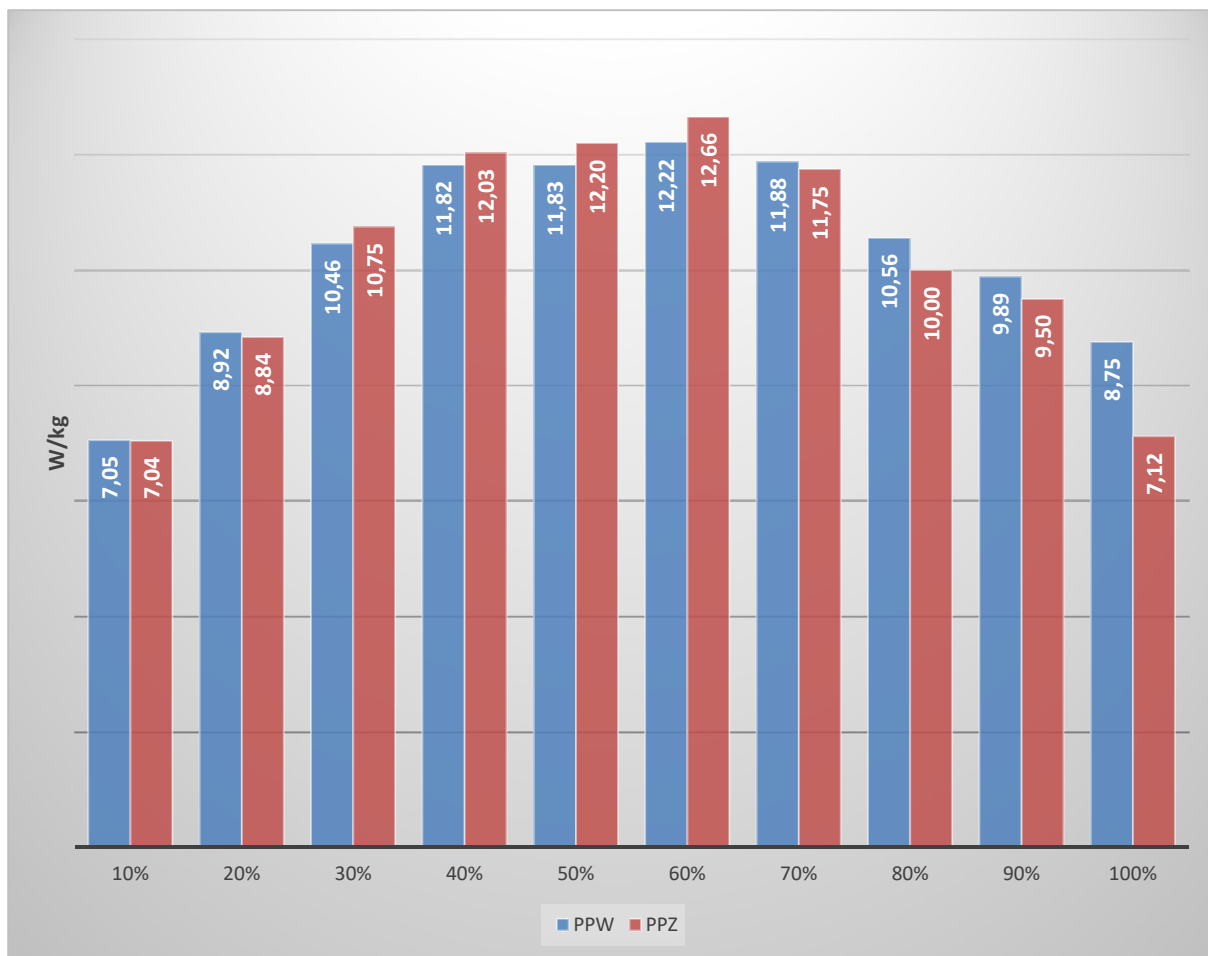


Rycina 14. Uzyskane wartości szczytowej mocy kończyn dolnych w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

W kategorii wagowej powyżej 93 kg u zawodników zaawansowanych, analiza porównawcza wartości mocy szczytowej wykazała, iż największą moc szczytową zawodnicy uzyskali przy 70% obciążeniu dla kończyny dolnej wykroczej i przy 60% obciążeniu zewnętrznym dla kończyny dolnej zakroczej (Rycina 15). Natomiast zawodnicy średnio zaawansowani, w tej samej kategorii wagowej generowali największą moc szczytową przy 60% obciążeniu zewnętrznym zarówno dla kończyny dolnej zakroczej jak i wykroczej (Rycina 16).



Rycina 15. Uzyskane wartości szczytowej mocy kończyn dolnych w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników zaawansowanych kategorii wagowej powyżej 93 kg.



Rycina 16. Uzyskane wartości szczytowej mocy kończyn dolnych w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników średnio zaawansowanych kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Jednocześnie analizy wykazały, iż zawodnicy zaawansowani uzyskiwali istotnie statystycznie wyższe wartości mocy szczytowej niż średnio zaawansowani. Wartości te zawodnicy zaawansowani uzyskali przy 50% i 60% RM (odpowiednio kończyna wykroczna i zakroczna) w kategorii 66-70 kg; 60% RM w kategorii 77-84 kg oraz 60% i 70% RM (odpowiednio kończyna wykroczna i zakroczna) w kategorii powyżej 93 kg (Tabela 24).

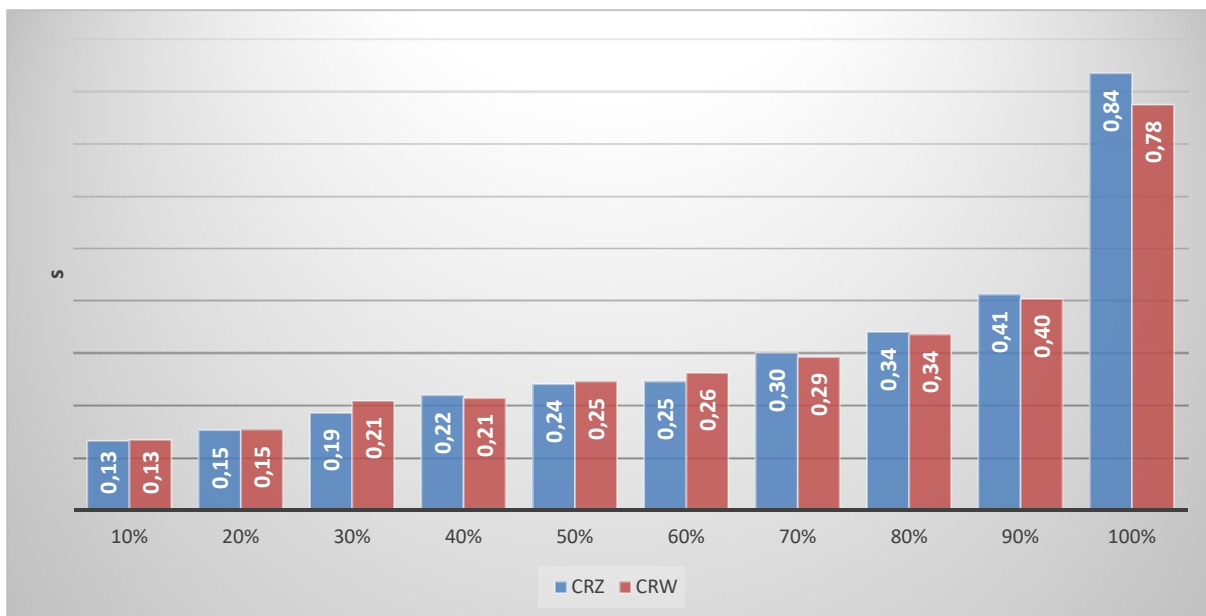
Natomiast zawodnicy średnio zaawansowani najwyższe wartości mocy szczytowej uzyskali przy 60% i 30% RM (odpowiednio kończyna wykroczna i zakroczna) w kategorii 66-70 kg oraz 60% RM w kategorii 77-84 kg i powyżej 93 kg (Tabela 24).

Tabela 24. Porównanie uzyskanych najwyższych wartości mocy szczytowej kończyn dolnych pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi i średnio zaawansowanymi w poszczególnych kategoriach wagowych

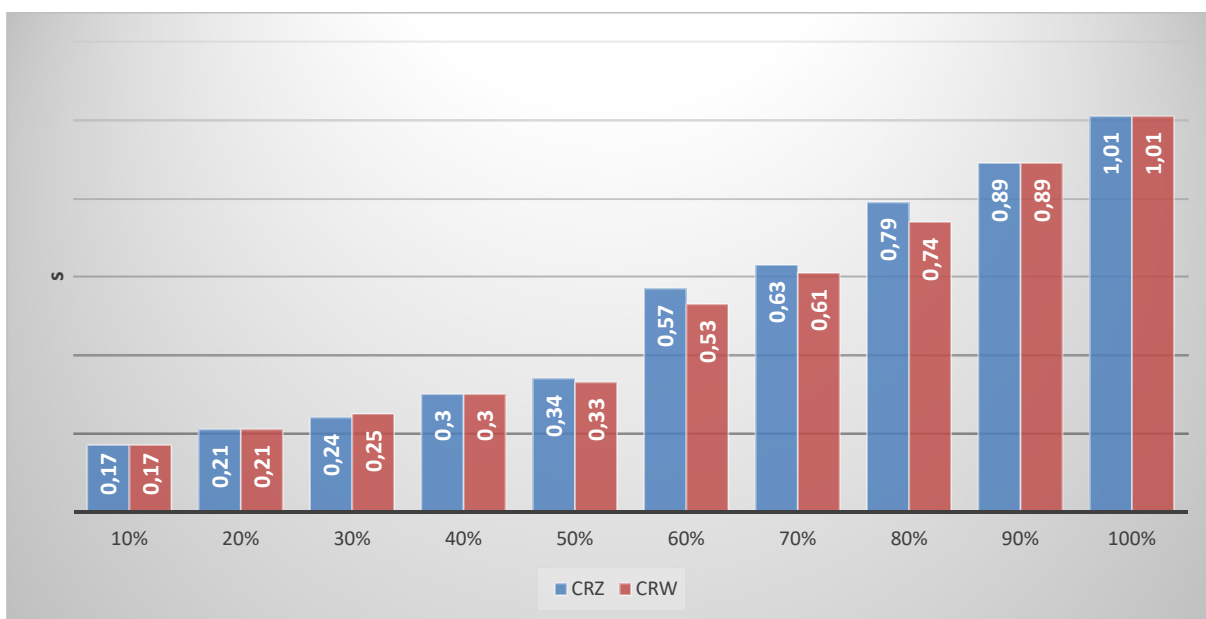
Zaawansowani 66-70 kg		Średnio zaawansowani 66-70 kg		Istotne różnice
Kończyna dolna	W/kg	W/kg		p
Wykroczna	18,45	13,84		0,02
Zakroczna	19,38	14,46		0,02
Zaawansowani 77-84 kg		Średnio zaawansowani 77-84 kg		
Kończyna dolna	W/kg	W/kg		p
Wykroczna	15,92	14,68		0,04
Zakroczna	16,99	14,55		0,04
Zaawansowani powyżej 93 kg		Średnio zaawansowani powyżej 93 kg		
Kończyna dolna	W/kg	W/kg		p
Wykroczna	15,00	12,22		0,03
Zakroczna	15,23	12,66		0,03

Ryciny od 17-22 przedstawiają osiągnięte wyniki czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy, w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników średnio zaawansowanych i zaawansowanych.

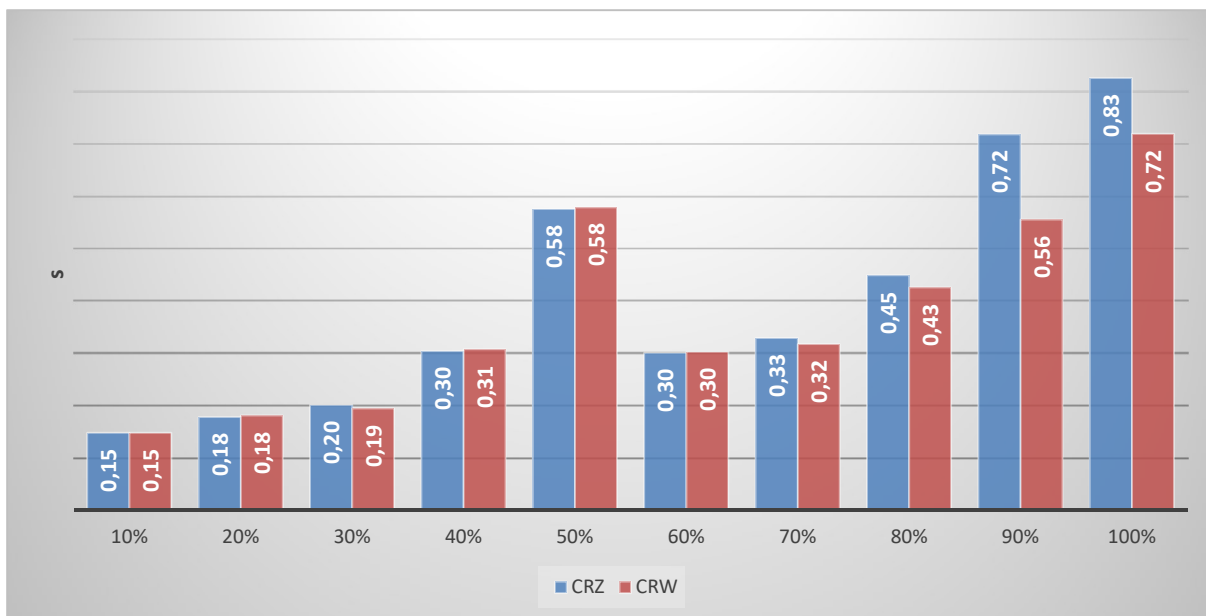
Analiza porównawcza uzyskanych wartości czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy u zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych we wszystkich kategoriach wagowych wykazała, iż najkrótszy czas reakcji zawodnicy uzyskali przy 10% obciążeniu zarówno dla kończyny dolnej zakroczonej jak i wykroczonej (Ryciny 17-22).



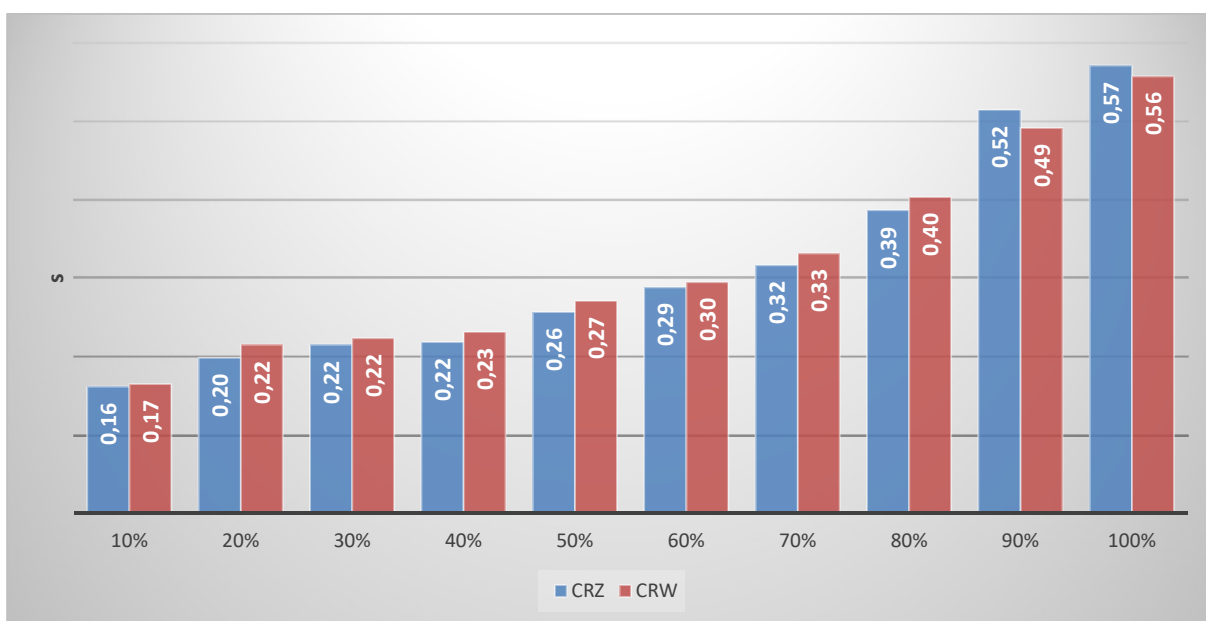
Rycina 17. Uzyskane wartości czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.



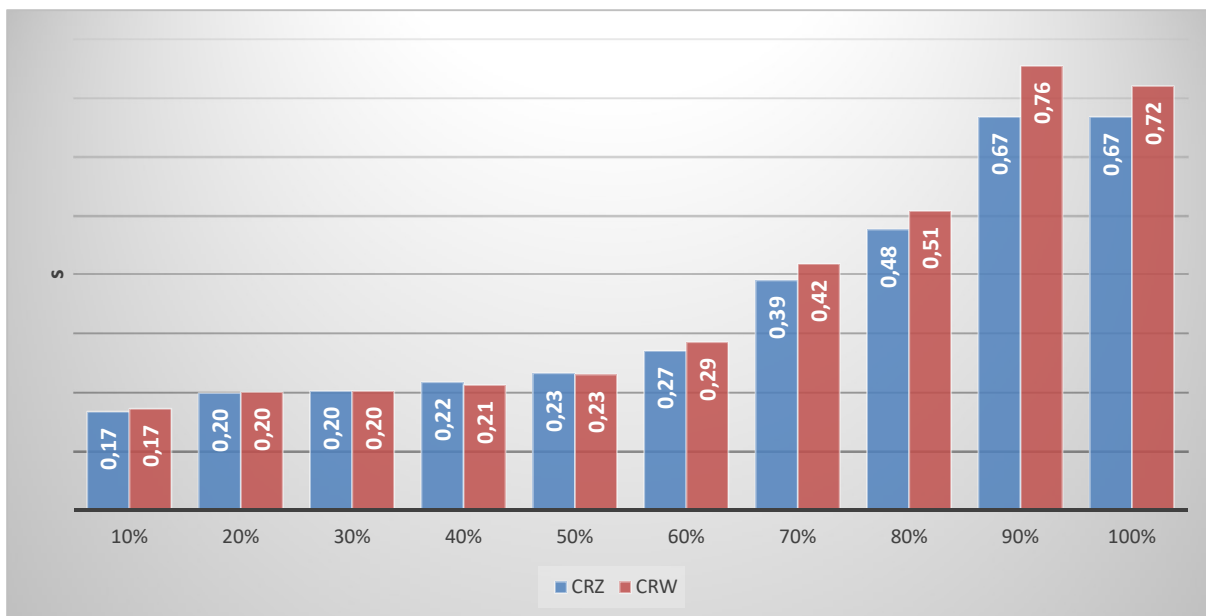
Rycina 18. Uzyskane wartości czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.



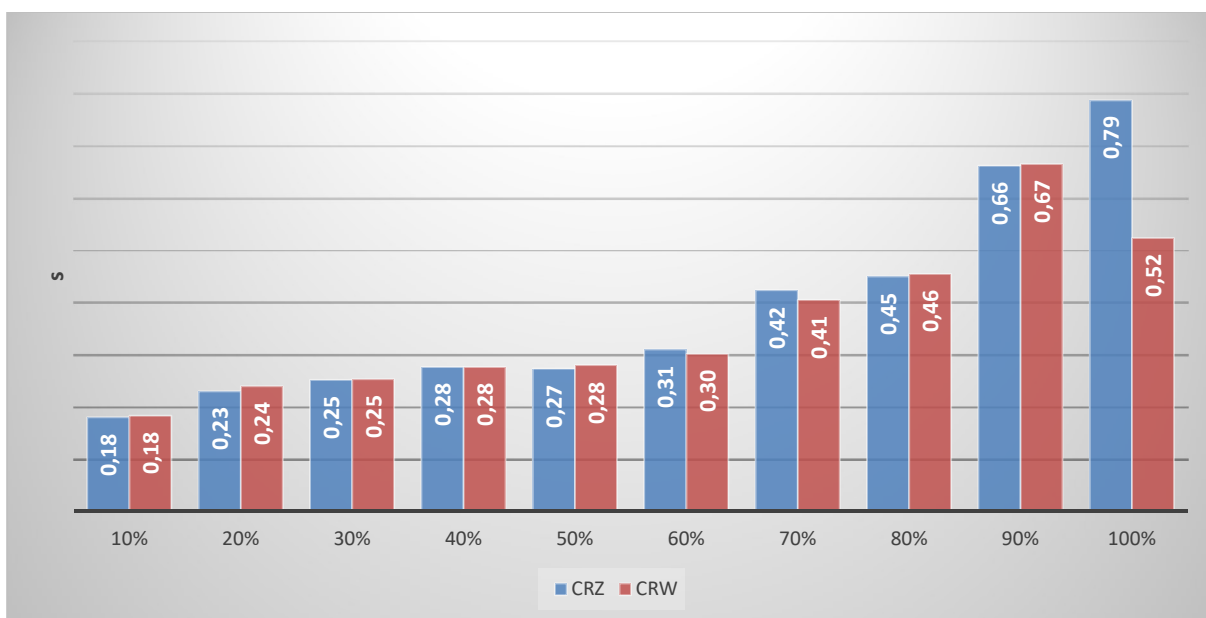
Rycina 19. Uzyskane wartości czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.



Rycina 20. Uzyskane wartości czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.



Rycina 21. Uzyskane wartości czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.



Rycina 22. Uzyskane wartości czasu reakcji kończyn dolnych na bodziec wzrokowy w zależności od przyrostu wartości procentowej obciążenia zewnętrznego u badanych zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Jednocześnie analizy te w pięciu przypadkach wykazały, iż zawodnicy zaawansowani uzyskiwali istotnie statystycznie krótsze czasy reakcji kończyn dolnych w stosunku do zawodników średnio zaawansowanych. Jedynie w przypadku kończyny dolnej wykroczonej zawodnicy zaawansowani uzyskali krótszy czas reakcji na bodziec wzrokowy przy obciążeniu 10%, jednak nie był on istotnie różny od uzyskanego przez zawodników średnio zaawansowanych (tabela 25).

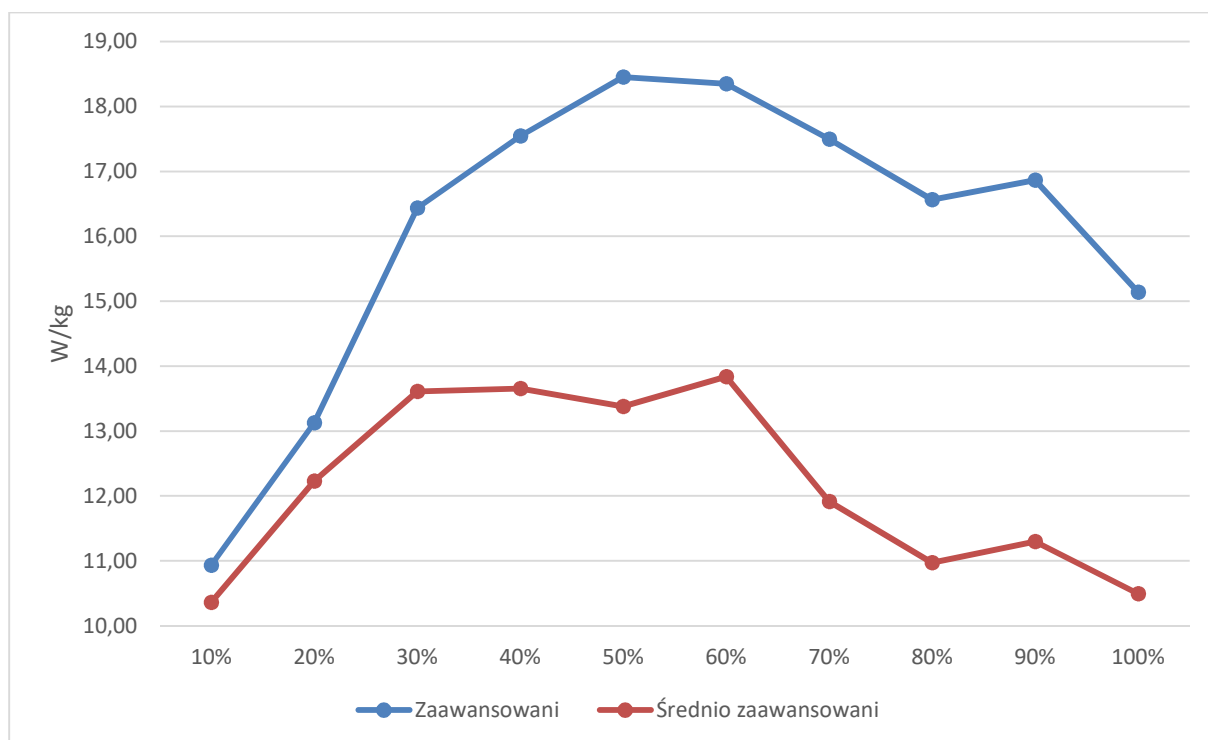
Tabela 25. Porównanie uzyskanych najlepszych czasów reakcji kończyn dolnych pomiędzy zawodnikami zaawansowanymi i średnio zaawansowanymi w poszczególnych kategoriach wagowych

Zaawansowani 66-70 kg		Średnio zaawansowani 66-70 kg	Istotne różnice
Kończyna dolna	s	s	p
Wykroczonej	0,13	0,16	0,03
Zakroczonej	0,13	0,16	0,03
Zaawansowani 77-84 kg		Średnio zaawansowani 77-84 kg	
Kończyna dolna	s	s	p
Wykroczonej	0,14	0,16	0,04
Zakroczonej	0,14	0,16	0,04
Zaawansowani powyżej 93 kg		Średnio zaawansowani powyżej 93 kg	
Kończyna dolna	s	s	p
Wykroczonej	0,16	0,18	0,04
Zakroczonej	0,17	0,18	0,08

10.4. Analiza dynamiki zmian wartości poziomu mocy szczytowej kończyn dolnych zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych, w zależności od kategorii wagowych

Kategoria wagowa 66-70 kg

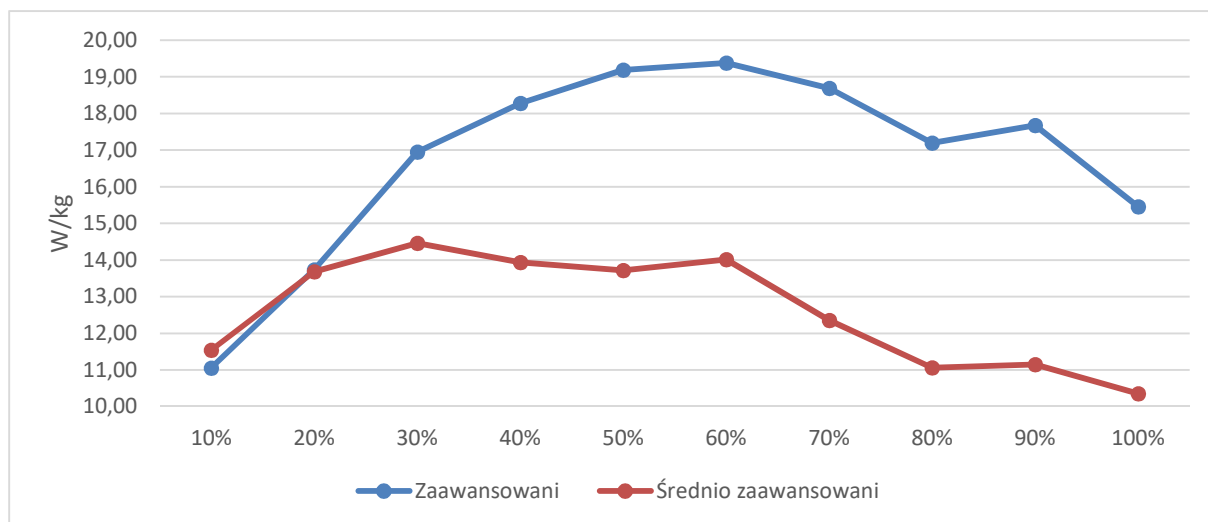
Analiza danych w obydwu badanych grupach wskazała na tendencje wzrostowe uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej **PPZ** do wartości 50% obciążenia zewnętrznego. W przypadku zawodników zaawansowanych dynamika wzrostu była większa niż w przypadku drugiej grupy. Od wartości 60% obciążenia zewnętrznego w obydwu grupach zauważono spadki wartości mocy. Wyjątek stanowił wzrost wartości mocy szczytowej przy 90% obciążenia zewnętrznego w grupie zaawansowanej (Wykres 1).



Wykres 1. Porównanie dynamiki zmian wartości poziomu mocy szczytowej dla zmiennej **PPZ** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

W odniesieniu do uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej **PPW** analiza danych wskazała na podobny wzrost, jednak w innym zakresie obciążeń zewnętrznych. W grupie zaawansowanej wzrost był ciągły o dodatnim trendzie do wartości 60% obciążenia zewnętrznego. Następnie zaobserwowano trend ujemny i ponowny wzrost, i zmianę trendu przy

90% obciążenia. W grupie średnio zaawansowanej dodatni trend utrzymał się do 50% obciążenia zewnętrznego. Następnie odnotowano jedynie stały trend spadkowy, niemal prostoliniowy (Wykres 2).



Wykres 2. Porównanie dynamiki zmian wartości poziomu mocy szczytowej dla zmiennej **PPW** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie wartości zmiennej **PPZ** zawodników zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 50% i 60% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej dla zawodników zaawansowanych największy przyrost wartości zmiennej **PPZ** odnotowano dla 20% i 90% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 26).

Podobnie dla zmiennej **PPW** w grupie zawodników zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie jej wartości odnotowano przy 50% i 60% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych, największy przyrost wartości zmiennej **PPW** miał również miejsce dla 20% i 90% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 27).

Tabela 26. Dynamika zmian **PPZ** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	10,93	100,0	100,0
20%	13,13	120,1	120,1
30%	16,43	150,3	125,2
40%	17,55	160,5	106,8
50%	18,45	168,8	105,2
60%	18,35	167,8	99,4
70%	17,50	160,0	95,4
80%	16,56	151,5	94,7
90%	16,87	154,3	101,8
100%	15,14	138,5	89,8

Tabela 27. Dynamika zmian **PPW** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	11,06	100,0	100,0
20%	13,74	124,3	124,3
30%	16,95	153,3	123,4
40%	18,28	165,3	107,8
50%	19,19	173,6	105,0
60%	19,38	175,3	101,0
70%	18,69	169,1	96,5
80%	17,20	155,6	92,0
90%	17,67	159,8	102,8
100%	15,46	139,8	87,5

Największe wzrosty indeksów (o podstawie stałej) w zakresie wartości zmiennej **PPZ** zawodników średnio zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 30%, 40% i 50% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej największy przyrost wartości zmiennej **PPZ** odnotowano dla 20% i 80% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 28).

Dla zmiennej **PPW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej odnotowano przy 30% i 50% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych, największe przyrosty wartości zmiennej **PPW** miały miejsce dla 20% i 100% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 29).

Tabela 28. Dynamika zmian **PPZ** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	10,36	100,0	100,0
20%	12,23	118,1	118,1
30%	13,61	131,4	111,3
40%	13,65	131,8	100,3
50%	13,38	129,1	98,0
60%	13,84	133,6	103,4
70%	11,91	115,0	86,1
80%	10,97	105,9	92,1
90%	11,30	109,0	103,0
100%	10,49	101,3	92,8

Tabela 29. Dynamika zmian **PPW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	11,54	100,0	100,0
20%	13,69	118,6	118,6
30%	14,46	125,3	105,7
40%	13,94	120,8	96,4
50%	13,72	118,9	98,4
60%	14,02	121,5	102,2
70%	12,35	107,0	88,1
80%	11,06	95,8	89,5
90%	11,15	96,6	100,8
100%	10,35	89,7	92,9

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało istotne statystyczne różnice osiągniętych wartości zmiennej **PPZ** pomiędzy grupami zaawansowaną a średnio zaawansowaną od 30% zadanego obciążenia zewnętrznego (Tabela 30).

Tabela 30. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani dla zmiennej **PPZ** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	10,93	10,36	0,121
20%	13,13	12,23	0,076
30%	16,43	13,61	0,002
40%	17,55	13,65	0,002
50%	18,45	13,38	0,001
60%	18,35	13,84	0,001
70%	17,50	11,91	0,002
80%	16,56	10,97	0,003
90%	16,87	11,30	0,001
100%	15,14	10,49	0,001

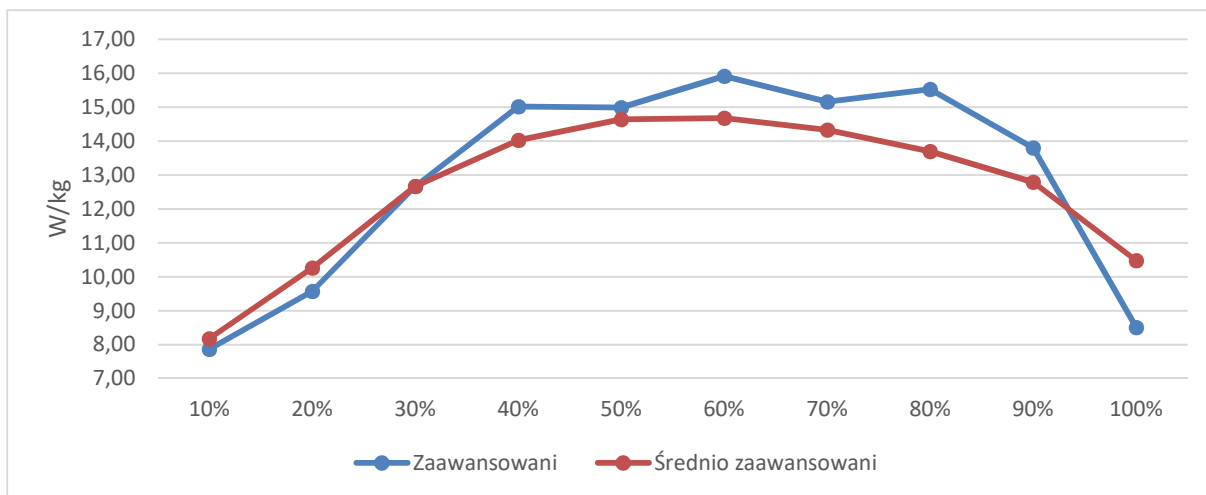
Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało istotne statystyczne różnice osiągniętych wartości zmiennej **PPW** pomiędzy grupami zaawansowaną a średnio zaawansowaną od 30% zadanego obciążenia zewnętrznego (Tabela 31).

Tabela 31. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani dla zmiennej **PPW** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	11,06	11,54	0,111
20%	13,74	13,69	0,061
30%	16,95	14,46	0,002
40%	18,28	13,94	0,001
50%	19,19	13,72	0,001
60%	19,38	14,02	0,001
70%	18,69	12,35	0,001
80%	17,20	11,06	0,001
90%	17,67	11,15	0,001
100%	15,46	10,35	0,001

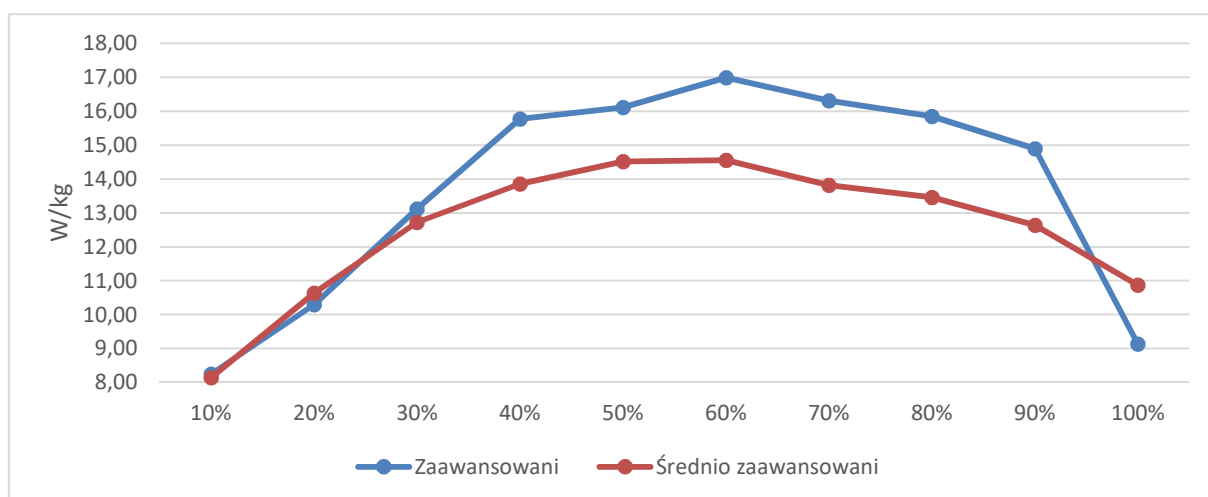
Kategoria wagowa 77-84 kg

Analiza danych wskazała na tendencje wzrostowe uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej **PPZ** do wartości 60% obciążenia zewnętrznego w obydwu badanych grupach. W przypadku zawodników zaawansowanych dynamika wzrostu była nieistotnie statystycznie większa niż w przypadku drugiej grupy. Od wartości 60% obciążenia zewnętrznego w obydwu grupach zauważono spadki wartości mocy. W grupie zaawansowanej po 90% obciążeniu spadek był bardzo gwałtowny (Wykres 3).



Wykres 3. Porównanie dynamiki zmian wartości poziomu mocy szczytowej dla zmiennej PPZ zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

W odniesieniu do uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej PPW analiza danych wskazała na podobny wzrost, jednak w innym zakresie obciążeń zewnętrznych. W grupie zaawansowanej wzrost był ciągły o dodatnim trendzie do wartości 60% obciążenia zewnętrznego. Następnie zaobserwowano trend ujemny i gwałtowny po przekroczeniu 90% obciążenia zewnętrznego. W grupie średnio zaawansowanej dodatni trend utrzymał się do 60% obciążenia zewnętrznego. Potem odnotowano jedynie stały trend spadkowy, niemal prostoliniowy (Wykres 4).



Wykres 4. Porównanie dynamiki zmian wartości poziomu mocy szczytowej dla zmiennej PPW zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie wartości zmiennej **PPZ** zawodników zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 60% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej dla zawodników zaawansowanych największy przyrost wartości zmiennej **PPZ** odnotowano dla 20% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 31).

Tabela 31. Dynamika zmian **PPZ** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	7,86	100,0	100,0
20%	9,57	121,7	121,7
30%	12,66	161,1	132,3
40%	15,02	191,0	118,6
50%	14,99	190,6	99,8
60%	15,92	202,5	106,2
70%	15,16	192,8	95,2
80%	15,53	197,5	102,4
90%	13,80	175,5	88,9
100%	8,51	108,2	61,7

Podobnie dla zmiennej **PPW** w grupie zawodników zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie jej wartości odnotowano przy 60% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych, największy przyrost wartości zmiennej **PPW** miał również miejsce dla 20% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 32).

Tabela 32. Dynamika zmian **PPW** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	8,24	100,0	100,0
20%	10,30	124,9	124,9
30%	13,12	159,2	127,4
40%	15,77	191,2	120,2
50%	16,11	195,4	102,2
60%	16,99	206,1	105,5
70%	16,31	197,8	96,0
80%	15,85	192,2	97,2
90%	14,90	180,7	94,0
100%	9,13	110,8	61,3

Największe wzrosty indeksów (o podstawie stałej) w zakresie wartości zmiennej **PPZ** zawodników średnio zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 50% i 60% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej największy przyrost wartości zmiennej **PPZ** odnotowano dla 20% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 33).

Dla zmiennej **PPW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej odnotowano przy 50% i 60% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych, największe przyrosty wartości zmiennej **PPW** miały miejsce dla 20% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 34).

Tabela 33. Dynamika zmian **PPZ** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	8,17	100,0	100,0
20%	10,26	125,6	125,6
30%	12,67	155,0	123,4
40%	14,03	171,6	110,7
50%	14,64	179,1	104,4
60%	14,68	179,6	100,3
70%	14,33	175,4	97,7
80%	13,69	167,5	95,5
90%	12,79	156,5	93,4
100%	10,48	128,2	81,9

Tabela 34. Dynamika zmian **PPW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	8,15	100,0	100,0
20%	10,64	130,6	130,6
30%	12,73	156,2	119,6
40%	13,86	170,1	108,9
50%	14,52	178,2	104,7
60%	14,55	178,6	100,2
70%	13,82	169,7	95,0
80%	13,46	165,2	97,4
90%	12,64	155,2	93,9
100%	10,88	133,5	86,0

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało istotne statystyczne różnice osiągniętych wartości zmiennej **PPZ** pomiędzy grupą zaawansowaną a średnio zaawansowaną poza uzyskaną przy 10, 20, 30 i 50% zadanego obciążenia zewnętrznego (Tabela 35).

Tabela 35. Wynik analizy różnic międzygrupowych (zaawansowani i średnio zaawansowani) dla zmiennej **PPZ** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	7,86	8,17	0,515
20%	9,57	10,26	0,429
30%	12,66	12,67	0,414
40%	15,02	14,03	0,040
50%	14,99	14,64	0,437
60%	15,92	14,68	0,014
70%	15,16	14,33	0,020
80%	15,53	13,69	0,019
90%	13,80	12,79	0,036
100%	8,51	10,48	0,005

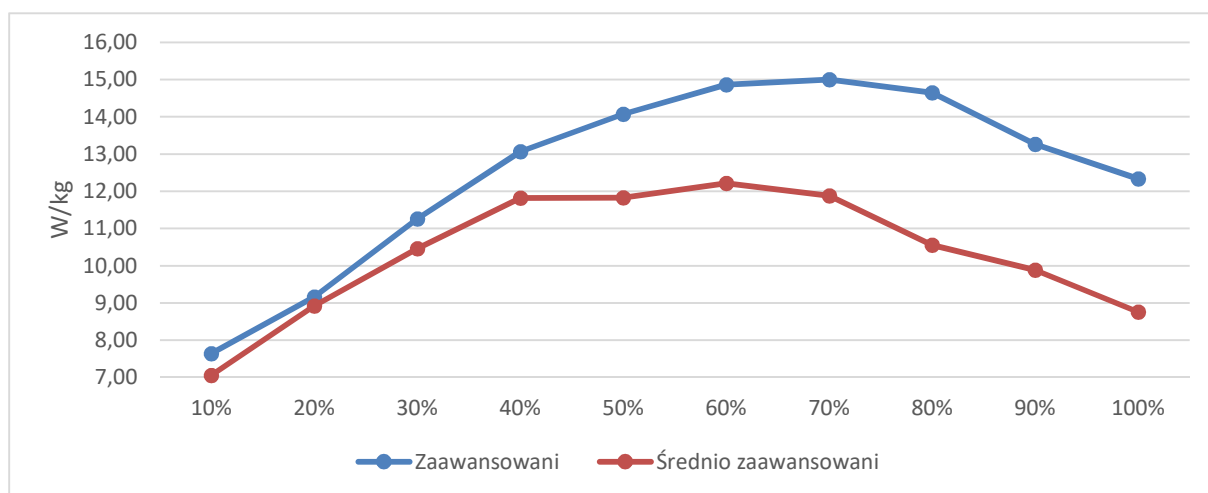
Tabela 36. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani dla zmiennej **PPW** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	8,24	8,15	0,451
20%	10,30	10,64	0,402
30%	13,12	12,73	0,397
40%	15,77	13,86	0,005
50%	16,11	14,52	0,003
60%	16,99	14,55	0,009
70%	16,31	13,82	0,006
80%	15,85	13,46	0,007
90%	14,90	12,64	0,007
100%	9,13	10,88	0,025

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało istotne statystyczne różnice osiągniętych wartości zmiennej **PPW** pomiędzy grupą zaawansowaną a średnio zaawansowaną poza uzyskaną przy 10, 20 i 30% zadanego obciążenia zewnętrznego (Tabela 36).

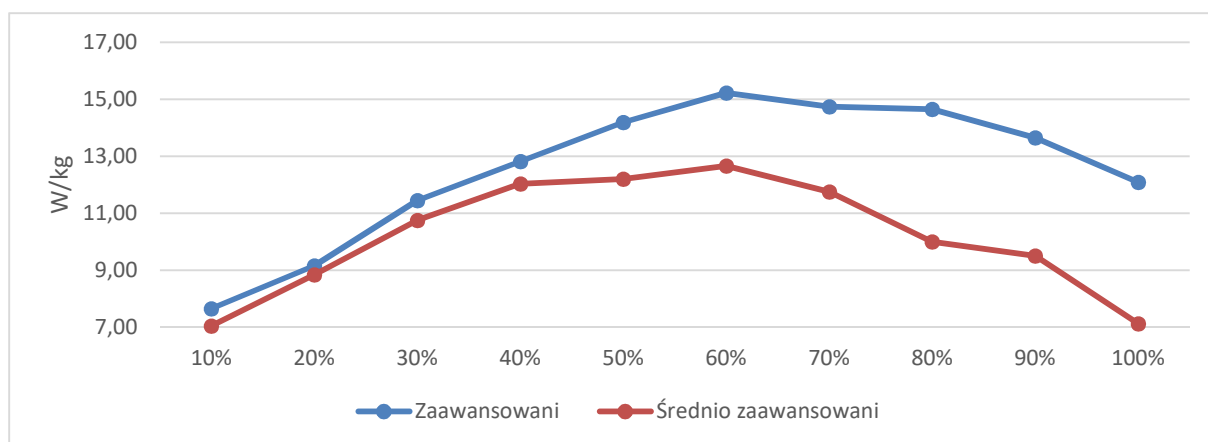
Kategoria wagowa powyżej 93 kg

Analiza danych wskazała na tendencje wzrostowe uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej **PPZ** do wartości 60% obciążenia zewnętrznego w obydwu badanych grupach. W przypadku zawodników zaawansowanych dynamika wzrostu była nieistotnie statystycznie większa niż w przypadku drugiej grupy. Od wartości 60% obciążenia zewnętrznego w obydwu grupach zauważono spadki wartości mocy. Jednak w grupie zaawansowanej gwałtowny spadek rozpoczął się od wartości 80% obciążenia zewnętrznego (Wykres 5).



Wykres 5. Porównanie dynamiki zmian wartości poziomu mocy szczytowej dla zmiennej **PPZ** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

W odniesieniu do uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej **PPW** analiza danych wskazała na podobny wzrost przy podobnym zakresie obciążeń zewnętrznych. W grupie zaawansowanej wzrost był ciągły o dodatnim trendzie do wartości 60% obciążenia zewnętrznego. Następnie zaobserwowano trend ujemny i gwałtowny po przekroczeniu 80% obciążenia zewnętrznego. W grupie średnio zaawansowanej dodatni trend utrzymał się do 60% obciążenia zewnętrznego. Następnie odnotowano jedynie stały trend spadkowy (Wykres 6).



Wykres 6. Porównanie dynamiki zmian wartości poziomu mocy szczytowej dla zmiennej **PPW** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Tabela 37. Dynamika zmian **PPZ** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	7,64	100,0	100,0
20%	9,16	119,9	119,9
30%	11,26	147,4	122,9
40%	13,06	170,9	116,0
50%	14,07	184,1	107,7
60%	14,86	194,5	105,6
70%	15,00	196,2	100,9
80%	14,65	191,7	97,7
90%	13,26	173,5	90,5
100%	12,34	161,4	93,0

Największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie wartości zmiennej **PPW** zawodników zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 60% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej dla zawodników zaawansowanych największy przyrost wartości zmiennej **PPZ** odnotowano dla 20% i 100% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 37).

Podobnie dla zmiennej **PPW** w grupie zawodników zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie jej wartości odnotowano przy 60% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych największy przyrost wartości zmiennej **PPW** miał również miejsce dla 20% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 38).

Tabela 38. Dynamika zmian **PPW** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	7,64	100,0	100,0
20%	9,15	119,7	119,7
30%	11,44	149,7	125,0
40%	12,82	167,7	112,0
50%	14,19	185,7	110,7
60%	15,23	199,2	107,3
70%	14,74	192,8	96,8
80%	14,65	191,7	99,5
90%	13,65	178,7	93,2
100%	12,09	158,2	88,5

Największe wzrosty indeksów (o podstawie stałej) w zakresie wartości zmiennej **PPZ** zawodników średnio zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 60% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej największy przyrost wartości zmiennej **PPZ** odnotowano dla 20% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 39).

Dla zmiennej **PPW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej odnotowano przy 60% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych największe przyrosty wartości zmiennej **PPW** miały miejsce dla 20% i 90% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 40).

Tabela 39. Dynamika zmian **PPZ** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	7,05	100,0	100,0
20%	8,92	126,5	126,5
30%	10,46	148,3	117,2
40%	11,82	167,6	113,1
50%	11,83	167,7	100,0
60%	12,22	173,2	103,3
70%	11,88	168,4	97,2
80%	10,56	149,7	88,9
90%	9,89	140,2	93,6
100%	8,75	124,1	88,6

Tabela 40. Dynamika zmian PPW w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	PPW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	7,04	100,0	100,0
20%	8,84	125,5	125,5
30%	10,75	152,7	121,7
40%	12,03	170,9	111,9
50%	12,20	173,3	101,4
60%	12,66	179,7	103,7
70%	11,75	166,9	92,9
80%	10,00	142,0	85,1
90%	9,50	134,9	95,0
100%	7,12	101,1	74,9

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało istotne statystyczne różnice osiągniętych wartości zmiennej **PPZ** pomiędzy grupą zaawansowaną a średnio zaawansowaną od 40% obciążenia zewnętrznego. Następnie nie odnotowano istotnych różnic w wartościach zmiennej (Tabela 41).

Tabela 41. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani w kategorii wagowej powyżej 93 kg, dla zmiennej **PPZ** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	7,64	7,05	0,166
20%	9,16	8,92	0,068
30%	11,26	10,46	0,074
40%	13,06	11,82	0,012
50%	14,07	11,83	0,003
60%	14,86	12,22	0,008
70%	15,00	11,88	0,001
80%	14,65	10,56	0,001
90%	13,26	9,89	0,001
100%	12,34	8,75	0,001

Tabela 42. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani w kategorii wagowej powyżej 93 kg, dla zmiennej **PPW** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

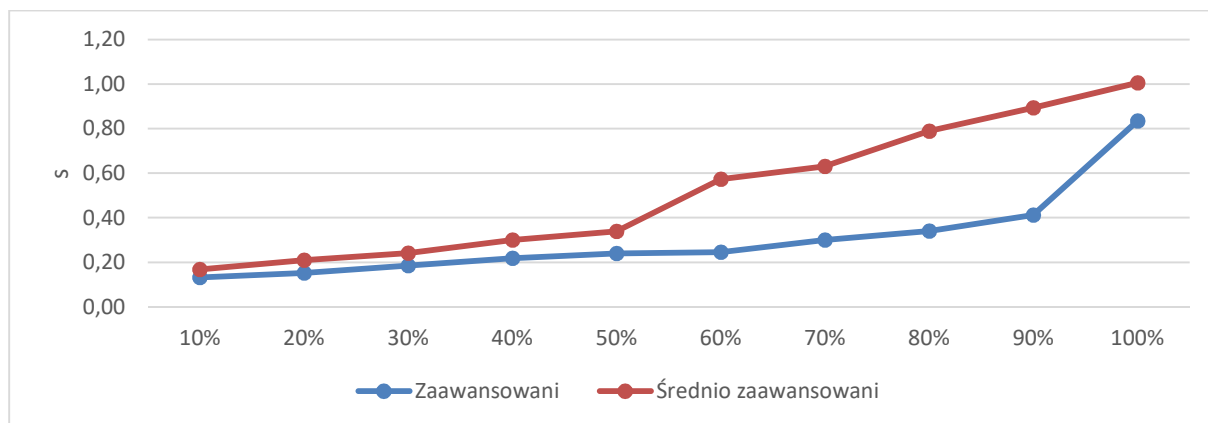
Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	7,64	7,04	0,124
20%	9,15	8,84	0,113
30%	11,44	10,75	0,134
40%	12,82	12,03	0,094
50%	14,19	12,20	0,003
60%	15,23	12,66	0,002
70%	14,74	11,75	0,001
80%	14,65	10,00	0,001
90%	13,65	9,50	0,001
100%	12,09	7,12	0,001

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało istotne statystyczne różnice osiągniętych wartości zmiennej **PPW** pomiędzy grupą zaawansowaną a średnio zaawansowaną od 50% obciążenia zewnętrznego. Następnie nie odnotowano istotnych różnic w wartościach zmiennej (Tabela 42).

10.5. Analiza dynamiki zmian wartości czasu reakcji kończyn dolnych w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego

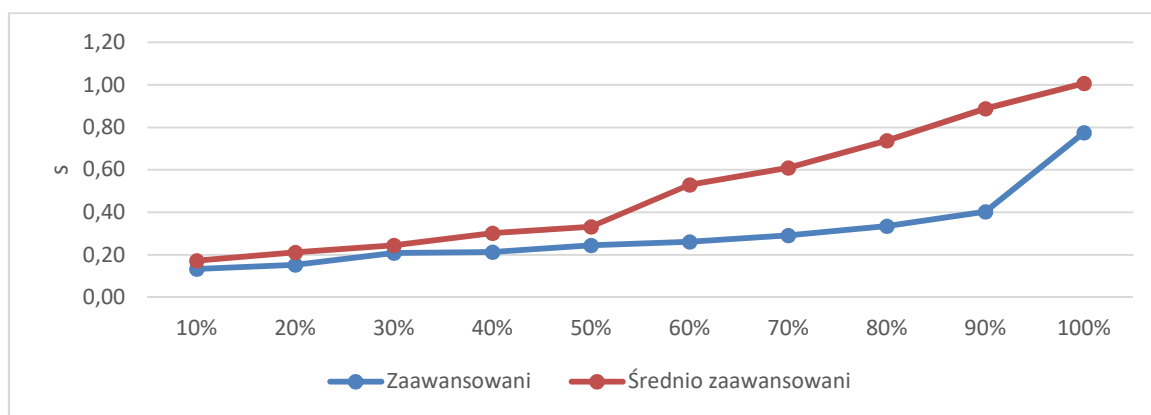
Kategoria wagowa 66-70 kg

Analiza danych wskazała na tendencje wzrostowe (pogorszenie) uśrednionych wartości zmiennej CRZ w aspekcie obciążenia zewnętrznego, w obydwu badanych grupach. W przypadku zawodników zaawansowanych istotny wzrost wartości zmiennej nastąpił od 70% obciążenia zewnętrznego, gdy w drugiej grupie od 50%. Również dynamika wzrostu była mniejsza w grupie zaawansowanej (Wykres 7).



Wykres 7. Porównanie dynamiki zmian wartości dla zmiennej CRZ zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

W odniesieniu do uśrednionych wartości zmiennej CRW analiza danych wskazała na bardzo podobny wzrost i jego dynamikę dla dolnej kończyny wykroczonej w obydwu grupach (Wykres 8).



Wykres 8. Porównanie dynamiki zmian wartości dla zmiennej **CRW** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Tabela 43. Dynamika zmian **CRZ** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRZ [s]	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,13	100,0	100,0
20%	0,15	115,2	115,2
30%	0,19	140,5	122,0
40%	0,22	165,8	118,0
50%	0,24	182,3	109,9
60%	0,25	186,1	102,1
70%	0,30	227,8	122,4
80%	0,34	258,2	113,3
90%	0,41	312,7	121,1
100%	0,84	634,2	202,8

Największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie wartości zmiennej **CRZ** zawodników zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 90% i 100% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej dla zawodników zaawansowanych największy przyrost wartości zmiennej **CRZ** odnotowano dla 70% i 100% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 43).

Podobnie dla zmiennej **CRW** w grupie zawodników zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie jej wartości odnotowano przy 90% i 100% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych, największy przyrost wartości zmiennej **CRW** miał miejsce dla 30% i 100% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia (Tabela 44).

Tabela 44. Dynamika zmian **CRW** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,13	100,0	100,0
20%	0,15	115,0	115,0
30%	0,21	156,3	135,9
40%	0,21	160,0	102,4
50%	0,25	183,8	114,8
60%	0,26	196,3	106,8
70%	0,29	218,8	111,5
80%	0,34	251,3	114,9
90%	0,40	302,5	120,4
100%	0,78	581,3	192,1

Największe wzrosty indeksów (o podstawie stałej) w zakresie wartości zmiennej **CRZ** zawodników średnio zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 90% i 100% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej największy przyrost wartości zmiennej **CRZ** odnotowano dla 60% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia, a spadek dla 70% obciążenia zewnętrznego (Tabela 45).

Dla zmiennej **CRW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej odnotowano przy 90% i 100% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych największy przyrost wartości zmiennej **CRW** odnotowano dla 60% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia, a spadek dla 70% obciążenia zewnętrznego (Tabela 46).

Tabela 45. Dynamika zmian **CRZ** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,17	100,0	100,0
20%	0,21	124,8	124,8
30%	0,24	143,6	115,1
40%	0,30	178,2	124,1
50%	0,34	201,0	112,8
60%	0,57	340,6	169,5
70%	0,63	374,3	109,9
80%	0,79	468,3	125,1
90%	0,89	530,7	113,3
100%	1,01	597,6	112,6

Tabela 46. Dynamika zmian **CRW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,17	100,0	100,0
20%	0,21	122,1	122,1
30%	0,25	141,3	115,7
40%	0,30	174,0	123,1
50%	0,33	191,3	109,9
60%	0,53	305,8	159,8
70%	0,61	351,9	115,1
80%	0,74	426,0	121,0
90%	0,89	512,5	120,3
100%	1,01	581,3	113,4

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało brak istotnych statystycznie różnic osiągniętych wartości zmiennej **CRZ** pomiędzy grupą zaawansowaną a średnio zaawansowaną w odniesieniu do zadanego obciążenia zewnętrznego (Tabela 47).

Tabela 47. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani dla zmiennej **CRZ** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	0,13	0,17	0,077
20%	0,15	0,21	0,102
30%	0,19	0,24	0,084
40%	0,22	0,3	0,099
50%	0,24	0,34	0,107
60%	0,25	0,57	0,243
70%	0,30	0,63	0,217
80%	0,34	0,79	0,241
90%	0,41	0,89	0,225
100%	0,84	1,01	0,059

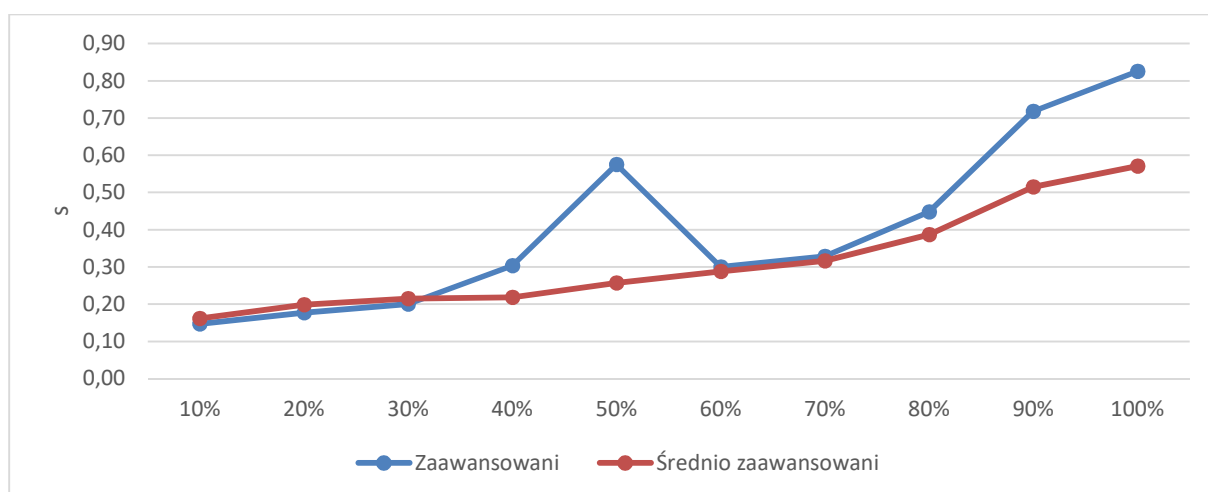
Tabela 48. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani dla zmiennej **CRW** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	0,13	0,17	0,083
20%	0,15	0,21	0,101
30%	0,21	0,25	0,051
40%	0,21	0,3	0,108
50%	0,25	0,33	0,095
60%	0,26	0,53	0,208
70%	0,29	0,61	0,216
80%	0,34	0,74	0,229
90%	0,40	0,89	0,229
100%	0,78	1,01	0,083

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało brak istotnych statystycznie różnic osiągniętych wartości zmiennej **CRW** pomiędzy grupą zaawansowaną a średnio zaawansowaną w odniesieniu do zadanego obciążenia zewnętrznego (Tabela 48).

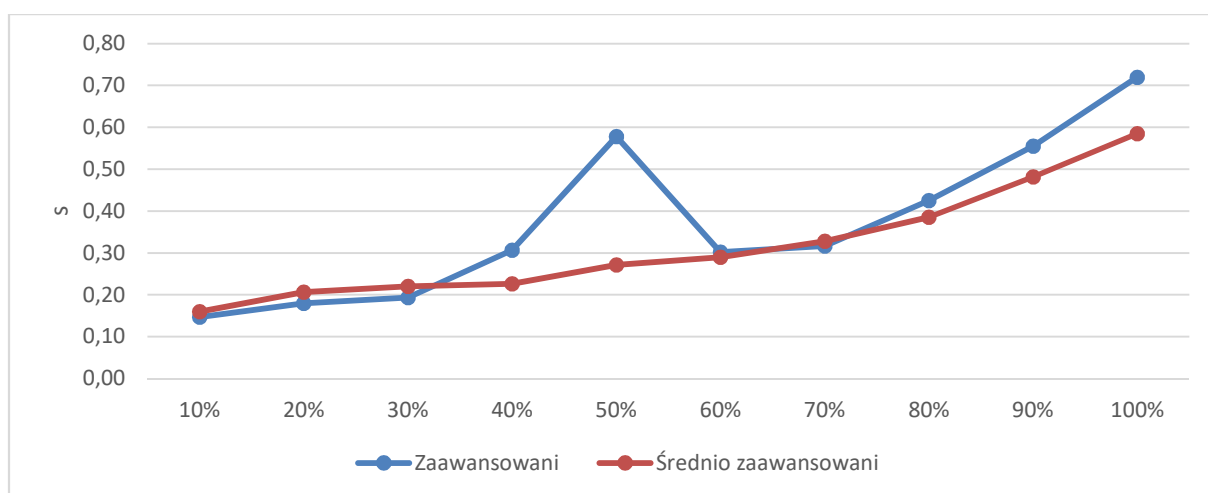
Kategoria wagowa 77-84 kg

Analiza danych wskazała na tendencje wzrostowe uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej **CRZ** od wartości 40% obciążenia zewnętrznego w obydwu badanych grupach. W przypadku zawodników zaawansowanych dynamika wzrostu była większa niż w przypadku drugiej grupy. Od wartości 40% obciążenia zewnętrznego w obydwu grupach zauważono podwyższenie wartości zmiennej. W grupie zaawansowanej po 50% obciążeniu nastąpił gwałtowny spadek a od 70% ponowny wzrost. W grupie średnio zaawansowanej wzrost wartości zmiennej był stały i zbliżony do prostoliniowego (Wykres 9).



Wykres 9. Porównanie dynamiki zmian wartości dla zmiennej **CRZ** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

W odniesieniu do uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej **CRW** analiza danych wskazała na podobny wzrost. W grupie średnio zaawansowanej wzrost był ciągły o dodatnim trendzie. W grupie zaawansowanej dodatni trend utrzymał się do 50% obciążenia zewnętrznego. Następnie odnotowano dynamiczny trend spadkowy, niemal prostoliniowy, który utrzymał się do 70% i ponowny dodatni prostoliniowy trend do wartości 100% obciążenia zewnętrznego (Wykres 10).



Wykres 10 Porównanie dynamiki zmian wartości dla zmiennej **CRW** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 66-70 kg.

Tabela 49. Dynamika zmian **CRZ** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,15	100,0	100,0
20%	0,18	120,5	120,5
30%	0,20	136,4	113,2
40%	0,30	206,8	151,7
50%	0,58	392,0	189,6
60%	0,30	204,5	52,2
70%	0,33	223,9	109,4
80%	0,45	305,7	136,5
90%	0,72	489,8	160,2
100%	0,83	563,1	115,0

Największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie wartości zmiennej **CRZ** zawodników zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 90% i 100% obciążenia. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej dla zawodników zaawansowanych największy przyrost wartości zmiennej **CRZ** odnotowano dla 70% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia. Największy spadek dla 60% (Tabela 49).

Podobnie dla zmiennej **CRW** w grupie zawodników zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie jej wartości odnotowano przy 50% i 100% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych największy przyrost wartości zmiennej **CRW** miał miejsce dla 70% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia. Największy spadek wartości zmiennej dla 60% (Tabela 50).

Tabela 50. Dynamika zmian **CRW** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,15	100,0	100,0
20%	0,18	122,7	122,7
30%	0,19	131,8	107,4
40%	0,31	209,1	158,6
50%	0,58	394,3	188,6
60%	0,30	205,7	52,2
70%	0,32	215,9	105,0
80%	0,43	289,8	134,2
90%	0,56	378,4	130,6
100%	0,72	490,3	129,6

Największe wzrosty indeksów (o podstawie stałej) w zakresie wartości zmiennej **CRZ** zawodników średnio zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 90% i 100% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej największy przyrost wartości zmiennej **CRZ** odnotowano dla 20% i 50% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia. Największy spadek wartości zmiennej dla 100% (Tabela 51).

Dla zmiennej **CRW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej odnotowano przy 90% i 100% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych największe przyrosty wartości zmiennej **CRW** miały miejsce dla 20% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia. Największy spadek wartości zmiennej dla 30% obciążenia zewnętrznego (Tabela 52).

Tabela 51. Dynamika zmian **CRZ** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,16	100,0	100,0
20%	0,20	122,7	122,7
30%	0,22	133,0	108,4
40%	0,22	135,1	101,6
50%	0,26	158,8	117,6
60%	0,29	178,4	112,3
70%	0,32	195,9	109,8
80%	0,39	239,2	122,1
90%	0,52	318,6	133,2
100%	0,57	353,4	110,9

Tabela 52. Dynamika zmian **CRW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej 77-84 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,17	100,0	100,0
20%	0,22	129,2	129,2
30%	0,22	137,5	106,5
40%	0,23	141,7	103,0
50%	0,27	169,8	119,9
60%	0,30	181,3	106,7
70%	0,33	205,2	113,2
80%	0,40	240,6	117,3
90%	0,49	301,0	125,1
100%	0,56	365,6	121,5

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta nie wykazało istotnych statystycznie różnic dla zmiennej **CRZ** pomiędzy grupą

zaawansowaną a średnio zaawansowaną przy zadanych obciążeniach zewnętrznych (Tabela 53).

Tabela 53. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani dla zmiennej **CRZ** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	0,15	0,16	0,731
20%	0,18	0,20	0,965
30%	0,20	0,22	0,823
40%	0,30	0,22	0,860
50%	0,58	0,26	0,483
60%	0,30	0,29	0,913
70%	0,33	0,32	0,841
80%	0,45	0,39	0,047
90%	0,72	0,52	0,660
100%	0,83	0,57	0,497

Tabela 54. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani dla zmiennej **CRW** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

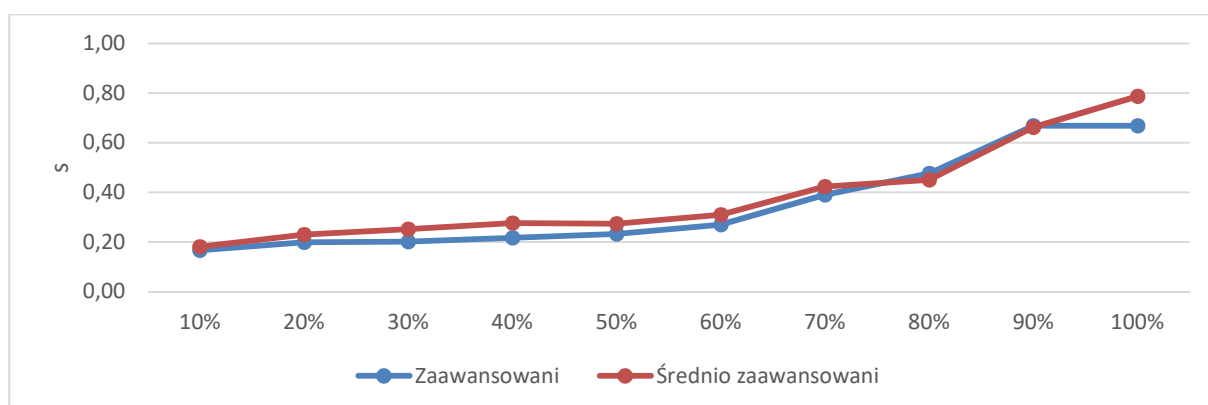
Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	0,15	0,17	0,828
20%	0,18	0,22	0,604
30%	0,19	0,22	0,841
40%	0,31	0,23	0,644
50%	0,58	0,27	0,434
60%	0,30	0,30	0,967
70%	0,32	0,33	0,812
80%	0,43	0,40	0,731
90%	0,56	0,49	0,645
100%	0,72	0,56	0,444

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta nie wykazało istotnych statystycznie różnic dla zmiennej **CRW** pomiędzy grupą zaawansowaną a średnio zaawansowaną przy zadanych obciążeniach zewnętrznych (Tabela 54).

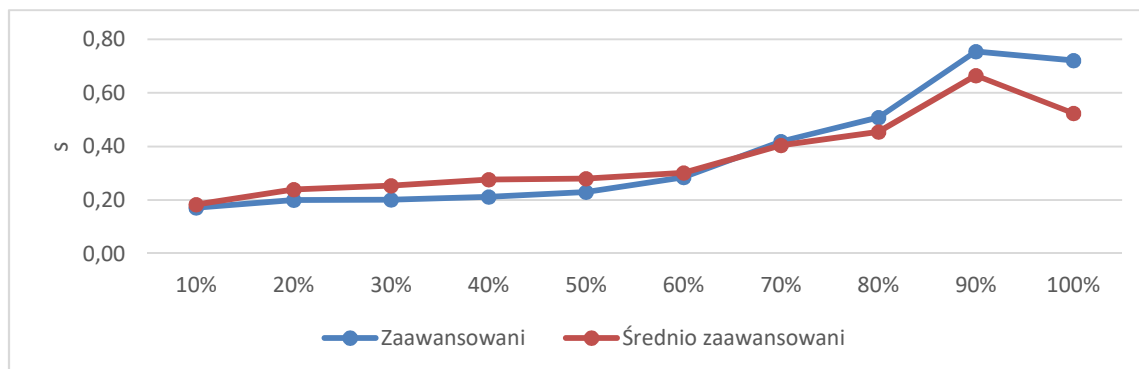
Kategoria wagowa powyżej 93 kg

Analiza danych wskazała na wyraźne tendencje wzrostowe uśrednionych wartości zmiennej **CRZ** od wartości 80% obciążenia zewnętrznego w obydwu badanych grupach. W przypadku zawodników zaawansowanych dynamika wzrostu była większa od wartości 60% obciążenia i wzrosła od wzmiankowanych 80%. Pośród zawodników średnio zaawansowanych wzrost dynamiki i dodatni trend zauważono od wartości 80%, przy czym pomiędzy 70%-80% wzrost utrzymał się na podobnym poziomie (Wykres 11).

W odniesieniu do uśrednionych wartości mocy szczytowej zmiennej **CRW** analiza danych wskazała na podobny wzrost przy podobnym zakresie obciążeń zewnętrznych. W obydwu grupach odnotowano wzrost, który był ciągły o dodatnim trendzie do wartości 90% obciążenia zewnętrznego. Następnie zaobserwowano trend ujemny i gwałtowny spadek po przekroczeniu 90% obciążenia zewnętrznego (Wykres 12).



Wykres 11. Porównanie dynamiki zmian wartości dla zmiennej **CRZ** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.



Wykres 12. Porównanie dynamiki zmian wartości dla zmiennej **CRW** zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Tabela 55. Dynamika zmian **CRZ** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,17	100,0	100,0
20%	0,20	119,0	119,0
30%	0,20	121,0	101,7
40%	0,22	130,0	107,4
50%	0,23	139,0	106,9
60%	0,27	162,0	116,5
70%	0,39	234,0	144,4
80%	0,48	286,0	122,2
90%	0,67	401,0	140,2
100%	0,67	400,8	100,0

Największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie wartości zmiennej **CRZ** zawodników zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 90% i 100% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej dla zawodników zaawansowanych największy przyrost wartości zmiennej **CRZ** odnotowano dla 70% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia. Największy spadek wartości zmiennej dla 100% obciążenia zewnętrznego (Tabela 55).

Podobnie dla zmiennej **CRW** w grupie zawodników zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej, w zakresie jej wartości odnotowano przy 90% i 100%

obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych największy przyrost wartości zmiennej **CRW** miał miejsce dla 90% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia. Największy spadek wartości zmiennej dla 100% obciążenia zewnętrznego (Tabela 56).

Tabela 56. Dynamika zmian **CRW** w grupie zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,17	100,0	100,0
20%	0,20	116,5	116,5
30%	0,20	117,5	100,8
40%	0,21	123,3	105,0
50%	0,23	134,0	108,7
60%	0,29	166,0	123,9
70%	0,42	243,7	146,8
80%	0,51	296,1	121,5
90%	0,76	439,8	148,5
100%	0,72	419,8	95,5

Największe wzrosty indeksów (o podstawie stałej) w zakresie wartości zmiennej **CRZ** zawodników średnio zaawansowanych w odniesieniu do 10% obciążenia zewnętrznego zanotowano przy 90% i 100% obciążeniu. W oparciu o obliczone indeksy o podstawie zmiennej największy przyrost wartości zmiennej **CRZ** odnotowano dla 90% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia. Największy spadek wartości zmiennej dla 80% obciążenia zewnętrznego (Tabela 57). Dla zmiennej **CRW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych największe wzrosty indeksów o podstawie stałej odnotowano przy 90% obciążeniu. Biorąc pod uwagę indeksy o podstawach zmiennych, największe przyrosty wartości zmiennej **CRW** miały miejsce dla 90% wartości obciążenia zewnętrznego, w odniesieniu do poprzedzającego obciążenia. Największy spadek wartości zmiennej dla 100% obciążenia zewnętrznego (Tabela 58).

Tabela 57. Dynamika zmian **CRZ** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRZ	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,18	100,0	100,0
20%	0,23	127,8	127,8
30%	0,25	139,8	109,4
40%	0,28	153,7	109,9
50%	0,27	151,9	98,8
60%	0,31	172,2	113,4
70%	0,42	235,2	136,6
80%	0,45	250,0	106,3
90%	0,66	367,6	147,0
100%	0,79	437,3	119,0

Tabela 58. Dynamika zmian **CRW** w grupie zawodników średnio zaawansowanych w kategorii wagowej powyżej 93 kg.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	CRW	Indeksy dynamiki o podstawie	
		stałej I(S)	zmiennej I(z)
10%	0,18	100,0	100,0
20%	0,24	130,9	130,9
30%	0,25	138,2	105,6
40%	0,28	150,9	109,2
50%	0,28	152,7	101,2
60%	0,30	164,5	107,7
70%	0,41	220,9	134,3
80%	0,46	248,2	112,3
90%	0,67	362,7	146,2
100%	0,52	285,5	78,7

Tabela 59. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani w kategorii wagowej powyżej 93 kg, dla zmiennej **CRZ** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	0,17	0,18	0,887
20%	0,20	0,23	0,178
30%	0,20	0,25	0,479
40%	0,22	0,28	0,481
50%	0,23	0,27	0,752
60%	0,27	0,31	0,844
70%	0,39	0,42	0,626
80%	0,48	0,45	0,718
90%	0,67	0,66	0,903
100%	0,67	0,79	0,543

Tabela 60. Wynik analizy różnic międzygrupowych zaawansowani i średnio zaawansowani w kategorii wagowej powyżej 93 kg, dla zmiennej **CRW** z wykorzystaniem testu T-Studenta.

Wartość procentowa obciążenia zewnętrznego	Zawodnicy zaawansowani	Zawodnicy średnio zaawansowani	p
10%	0,17	0,18	0,921
20%	0,20	0,24	0,458
30%	0,20	0,25	0,462
40%	0,21	0,28	0,484
50%	0,23	0,28	0,463
60%	0,29	0,30	0,918
70%	0,42	0,41	0,910
80%	0,51	0,46	0,463
90%	0,76	0,67	0,540
100%	0,72	0,52	0,438

Testowanie hipotezy o występowaniu różnic międzygrupowych z wykorzystaniem testu T-Studenta wykazało brak istotnych statystycznie różnic dla zmiennych **CRZ** i **CRW** pomiędzy grupą zaawansowaną a średnio zaawansowaną w odniesieniu do zadanego obciążenia zewnętrznego (Tabela 59 i 60).

10.6. Analiza występowania zależności pomiędzy wartościami siły w której uzyskana została moc szczytowa, a wartościami mocy szczytowej, w zależności od kategorii wagowych i poziomu sportowego

Tabele od 60 do 66 przedstawiają wyniki analizy korelacji pomiędzy wartościami siły w której została uzyskana moc szczytowa i mocy szczytowej z wykorzystaniem współczynnika korelacji Pearsona w grupach zawodników zaawansowanych i średnio zaawansowanych.

Tabela 61. Wynik analizy korelacyjnej w grupie zaawansowanej, w kategorii wagowej 66-70 kg dla zmiennych **PPW**, **PPFW**, **PPZ** i **PPFZ**

Zmienna	PPFW	PPFZ
PPW	0,349	0,381
PPZ	0,306	0,348

W grupie zaawansowanej nie wystąpiły istotne statystycznie korelacje. Wartości korelacyjne były niskie i dodatnie.

Tabela 62. Wynik analizy korelacyjnej w grupie średnio zaawansowanej, w kategorii wagowej 66-70 kg dla zmiennych **PPW**, **PPFW**, **PPZ** i **PPFZ**

Zmienna	PPFW	PPFZ
PPW	0,379	0,094
PPZ	0,519	0,272

W grupie średnio zaawansowanej nie wystąpiły istotne statystycznie korelacje. Wartości korelacyjne były również stosunkowo niskie i dodatnie.

Tabela 63. Wynik analizy korelacyjnej w grupie zaawansowanej, w kategorii wagowej 77-84 kg dla zmiennych **PPW**, **PPFW**, **PPZ** i **PPFZ**

Zmienna	PPFW	PPFZ
PPW	0,799	0,649
PPZ	0,706	0,859

W grupie zaawansowanej wystąpiła istotne statystycznie korelacja pomiędzy **PPW**, a **PPFW**. Wszystkie wartości korelacyjne były dodatnie.

Tabela 64. Wynik analizy korelacyjnej w grupie średnio zaawansowanej, w kategorii wagowej 77-84 kg dla zmiennych **PPW, PPFW, PPZ i PPFZ**

Zmienna	PPFW	PPFZ
PPW	0,717	0,684
PPZ	0,270	0,229

W grupie średnio zaawansowanej nie wystąpiły istotne statystycznie korelacje, jednak korelacje PPW z PPFW i PPFZ miały wysokie wartości. Wartości korelacyjne były dodatnie.

Tabela 65. Wynik analizy korelacyjnej w grupie zaawansowanej, w kategorii wagowej powyżej 93 kg dla zmiennych **PPW, PPFW, PPZ i PPFZ**

Zmienna	PPFW	PPFZ
PPW	0,484	0,512
PPZ	0,607	0,627

W grupie zaawansowanej nie wystąpiła istotne statystycznie korelacja, jednak w tej kategorii wagowej, korelacje PPZ z PPFW i PPFZ miały wysokie wartości. Wartości korelacyjne były dodatnie.

Tabela 66. Wynik analizy korelacyjnej w grupie średnio zaawansowanej, w kategorii wagowej powyżej 93 kg dla zmiennych **PPW, PPFW, PPZ i PPFZ**

Zmienna	PPFW	PPFZ
PPW	0,515	0,464
PPZ	0,562	0,688

W grupie średnio zaawansowanej nie wystąpiły istotne statystycznie korelacje, jednak korelacje miały wysokie wartości. Wartości korelacyjne były dodatnie. Podobnie jak w grupie zaawansowanej korelacje zmiennych PPZ z PPFW i PPFZ miały wysokie wartości

11. Dyskusja

Celem pracy była analiza wpływu wielkości obciążenia zewnętrznego na czas reakcji i poziom generowanej mocy szczytowej jak i poziom siły w której została uzyskana moc szczytowa kończyn dolnych zawodników mieszanych sztuk walki. Problem ten był rozpatrywany w aspekcie kategorii wagowych oraz poziomu sportowego zawodników MMA. Uzasadnieniem podjęcia niniejszych badań była ograniczona ilość danych dotyczących wpływu obciążenia zewnętrznego na czas reakcji i poziom mocy szczytowej kończyn dolnych. Trudno również doszukać się informacji, z uwzględnieniem owych zmiennych, w odniesieniu do ustawienia dolnych kończyn, a mianowicie kończyny wykroczonej i zakroczonej. Pamiętając o tym, iż walka opiera się na jednoczesnym stosowaniu dominujących technik i neutralizacji działań przeciwnika, zawodnik przez całą walkę powinien wykonywać czynności ruchowe wynikające ze specyfiki sportu w sposób eksplozywny. Stąd też wyróżniamy sportowców bazujących na uderzeniach (strikers), chwytach i dźwigniach (grapplers) oraz zawodników, których działania opierają się na rzutach i uderzeniach w parterze (ground and pound) (Marek i wsp. 2015). Ponadto owe czynności opierają się na ruchach wielostawowych przy udziale łańcucha kinematycznego, który odpowiada za przekazywanie energii pomiędzy sąsiadującymi stawami, stanowiącymi układ ruchowy. W sportach walki zaleca się wykonywanie ruchów wykorzystujących tzw. „potrójne wydłużenie” (staw skokowy i biodrowy), gdyż większość działań jest inicjonowana z pozycji wykroczonej-zakroczonej, która jest ustawieniem wyjściowym w MMA, zarówno w działaniach ofensywnych jak i defensywnych, co podkreśla istotę badań kończyn dolnych w odniesieniu do dolnej kończyny zakroczonej i wykroczonej (Follmer i wsp. 2016, Turner 2009, Bazyler i wsp. 2015). Przyjęta pozycja wyjściowa podczas walki wymaga, aby zawodnik rotował biodra i miał stabilną postawę w czasie walki i w trakcie czynności ruchowych. Dlatego pasmo biodrowe podczas wyprowadzania ciosów zmuszone jest do szybkiego rozciągania i rotowania, co uniemożliwia generowanie siły w prostownikach stawu biodrowego (m. pośladowy wielki, średni, mały, przywodziciel wielki, półbłoniasty, dwugłowy uda, półścięgnisty, gruszkowaty). Stąd też w trakcie rotacji bioder występuje element koślawienia kolan, będący wynikiem rozwinięcia większej siły mięśniowej. Powoduje to upośledzenie funkcji kończyn dolnych z uciskiem w stawie biodro-piszczelowym, które może doprowadzić do niewspółosiowości bioder i przyczynić się też do powstawania asymetrii mięśniowej między lewą i prawą kończyną dolną. Dlatego problem badawczy był rozpatrywany w aspekcie dolnej kończyny wykroczonej i zakroczonej (Rudocck i Hembrough 2018).

Otrzymane wyniki wykazują, iż najwyższe wartości zarówno siły w której została uzyskana moc szczytowa jak i mocy szczytowej kończyn dolnych w odniesieniu do kategorii wagowych ze względu na FFM osiągają zawodnicy zawansowani w kategorii wagowej 66-70kg, kolejno zaawansowani w kategorii 77-84kg, zawansowani powyżej 93kg oraz średnio zaawansowani w kategorii 77-84kg, 66-70kg i powyżej 93kg. Relatywnie wysokie wartości siły i mocy szczytowej sugerują, że są one ze sobą ściśle powiązane, ponieważ zależą głównie od przekroju poprzecznego mięśnia, co przyczynia się do wzrostu mocy szczytowej. Jednakże głównym czynnikiem wpływającym na szczytową moc mięśniową jest szybkość skracania mięśnia, a więc stosunek włókien mięśniowych szybko kurczliwych (FT) do wolno kurczliwych (ST). Kolejnym istotnym czynnikiem jest potencjał organizmu do szybkiej resyntezy ATP w komórkach mięśniowych (Hornsby i wsp. 2017). O wpływie na moc szczytową może świadczyć fakt, iż zawodnicy z cięższych kategorii wagowych posiadali niższy poziom FFM w stosunku do kategorii lekkiej, co przyczyniło się do osiągniętych rezultatów. Porównując otrzymane wyniki mocy szczytowej (Pallares i wsp. 2010) z uzyskanymi rezultatami zapaśników amatorskiego i mistrzowskiego poziomu w aspekcie motorycznych czynników wpływających na przewidywanie wyników w zapasach olimpijskich w teście wyskoku z zamachem (CMJ- counter movement jump) jak i w teście wydolności anaerobowej (Wingate). Nie zarejestrowano różnic pomiędzy średnimi wartościami szczytowymi mocy mięśniowej w odniesieniu do FFM podczas wyskoku w następujących kategoriach wagowych (lekka 55-68kg/ średnia 68-84kg/ ciężka 84-100kg). Wystąpiły natomiast istotne statystycznie ($P < 0.05$) różnice pomiędzy zawodnikami poziomu mistrzowskiego a amatorami. Brak różnic pomiędzy szczytową mocą mięśniową a kategoriami wagowymi FFM elitarnych zapaśników może wynikać z tego, iż najlepsi zapaśnicy posiadali mniej zróżnicowany poziom między grupowy FFM (3-5%). Pozwoliło to autorom na wysunięcie tezy, iż wysoki poziom FFM może przyczyniać się do sukcesu sportowego w zapasach. Zawartość FFM można korelować z działaniami o charakterze eksplozywnym w sportach walki, gdyż nadmiar tkanki tłuszczowej ogranicza eksplozywne czynności ruchowe i obniża wydolność aerobową a zwiększa wydatek energetyczny. Dlatego w sportach walki skład ciała jest istotnym czynnikiem determinującym skuteczność technik stosowanych przez zawodników (Reilly 1996, Kasum i Dopsaj 2012). Ponadto bezwzględne wyższe wartości maksymalnej siły mięśniowej, szczytowej mocy mięśniowej, metabolizmu beztlenowego zawodników rangi mistrzowskiej dają im wyraźną przewagę nad amatorami. Innym aspektem jest fakt, iż poziom tkanki tłuszczowej zawodników sportów walki różni się w zależności od kategorii wagowej i mieści się w przedziale 6-15% (Mirzaei i wsp. 2009, Hubner-Woźniak i wsp. 2004, Schmidt i wsp. 2005). Warty uwagi jest

fakt, iż w badaniach na zawodnikach judo odnotowano duży potencjał siły mięśniowej w odniesieniu do FFM. Odgrywa on istotną rolę w ruchach specjalistyczno-technicznych, szczególnie w technikach wymagających wysokiego potencjału siły i mocy szczytowej, co może być czynnikiem warunkującym częstotliwość wykonywania technik specjalistycznych (Sterkowicz 2016, 2018).

Natomiast badania (Tsiros i wsp. 2013, Valerio i wsp. 2014) na młodzieży z otyłością i prawidłową masą ciała wykazały, że siła mięśniowa w wartościach bezwzględnych jest wyższa u młodzieży borykającej się z otyłością. Według autorów owe ustalenia można przypisać adaptacji nerwowo-mięśniowej wywołanej nadwagą, która głównie przeciążała kończyny dolne, niemniej jednak otyli nastolatki posiadali niższe wartości siły i mocy w odniesieniu do parametrów względnych. Porównując owe wartości do FFM za pomocą podwójnego promieniowania rentgenowskiego (DXA) uczeni zaobserwowali, że osoby otyłe i zdrowe posiadają zbliżony poziom siły i mocy szczytowej, jednakże potencjał mięśniowy kończyn dolnych jest bardziej rozbudowany u osób z nadwagą (Lopes i wsp. 2018).

Kolejnym czynnikiem potwierdzającym to, że zawodnicy cięższych kategorii z niższą zawartością FFM odnotowali gorsze wyniki w aspekcie siły i mocy szczytowej, są badania przeprowadzone na koszykarzach. Wykazano, iż poziom mocy szczytowej skorelowany jest z FFM. Podczas wyskoku CMJ koszykarze z niską zawartością tkanki tłuszczowej uzyskiwali lepsze wartości (Morales i wsp. 2015, Kostopoulos 2014, Ziv i Lidor 2010). Badania (Dal Pupo i wsp. 2012, Yamauchi i Ishii 2007) na judokach dotyczących zależności siły mięśniowej kończyn dolnych, ocenianej próbą CMJ a masą ciała wskazały ujemną korelację pomiędzy względną szczytową mocą mięśniową a wysokością wyskoku. Wskazując na to, że zawodnicy niższych kategorii wagowych osiągnęli lepsze wyniki w teście CMJ niż ci z kategorii ciężkiej. Ponadto siła i moc szczytowa była dodatnio skorelowana z masą ciała. Tym samym większa siła i bezwzględna moc szczytowa wynika z większej siły przyłożonej podczas nacisku stopy na podłoże przez zawodników ciężkiej kategorii. Potwierdza to, że prędkość przy wyskoku jest ujemnie skorelowana z masą ciała, ponieważ jest ona wyznacznikiem wysokości wyskoku i względnej mocy szczytowej. Stąd też zawodnicy lżejsi osiągnęli większą prędkość i wysokość podczas wyskoku dosiężnego. Innym czynnikiem, który może posłużyć za wyjaśnienie lepszych wyników osiąganych przez lżejszych zawodników, jest rodzaj włókien mięśniowych oraz sprawność mechanizmów sprężystych biorących udział w generowaniu siły i szczytowej mocy mięśniowej, takich jak szybkie przejście między fazą ekscentryczną i koncentryczną. Przejście to musi nastąpić w jak najkrótszym czasie po to, aby zapobiec rozproszeniu energii zgromadzonej w strukturach mięśniowo-ścięgnistych. Stąd też mechanizm ten może nie być

bardzo skuteczny u sportowców wagi ciężkiej ze względu na większe przeciążenia wynikające z masy ciała. Utrudnia to szybkie przejście między fazami ekscentryczno-koncentrycznymi podczas skoku i późniejsze wykorzystanie kompleksu mięsień-ścięgno do wytwarzania energii sprężystej (Gołaś i wsp. 2016, Turner i Jeffreys 2010, Suchomel i wsp. 2015). Zatem właściwym wydaje się, aby odnieść się do badań (Del Vecchio i wsp. 2011), który podzielił zawodników MMA na kategorie wagowe w obrębie rund, uwzględniając płaszczyznę wysiłku (stójka, parter) oraz charakter wysiłku o wysokiej (złożone działania w płaszczyźnie stojącej i parterowej uwzględniające elementy ofensywne i defensywne) i niskiej intensywności (statyczne działania, będące przejawem ustabilizowania pozycji lub efektem pojedynczych ataków). Otrzymane wyniki wykazały, że podczas 3 rundy zawodnicy lżejszych i średnich kategorii wagowych prezentowali najdłuższy, łączny czas wysiłku z uwzględnieniem płaszczyzny stojącej jak i parterowej, a najkrótszy w kategoriach ciężkich. Ciekawym aspektem jest najmniejsza różnica pomiędzy kategoriami a intensywnością wysiłku, która była zauważalna w 3 rundzie (Andreato i wsp. 2013, Jensen i wsp. 2013, Miarka i wsp. 2015). Autorzy ci sugerują, iż widoczne różnice w dynamice walki mogą być spowodowane masą ciała zawodników, gdzie dysproporcja pomiędzy najlżejszymi kategoriami a najcięższymi może wynosić 1:2, co może przekładać się na intensywność walki. Dodatkowo badania na uczestnikach sportów walki wykazały, że cięższe kategorie wagowe miały większą masę tłuszczową (Sterkowicz-Przybycien i Franchini 2013). Większa masa tkanki tłuszczowej może tłumaczyć większy udział wysiłku o małej intensywności, przeplatany działaniami o dużej intensywności, jak to wykazano w przypadku indyjskich judoków (Katrli i Goudar 2012). Ma to odzwierciedlenie w anaerobowych działaniach ofensywno-defensywnych u zawodników podczas takich elementów jak obalenie, kombinacje uderzeń jak i działania defensywne przed tymi elementami (Franchini i wsp. 2005, Kubo i wsp. 2006). Ponieważ efektywność wytwarzania ATP w procesach fosfagenowych, beztlenowych i tlenowych, różni się zarówno pod względem tempa produkcji ATP w mięśniu, jak i jej pojemności energetycznej. Stąd tlenowe procesy energetyczne w porównaniu z beztlenowymi cechuje duża pojemność, lecz niska moc produkcji ATP (Lenetsky 2012, Bazyler i wsp. 2015, Vesterinen i wsp. 2016). Toteż jednym z czynników wpływających na różnice pomiędzy kategoriami wagowymi zawodników MMA jest poziom tkanki tłuszczowej, drugim zaś wysoka, względna moc mięśniowa, która przejawia się w kluczowych działaniach techniczno-taktycznych i może wynikać z indywidualnego potencjału motorycznego zawodnika.

Oceniając poziom zróżnicowania siły i szczytowej mocy mięśniowej pomiędzy kończyną dominującą a niedominującą wielu autorów podkreślało, iż istnieje asymetria w poziomie siły

i szczytowej mocy mięśniowej pomiędzy kończynami. Jednakże owe badania wskazują na wiele niejasności w aspekcie standaryzacji owych wyników. Badania dotyczące określenia różnicy pomiędzy górną, dominującą i niedominującą kończyną w sile mięśniowej u judoków w teście ciągnięcia judogi wykazały, iż zarówno siła maksymalna jak i RFD przewyższa kończynę niedominującą (Hartmann i wsp. 2009, Bonitch-Góngora i wsp. 2012, Detanico i wsp. 2012). Natomiast (Ache Dias i wsp. 2012, Franchini i wsp. 2005) nie wykazali żadnych różnic pomiędzy kończyną dominującą i niedominującą. Według (Sterkowicza i wsp. 2010) zróżnicowane rezultaty wynikają z charakterystyki treningu w judo, w którym prym wiedzie praca unilateralna. Uwzględnia ona działania techniczne obejmujące głównie dominującą stronę. Tak więc eksplozywne techniki rzucania mają tendencję do większej poprawy po stronie dominującej. Dlatego tempo spadku RFD jest sprzeczne z większością badań, gdyż kończyna niedominująca uzyskała mniejszy spadek RFD niż dominująca, mimo że wartość bezwzględna była po stronie dominującej (Nicolay i Walker 2005, Izquierdo i wsp. 2004). Tłumaczy to zależność maksymalnej siły od zdolności rekrutacji jednostek motorycznych i liczby impulsów nerwowych docierających do mięśni. Natomiast wytrzymałość zależy od zasobów energetycznych, szczególnie glikogenu oraz tempa beztlenowej resyntezy ATP. Przykładem różnicującym kończyny pod względem siły i szczytowej mocy mięśniowej są również badania dotyczące asymetrii mięśniowej na podstawie przysiadu bułgarskiego (BBS-Bulgarian Split-Squat) i jego korelacji z testem szybkości biegowej. Wynika z nich, iż kończyna dominująca posiada większą wartość mocy szczytowej, siły mięśniowej jak i prędkości, mimo tego, że obciążenie zewnętrzne było jednakowe dla kończyny dominującej i niedominującej. Różnice pomiędzy kończynami dolnymi u wytrenowanych sportowców wahały się w dopuszczalnych normach asymetrii 0,3-12%. Wszystkie wyniki były poniżej 15%, co jest uważane za ich granicę w asymetrii mięśniowej. Ponadto wystąpiła istotna zależność pomiędzy siłą mięśniową uzyskaną w teście 5 powtórzeń (5 RM BSS) a szybkością biegu na dystansie 5m. Zależność ta sugerowała, iż większa prędkość wiązała się z mniejszą asymetrią pomiędzy kończynami w średniej sile mięśniowej. Pozwala to stwierdzić, że kluczową kwestią dla sportowca jest transfer siły ruchu na jego prędkość, która wiąże się z kontrolą układu nerwowego w wysiłkach wymagających zwiększonej rekrutacji jednostek motorycznych (Bennell i wsp. 1998, Knapik i wsp. 1991, Lockie i wsp. 2017). Osiągnięcie względnej symetrii między kończynami mogłoby skutkować efektywniejszym eksponowaniem owych zdolności w działaniach techniczno-taktycznych. Z drugiej strony zbyt duża asymetria może wpływać na zwiększone ryzyko kontuzji, spowodowane dużym naciskiem na silniejszą kończynę. Może to doprowadzić do urazu lub

wynikać ze specyfiki dyscypliny jak np. w baseballu lub tenisie, gdzie dominujące ramię zawodnika cechuje większa masa, siła i szczytowa moc mięśniowa (Kellis i wsp. 2001, Meylan i wsp. 2009, Koga i wsp. 2010, Tsimahidis i wsp. 2010). Warto nadmienić, iż w ujęciu funkcjonalnym asymetria w poszczególnych zadaniach ruchowych może być związana z charakterystyką wzorca danej czynności ruchowej. Wykazały to badania na dzieciach, które w 93-96% skokach jednonóż wykorzystywały lewą dolną kończynę jako dominującą, natomiast podczas uderzenia piłki stopą 90-98% z nich użyło prawą dolną kończynę. Dlatego dominacja kończyny będzie wyznaczała czynność ruchową, specyficzną dla danej dyscypliny sportu (Yielder i wsp. 2008, Khudik i wsp. 2018).

Poza odpowiednim potencjałem szeroko pojętej siły mięśniowej ważny jest również czas reakcji. Istnieją dwa rodzaje zdolności percepcyjnych związanych z wynikami w sporcie. Pierwsza opiera się na prymitywnych, podstawowych funkcjach sensorycznych, które nie są związane z obszarem specjalizacji sportowca i obejmują takie czynniki jak: ostrość widzenia i pole widzenia (Mori i wsp. 2002). Uważa się, że trening specyficzny dla tych umiejętności nie poprawia zdolności sportowych (Abernethy i Neal 1999, Kandel i wsp. 2000, Mori i wsp. 2002, Wood i Abernethy 1997). Drugi typ to specyficzne dla danej dyscypliny sportu umiejętności sensoryczne rozwinięte w trakcie jego uprawiania. Prosty czas reakcji jest najkrótszym odstępem czasu potrzebnym do zareagowania na pojedynczy bodziec. Niektóre doniesienia nie wykazały różnicy w czasie reakcji prostej pomiędzy sportowcami i osobami trenującymi rekreacyjnie, sugerując, iż parametr ten nie jest podatny na wytrenowanie (Mori i wsp. 2002). Natomiast czas reakcji z wyborem połączony ze zdolnościami percepcyjnymi może podlegać wytrenowaniu (Johnson i wsp. 1991 Johnson i wsp. 1991). Analizując czas reakcji w oparciu o asymetrię, warto odnieść się do badań dotyczących osób trenujących szermierkę, gdzie ze względu na poziom sportowy podzielono zawodników na trzy grupy, w których czas reakcji oceniono za pomocą Testu RT (Reaction Time, forma S5). W próbie tej urządzenie generuje bodźce wizualne, pojawiające się na monitorze do szybkiego reagowania. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, iż istotne różnice występują zarówno pomiędzy szpadzistami pierwszej klasy sportowej jak i mistrzowskiej. Zawodnicy posiadający dłuższy staż treningowy dysponowali lepszym czasem reakcji (Johnne i wsp. 2013). Podobnie jak w badaniach (Borysiuka 2006) przeprowadzonych na zawodnikach trenujących taekwondo, karate i szermierkę, uzyskane wyniki wskazują na istotną zmianę relacji pomiędzy czasem reakcji i szybkością ruchu prostego. Stwierdzono, że czas reakcji jest tym parametrem, który może podlegać istotnemu skróceniu, natomiast szybkość ruchu prostego pozostaje na podobnym poziomie. Doświadczeni zawodnicy rozpoznają działania przeciwników po

dostrzeżeniu zamiarów wstępnych (antycypacja). Kiedy są w dobrej formie sportowej, odznaczają się optymalnym pobudzeniem, skupieniem oraz niezwykle trafnością reagowania na działania przeciwnika. Podobne wnioski wysunęli (Kandel i wsp. 2000), którzy uważają, że zawodnicy o dłuższym stażu treningowym skracają podejmowanie decyzji, redukując czas reakcji poprzez włączenie czynników antycypacyjnych. Natomiast zawodnicy o mniejszym doświadczeniu, przetwarzają informacje w fazie czuciowej, która zajmuje więcej czasu. Doświadczeni szermierze, podobnie jak doświadczeni zawodnicy MMA, rozpoznają intencje przeciwnika, zauważając działania inicjujące, takie jak: napięcie obręczy barkowej czy zginanie kończyny dolnej. Jednak im lepiej przygotowany jest przeciwnik, tym lepiej koordynuje swoje ruchy i trudniej jest rozpoznać jego ofensywne intencje techniczno-taktyczne a to nie ułatwia przygotowania działań obronnych, gdyż czynniki te zależą głównie od doświadczenia zawodnika. Ponadto w zmieniających się warunkach dominują proste reakcje, lecz coraz większe znaczenie nabierają reakcje złożone (Roi i Pittaluga 1997, Starkes i Ericsson 2003, Mouelhi-Guizani i wsp. 2006). Doszukując się odpowiedzi na pytanie dlaczego zawodnicy zaawansowani uzyskali lepszy czas reakcji, należy odnieść się do badań omawianej zmiennej w aspekcie kończyn dolnych. Autorzy domniemają, iż krótszy czas reakcji może wynikać z potencjału do wykonywania zadań reaktywnych, które wymagają od zawodników zidentyfikowania bodźca, przetworzenia i zainicjowana szybką reakcją, często związaną z rekrutacją dużych grup mięśniowych. Większość czynności sportowych wymaga dynamicznych i gwałtownych aktów ruchowych, a poprzednie badania wykazały różnice w czynnikach nerwowo-mięśniowych, które są potencjalnymi zmiennymi do powstawania różnic w czasie reakcji (Staron i wsp. 2000, Nakamoto i Mori 2008, Spiteri i wsp. 2013). Natomiast u chodździarzy zdiagnozowano, iż przekrój włókna mięśniowego może mieć wpływ na RFD, co może wpływać na czas reakcji, ale niekoniecznie musi być uwarunkowane owym parametrem. Dodatkowo takie zmienne jak rozmiar włókna, siła i różnica neuronowa może również wpływać na czas reakcji. Kolejny aspekt to różnice strukturalne w mięśniowej tkance elastycznej, wpływające na RFD. Dla przykładu u kobiet zmniejszona sztywność mięśni powoduje opóźnienie elektromechaniczne, skutkujące gorszym odruchem z wrzecion mięśniowych, co może przyczyniać się do różnic w czasie reakcji. Dysproporcja stosunku włókien mięśniowych pomiędzy płciami budzi wiele dyskusji i jest zależna od takich czynników jak: wiek, poziom sprawności fizycznej i stężenia hormonów anabolicznych oraz katecholamin (Staron i wsp. 2000, Kubo i wsp. 2003, Baur i wsp. 2006, Kato i wsp. 2006).

W aspekcie mocy szczytowej tylko w kategorii lekkiej, grupie zawodników średnio zaawansowanych odnotowano moc szczytową w granicach 50% RM. Natomiast

w pozostałych grupach, z uwzględnieniem poziomu sportowego, wartość szczytowa mocy wyniosła 60% RM. W obecnej literaturze istnieje wiele doniesień dotyczących kształtowania szczytowej mocy mięśniowej a jej wartości w zależności od badań wahają się od 0-80% RM (Cormie i wsp. 2007, Kilduff i wsp. 2007, Turner i wsp. 2012). Wiele publikacji dotyczących mocy szczytowej dla kończyn dolnych, stwierdza, iż procentowy udział RM w mocy szczytowej się różni w zależności od rodzaju ćwiczenia, stażu treningowego, poziomu sportowego i rodzaju uprawianej dyscypliny (Cormie i wsp. 2001, 2011, Cronin i wsp. 2001, Mc Bride 2001). Z kolei (Soriano i wsp. 2015) badając optymalne procentowe obciążenie dla mocy szczytowej kończyn dolnych wykazali, iż czynnikiem warunkującym procentową moc szczytową jest rodzaj ćwiczenia. Dla przysiadu ze sztangą na plecach obciążenie waha się od 30-70% RM, wyskok obunóż ze sztangą na plecach (SJ squat jump) do 30% RM. Jednakże obciążenie rzędu 70% RM generowało największe wartości mocy szczytowej, w takich ćwiczeniach jak: zarzut sztangi ze zwisu (Hang Power Clean) jak i pełny zarzut sztangi (Power Clean). Wielu autorów twierdzi, iż wzorzec ruchowy, odpowiadający poszczególnym ćwiczeniom, może mieć związek z optymalnym procentowym obciążeniem a mocą (Izquierdo i wsp. 2002, Cormie i wsp. 2007, Soriano i wsp. 2015).

Przeprowadzone badania (Victor i wsp. 2015) na zawodnikach sportów walki, w aspekcie optymalnego procentowego obciążenia zewnętrznego do generowania szczytowej mocy mięśniowej, nie wykazały różnic pomiędzy grupą zawodników poziomu mistrzowskiego i amatorskiego, określając jej wartość na poziomie 42% RM. Istotne różnice nastąpiły wtedy, kiedy obu grupom zaimplikowano obciążenie 60% RM, które wskazało, że zawodnicy poziomu mistrzowskiego generowali wyższe względne wartości szczytowej mocy mięśniowej.

W aspekcie aplikacyjnym można stwierdzić, iż użyte narzędzia analityczne oraz otrzymane wyniki mogą służyć podczas prób optymalizacji procesu treningowego zawodników MMA. W procesie treningowym bowiem, dodatkowym czynnikiem jest innowacyjne podejście do treningu kończyn dolnych, uwzględniające pozycję wykroczo-zakroczo, która jest postawą wyjściową dla większości działań techniczno-taktycznych zarówno tych ofensywnych jak i defensywnych. Każda z kończyna podczas walki będzie pełniła inne zadanie ruchowe w zależności od poszczególnych działań, np. dolna kończyna wykroczo bardziej będzie narażona na uderzenia kończynami dolnymi i próby sprowadzeń zapaśniczych. Wynika to z racji odległości od przeciwnika. Ponadto MMA jest dyscypliną o charakterze wielopłaszczyznowym i nie występuje tu walka w półdystansie, tak jak ma to w miejsce w boksie. Dlatego wydaje się, iż odpowiednio przanalizowany indywidualny dla każdego

zawodnika potencjał motoryczny powinien pozytywnie wpłynąć na jeszcze lepsze wykonywanie specyficznych aktów ruchowych przejawiających się różną pracą mięśniową.

Zatem, właściwe wydaje się dalsze kontynuowanie badań w tym zakresie ponieważ nie wyczerpują one całokształtu problematyki związanej z wpływem obciążenia zewnętrznego na poziom mocy szczytowej, siły jak i czas reakcji. Poszerzenie badań o parametr prędkości i jej korelacje z poszczególnymi zmiennymi na różnych wartościach obciążenia zewnętrznego powinno sprecyzować temat badawczy uwzględniający w sportach walki dolną kończynę zakroczną i wykroczną. Wydaje się to dość innowacyjnym schematem badań naukowych i może posłużyć w przyszłości do zbudowania zoptymalizowanego indywidualnego modelu dla każdego utalentowanego zawodnika MMA.

Wnioski

Na podstawie zebranych w toku badań wyników dotyczących wpływu wielkości obciążenia zewnętrznego na czas reakcji i poziom generowanej mocy szczytowej jak i siły w której została uzyskana moc szczytowa kończyn dolnych zawodników mieszanych sztuk walki sformułowano następujące wnioski:

- 1) Otrzymane wyniki wskazują na wyższe wartości mocy szczytowej kończyny zakroczej, we wszystkich kategoriach wagowych oprócz grupy średnio zawansowanych zawodników 77-84 kg.
- 2) Najwyższe wartości mocy szczytowej w przeliczeniu na FFM osiągają zawodnicy zawansowani kategorii 66-70 kg.
- 3) Zawodnicy zawansowani osiągają wyższe wartości siły i szczytowej mocy mięśniowej niż zawodnicy średnio zaawansowani.
- 4) Najlepszy czas reakcji uzyskiwana była przy obciążeniu 10% RM.
- 5) Zawodnicy MMA generują najwyższą moc szczytowa przy obciążeniu 50-70% RM, zarówno dla dolnej kończyny zakroczej jak i wykroczej.

Bibliografia

- 1) Aagaard P, Andersen J, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. 2002. Increased Rate of Force Development and neural Drive of Human Skeletal Muscle Following Resistance Training. *Journal Strength and Conditioning Research*, 93: 1318-1326.
- 2) Aagaard P, Simonsen E, Andersen J, Magnusson P, Bojsen-Moller F, Dyhre-Poulsen P. 2008. Antagonist Muscle Coactivation During Isokinetic Knee Extension. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 10: 58-67.
- 3) Aagaard P, Simonsen E, Andersen J, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. 2002. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93:1318–1326.
- 4) Aagaard P. 2010. The use of eccentric strength to enhance maximal muscle strength, Explosive Force and muscular power-consequences for athletic performance. *The Open Sports Sciences Journal*, 3:52-55.
- 5) Abernethy B, Neal R.J. 1999. Visual characteristics of clay target shooters. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2:1-19.
- 6) Ache Dias J, Wentz M, Kulkamp W, Mattos D, Goethel M, Borges Jr.N.G. 2012. Is the handgrip strength performance better in judokas than in non-judokas. *Science Sports*, 27(3):9–14.
- 7) Alegre L, Jimenez F, Gonzalo-orden JM, Martin-Acero R, Aguado X. 2006. Effects of dynamic resistance training of fascicle length and isometric strength. *Journal of Sports Sciences*, 24-25:501-508.
- 8) Alm P, Yu J.G. 2013. Physiological characters in mixed martial arts. *American Journal of Sports Science*, 1(2):12-17.
- 9) Amtmann J.A, Amtmann K.A, Spath W.K. 2008. Lactate and rate of perceived exertion responses of athletes training for and competing in a mixed martial arts event. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22:645-7.
- 10) Andersen J. L, Aagaard P.2000. Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve*, 23:1095-1104.
- 11) Andersen L, Aagaard P. 2006. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 96:46-52.
- 12) Ando S, Kida N, Oda S. 2001. Central and peripheral visual reaction time of soccer players and non-athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 92:786-794.

- 13) Ando S, Kida N, Oda S. 2002. Practice effects on reaction time for peripheral and central visual fields. *Perceptual and Motor Skills*; 95(3):747-752.
- 14) Andreato L.V, Franchini E, Moraes S.M, Pastório J.J, da Silva D.F, Esteves J.V, Branco B.H. 2013. Physiological and technical-tactical analysis in Brazilian jiu-jitsu competition. *Asian journal of sports medicine*, 4:137-143.
- 15) Arito H, Oguri M. 1990. Contingent negative variation and reaction time of physically-trained subjects in simple and discriminative tasks. *Industrial Health*, 28:97-106.
- 16) Barbas I, Fatouros I.G, Douroudos I.I, Chatzinikolaou A, Michailidis Y, Draganidis D, Taxildaris K. 2011. Physiological and performance adaptations of elite Greco-Roman wrestlers during a one-day tournament. *European Journal of Applied Physiology*, 111:1421–1436.
- 17) Barbas I, Fatouros G, Douroudos I, Chatzinikolaou A, Michailidis Y, Draganidis D, Jamurtas A.Z, Nikolaidis MG, Parotsidis C, Theodorou A, Katrabasas I, Margonis K, Papassotiriou I, Taxildaris K. 2011. Physiological and performance adaptations of elite Greco-Roman wrestlers during a one-day tournament. *European Journal of Applied Physiology*, 111:1421-36.
- 18) Bauman S. 1992. Praxis der Sportpsychologie, Munchen, *BVL Sportwissen*.
- 19) Baur H, Muller S, Hirschmuller A, Huber G, Mayer F. 2006. Reactivity, stability, and strength performance capacity in motor sports. *British Journal of Sports Medicine*, 40:906–911.
- 20) Bazyler C.D, Abbott H.A, Bellon C.R, Taber C.B, Stone M.H. 2015. Strength training for endurance athletes: theory and practice. *Strength & Conditioning Journal*, 37:(2).
- 21) Behringer M, Vom Heede A, Matthews M, Mester J. 2011. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 23:186-206.
- 22) Bennell K, Wajswelner H, Lew P, Schall-Riauour A, Leslie S, Plant D, Cirone J. 1998. Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *Journal of Sports Medicine*, 32:309–314.
- 23) Bianco M, Ferri M, Fabiano C, Giorgiano F, Tavella S, Manili U, Faina M, Palmieri V, Zeppilli P. 2011. Baseline simple and complex reaction times in female compared to male boxers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51:292-298.
- 24) Bianco M, Ferri M, Fabiano C, Giorgiano F, Tavella S. 2011. Baseline simple and complex reaction times in female compared to male boxers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51:292-298.

- 25) Bołoban W. 2009. Czas reakcji i czas motoryczny w ruchach sportowca. *Pedagogics, Psychology. Medical -Biological Problems of Physical Training and Sport*, 10:195-30.
- 26) Bompa T, Buzzichelli C. 2015. *Periodization training for sports*. 3rd edition. USA. Human Kinetics, 36.
- 27) Bonitch-Góngora J.G, Bonitch-Domingués J.G, Padiál P, Belen F. 2012. The effect of lactate concentration on the handgrip strength during judo bouts. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(7):1863-1871.
- 28) Borysiuk Z, Waskiewicz Z. 2008. Information Processes, Stimulation and Perceptual Training in Fencing. *Journal of Human Kinetics*, 19:63-82.
- 29) Borysiuk Z. 2006. Complex evaluation of fencers predis-position in three stages of sport development. *Biology of Sport*, 1:41-55.
- 30) Boullosa D, Abreu L, Conceição F, Cordero Y, Jimenez Pedro. 2018. The Influence Of Training Background On Different Rate Of Force Calculations During Countermovement Jump. *Kinesiology*, 50:17.
- 31) Bounty L.P, Campbell L.B, Galvin E, Cooke M, Antonio J. 2013. Strength and Conditioning Considerations for Mixed Martial Arts. *Strength and Conditioning Journal*, 33(1).
- 32) Bradley-Popovich G.E, Haff G.G. 2001 Nonlinear versus linear periodization models. *Strength & Conditioning Journal*, 23:42–44.
- 33) Brisswalter J, Arcelin R, Audiffren M, Delignieres D. 1997 Influence of physical exercise on simple reaction time: effect of physical fitness. *Perceptual and Motor Skills*, 85:1019-1027.
- 34) Broadbent D.E. 1971. *Decision and Stress*. Academic Press, London.
- 35) Buse G.J. 2006. No holds barred sport fighting: a 10 year review of mixed martial arts competition. *British Journal of Sports Medicine*, 40:169-72.
- 36) Campos G.E, Luecke T.J, Wendeln H.K, Toma K, Hagerman F.C, Murray T.F, Ragg K.E, Ratamess N.A, Kraemer W.J, Staron R.S. 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88:50–60.
- 37) Carrara P, Exel T, Exell T, Serrao J, Serrao J, Amadio A, Mochizuki L, Irwin G. 2015. Conference: The 33rd International Conference on Biomechanics in Sports. W: Poitiers – France.
- 38) Cheragbi M, Alinejad H.A, Arashi A.R, Shirzad E. 2014. Kinematics of straight right punch in boxing. *Annals of Applied Sport Science*, 2(2):39-50.

- 39) Cojocariu A, Honceriu C. 2011. The effect of the specific training upon the values of the choice reaction time at the level of the upper limbs in the lawn tennis (16-18-year-old). *Revista Sport si Societate*, 79:79-84.
- 40) Cormie P, McCaulley G.O, McBride J.M. 2007. Power versus strength– power jump squat training: influence on the load–power relationship. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(6):996–1003.
- 41) Cormie P, McCaulley G.O, Triplett N.T. 2007. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(2):340–349.
- 42) Cormie P, McGuigan M.R, Newton R.U. 2010. Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42:1582–1598
- 43) Cormie P, McGuigan M.R, Newton R.U. 2011. Developing maximal neuromuscular power: Part 2 training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine*, 41:125–146.
- 44) Cronin J, McNair P.J, Marshall R.N. 2001. Developing explosive power: A comparison of technique and training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4:59–70.
- 45) Czajkowski Z. 1998. Szermiercza praca nóg. *Sport Wyczynowy*, 3:4.
- 46) Czajkowski Z. 1994. Zdolności sprawnościowe, a nawyki czuciowo-ruchowe. *Sport Wyczynowy*, 5:6.
- 47) Czarkowska-Pączek B, Przybylski J. 2006. *Zarys fizjologii wysiłku fizycznego*. Elsevier Urban & Partner, Wrocław, 140-151.
- 48) Dal Pupo J, Detanico D, Santos S.G. 2012. Kinetic parameters as determinants of vertical jump performance. *Brazilian Journal Kinanthropometry and Human Performance*, 3:56-65.
- 49) Del Vecchio F.B, Hirata,S.M. Franchini E. 2011. A review of time-motion analysis and combat development in mixed martial arts matches at regional level tournaments. *Perceptual and Motor Skills*, 112:639-648.
- 50) Delaney J.A, Scott T.J, Ballard D.A. Duthie G.M, Hickmans J.A, Lockie R.G, Dascombe B.J. 2015. Contributing factors to change-of-direction ability in professional rugby league players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29:2688–2696.
- 51) Deligni D, Brisswalter J, Legros I. 1994. Influence of physical exercise on choice reaction time in sports experts: the mediating role of resource allocation. *Journal of Hsziman Movement Studies*, 27:173-188.

- 52) Der G, Deary I.J. 2006. Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*, 21(1):62–73.
- 53) Detanico D, Dal Pupo J, Budal Arins F, Dos Santos S. 2012. Strength parameters in judo athletes: an approach using hand dominance and weight categories. *Human Movement*, 13(4):330-336.
- 54) Dirix.A, *The Olympic book of sports medicine*, Oxford 1988, Blackwell Scientific Publications.
- 55) Donovan O, Cheung J, Catley M, McGregor A, Strutton P. 2006. An Investigation Of Leg And Trunk Strength And Reaction Times Of Hard-Style Martial Arts Practitioners. *Journal of Science in Sports & Medicine*, 2(5):5-12.
- 56) Duvan A, Toros T, Senel O. 2010. Effects of maximum exercise intensity on visual reaction time of elite fencers. *Journal of Physical Education and Sport*, 4:3.
- 57) Earp J.E, Kraemer W.J, Cormie P, Volek J.S, Maresh C.M, Joseph M, Newton R.U. 2011. Influence of muscle-tendon unit structure on rate of force development during the squat, countermovement, and drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2):340-347.
- 58) Flanagan E.P, Comyns T.M. 2008. The use of contact time and the reactive strength index to optimise fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal*, 30:33– 38.
- 59) Follmer B, Esteves J, Andreato L. 2016. Body composition, somatotype, and physical fitness of mixed martial arts athletes. *Sport Sciences for Health*, 10:1007.
- 60) Forbes S.C, Slade J.M, Meyer R.A. 2009. Short term high intensity interval training improves phosphocreatine recovery kinetics following moderate-intensity exercise in humans. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 33(6):1124-1131.
- 61) Foure A, Nordez A, Guette M, Cornu C. 2009. Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii and the musculo-articular complex of the ankle joint. *Scand. Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(6):811-8.
- 62) Fouré A, Nordez A, McNair P, Cornu Ch. 2011. Effects of plyometric training on both active and passive parts of the plantar flexors series elastic component stiffness of muscle–tendon complex. *European Journal of Applied Physiology*, 111(3):539-48.
- 63) Franchini E, Takito M.Y, Bertuzzi C.M. 2005. Morphological, physiological and technical variables in high-level college judoists. *Archives of Budo*, 1:1–7.

- 64) Franchini E, Takito M.Y, Dal M.A.P, Kiss M. 2005. Anthropometric differences between elite and non-elite judo players. *Biology of Sport*, 22:315-28.
- 65) Frontera W, Ochala J. 2012. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. *Calcified Tissue International*, 96(3):183-95.
- 66) Gagajew G.M. 1973. Psychologia gry w piłkę nożną. *Sport i Turystyka*. Warszawa, 46.
- 67) Geblewiczowa M. 1973. *Badania nad szybkością ruchów człowieka*. Warszawa.
- 68) Ghuntla T, Mehta H, Gokhale P, Shah Ch . 2013. Auditory reaction time in basketball players and healthy controls. *International Research Journal of Pharmacy*, 4(8):255-256.
- 69) 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(1): 95-102.
- 70) 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*, 10(52):95-106.
- 71) Gore S. 2014. *A comparison of asymmetry in athletic groin pain patients and elite rugby union players using analysis of characterizing phases*. Materiały pokonferencyjne. 32 International Conference of Biomechanics in Sports, 12-16 Jul. 2014, Johnson City, TN. 237–240.
- 72) Górski J. 2006. *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*. Wydawnictwo lekarskie PZWL, Warszawa, 107-110.
- 73) Gray, M, Di Brezzo R, Fort I.L. 2013. The effects of power and strength training on bone mineral density in premenopausal women. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53:428-436.
- 74) Green M, 2000. How long does it take to stop? Methodological analysis of driver perception-brake time. *Transportation Human Factors*, 2(3):195-216.
- 75) Haff G.G, Nimphius S. 2012. Training principles for power. *Strength & Conditioning Journal*. 34:2-12.
- 76) Harrison S. 2018. Strength training recommendations for developmental rugby sevens athletes. *Journal of Australian Strength & Conditioning*, 26(1):69-9.
- 77) Hartmann H, Bob A, Wirth K, Schmidtbleicher D. 2009. Effects of different periodization models on rate of force development and power ability of the upper extremity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23:1921–1932.
- 78) Helgerud J, Hoydal K, Wang E. 2007. Aerobic high-intensity intervals improve VO_{2max} more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4):665-71.

- 79) Henrik P, Löfving P, Psilander N. 2018. The Effect of Two Different Concurrent Training Programs on Strength and Power Gains in Highly-Trained Individuals. *Journal of Sports Science and Medicine*, 17(2):167-173.
- 80) Hobara H, Kimura K, Omuro K, Gomi K, Muraoka T, Iso S, Kanosue K. 2008. Determinants of difference in leg stiffness between endurance- and power-trained athletes. *Journal of Biomechanics*, 41:506–514.
- 81) Hori N, Newton R.U, Nosaka K, Stone M.H. 2005. Weightlifting exercises enhance athletic performance that requires high-load speed strength. *Strength & Conditioning Journal*, 27:50–55.
- 82) Hornsby W.G, Gentles J, Christopher J, MacDonald C.J, Mizuguchi S, Ramsey M, Stone M.H. 2017. Maximum Strength, Rate of Force Development, Jump Height, and Peak Power Alterations in Weightlifters across Five Months of Training. *Sports*, 5(4): 78.
- 83) Hubner-Wozniak E, Kosmol A, Lutoslawska G, Bem E.Z. 2004. Anaerobic performance of arms and legs in male and female free style wrestlers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7:473–480.
- 84) Huciński T, Łapszo J, Tzymański R, Zienkiewicz P. 2007. The relationship between the speed of motor reaction and short-distance runs and the effectiveness of play in defence and offense in basketball. *Kinesiology*, 39(2):157-164.
- 85) Izquierdo M, Hakkinen K, Gonzalez-Badillo J.J. 2002. Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *European Journal of Applied Physiology*, 87(3):264–267.
- 86) Izquierdo M, Ibañez J, Häkkinen K, Kraemer W.J, Gorostiaga E.M. 2004. Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 22(5):465– 478.
- 87) Jaskólska A, Jaskólski A. 2005. *Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka*. Wrocław, 337.
- 88) Jensen P, Roman J, Shaft B, Wrisberg C. 2013. In the cage: MMA fighters' experience of competition. *Sport Psychology*, 27:1-12.
- 89) Jetton A.M, Lawrence M.M, Meucci M, Haines T.L, Collier S.R, Morris D.M, Utter A.C. 2013. Dehydration and acute weight gain in mixed martial arts fighters before competition. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9):1322-6.

- 90) John Lahti. 2015. *Sports Analysis. Training considerations and applied methods for mixed martial arts*. Coaching seminary LBIA028. University of Jyväskylä.
- 91) John M, Poliszczuk T, Poliszczuk D, Dybrowska-Perzyna A. 2013. Asymmetry of Complex Reaction Time in Female Épée Fencers of Different Sports Classes. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 20:25-34.
- 92) Johnson B.F, Hoch K, Johnson J. 1991. Variability in psychometric test scores: the importance of the practice effect in patient study design. *Progress in Neuro Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 15:625-635.
- 93) Kandel E.R, Schwarz J.H, Jessell T.M. 2000. Principals of neural science. New York: McGraw-Hill. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(2):167.
- 94) Kato Y, Endo H, Kizuka T, Asami T. 2006. Automatic and imperative motor activations in stimulus-response compatibility: Magnetoencephalographic analysis of upper and lower limbs. *Experimental Brain Research*, 168:51–61.
- 95) Katralli J, Goudar S.S. 2012. Anthropometric profile and special judo fitness levels of Indian judo players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 3:113-118.
- 96) Kellis S, Gerodimos V, Kellis E, Manou V. 2001. Bilateral isokinetic concentric and eccentric strength profiles of the knee extensors and flexors in young soccer players. *Isokinetics and Exercise Science*, 9:31.
- 97) Khudik S.V, Chikurov A, Petrova M, Burmistriv A. 2018. Functional asymmetry and the sports result. *Journal of Physical Education and Sport*, 1(57):408-415.
- 98) Kilduff L.P, Bevan H, Owen N, Kingsley M.I, Bunce P, Bennett M, Cunningham D. 2007. Optimal loading for peak power output during the hang power clean in professional rugby players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(3):260–269.
- 99) Kim Y.K, Kim Y.H, Im S.J. 2001. *Inter-joint coordination in producing kicking velocity of taekwondo kicks*. Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, e-Spine Center, and Department of Taekwondo, Kyung Hee University, Korea.
- 100) Kioumourtzoglou E, Kourtessis T, Michalopoulou M, Derri V. 1998. Differences in several perceptual abilities between experts and novices in basketball, volleyball and water-polo. *Perceptual and Motor Skills*, 86:899-912.
- 101) Knapik J.J, Bauman C.L, Jones B.H, Harris J.M, Vaughan L.1991. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Journal of Sports Medicine*, 19:76–81.

- 102) Knapik J.J. 1991. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 19(1):76–81.
- 103) Kniffin, Kevin M, Bardreau C, Howley T. 2017. Putting muscle into sports analytics: strength, conditioning, and ice hockey performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12):3253-7.
- 104) Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R, Krosshaug T. 2010. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *The American Journal of Sports Medicine*, 38:2218-2225.
- 105) Komi P.V, Gollhofer A. 1997. Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 13:451–460.
- 106) Konrad A, Reiner M, Thaller S, Tlip M. 2019. The time course of muscle-tendon properties and function responses of a five-minute static stretching exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 88:520–526.
- 107) Kosiński R. 2013. *A Literature Review on Reaction Time*. Clemson University.
- 108) Kostopoulos N. 2015. Anthropometric and fitness profiles of young basketball players according to their playing position and time. *Journal of Physical Education and Sport*. 15:82-87.
- 109) Kraemer W.J, Dunn-Lewis C, Comstock B.A, Thomas G.A, Clark J.E, Nindl B.C. 2010. Growth hormone, exercise, and athletic performance: A continued evolution of complexity. *Current Sports Medicine Reports*, 9:242-252.
- 110) Kraemer W.J, Fry A.C, Rubin M.R, Triplett-McBride T, Gordon S.E, Koziris L.P, Lynch J.M, Volek J.S, Meuffels D.E, Newton R.U, Fleck S.J. 2001. Physiological and performance responses to tournament wrestling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33:1367-78.
- 111) Kraemer W.J, Fleck S.J. 2007. *Optimizing Strength Training: Designing Nonlinear Periodization Workouts*. Champaign, IL: Human Kinetics, 159-163.
- 112) Kraemer W.J, Ratamess N.A. 2000. Physiology of resistance training current issues. *Orthopaedic Physical Therapy Clinics of North America*, 9(4):467-513.
- 113) Kraemer W.J, Ratamess N.A. 2004. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(4):674–88.
- 114) Kraemer W.J, Ratamess N.A. 2005. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Medicine*, 35:339-361.

- 115) Kraemer W.J. 1992. Hormonal mechanisms related to the expression of muscular strength and power. *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Strength and Power in Sport. Komi, PV*, ed. Oxford: Blackwell Scientific, 64-76.
- 116) Kraemer W.J. 1994. The physiological basis for strength training in midlife. *Sports and Exercise in Midlife*. Gordon, SL, Park Ridge, IL: *American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 413-433.
- 117) Kruszewski M, Kępa G, Merda W. 1997. *Trening kulturystyczny w okresie przygotowawczym*. Zeszyty Naukowo- Metodyczne. Wydawnictwo AWF Warszawa, 96-97.
- 118) Kubo J, Chishaki T, Nakamura N, Muramatsu T, Yamamoto Y, Ito M, Saitou H, Kukidome T. 2006. Differences in fat free mass and muscle thickness at various sites according to performance level among judo athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20:654-57.
- 119) Kubo K, Kanchisa H, Fukunaga, T. 2003. Gender differences in the viscoelastic properties of tendon structures. *European Journal of Applied Physiology*, 88(6):520-6.
- 120) Kubo K, Kanehisa H, Takeshita D, Kawakami Y, Fukashiro S, Fukunaga T. 2000. In vivo dynamics of human medial gastrocnemius muscle-tendon complex during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica*, 170(2):127–135.
- 121) Kumar P.R, Ramana Murthy M.V, Eashwar D, Venkatdas M. 2008. Time Series Modeling Using Artificial Neural Networks. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 34:1259-1264.
- 122) Kundson V.D. 2009. Correcting the use of the term “power” in the strength and conditioning literature. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 26(6):1902-1908.
- 123) Kwiatkowski M, Borek D, Żukowski N. 2006, Normy klasyfikacyjne czasów reakcji dla grupy sportowców. *Sport Wyczynowy*, 11(12):503-4.
- 124) Lachlan J, Beckman E, Vicent K, Haff G. 2017. The Neuromuscular Qualities of Higher- and Lower-Level Mixed-Martial-Arts Competitors. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12:612-620.
- 125) Lachlan J, Haff G, Vicent K, Beckman E. 2016. Towards a Determination of the Physiological Characteristics Distinguishing Successful Mixed Martial Arts Athletes: A Systematic Review of Combat Sport Literature. *Sports Medicine*, 46(10):1525-1527.
- 126) Lee C.Y.B, McGill S.M. 2015. Effect of long-term isometric training on core/torso stiffness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(6):1515-1526.

- 127) Lenetsky S, Harris N, Brughelli M. 2013. Assessment and contributors of punching forces in combat sports athletes: Implications for strength and conditioning. *Strength and Conditioning Journal*, 35:1-7.
- 128) Lenetsky S, Harris N. 2012. The mixed martial arts athlete: a physiological profile. *Strength and Conditioning Journal*, 34:32-47.
- 129) Lloyd R.S, Oliver J.L, Hughes M.G, Williams C.A. 2012. The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(10):2812-9.
- 130) Lockie R.G, Risso F.G, Lazar A, Giuliano D.V, Stage A.A, Liu T.M, Beiley M.D, Hurley J.M, Torne I.A, Stokes J.J, Birmingham-Babauta S.A, Davis D.L, Orjalo A.J, Moreno M.R. 2017. Between-Leg Mechanical Differences as Measured by the Bulgarian Split-Squat: Exploring Asymmetries and Relationships with Sprint Acceleration. *Sports*, 1(3):5.
- 131) Loffing F, Hagemann N. 2015. Pushing through evolution? Incidence and fight records of left-oriented fighters in professional boxing history. *Laterality*, 20(3):270-286.
- 132) Lopes W, Jesus I, Silva L, Leite N. 2018. Localized fat-free mass does not influence muscle strength in obese and non-obese boys. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 24(5):361-365.
- 133) Loturco I, Franchini E, Cavinato Cal Abad C, Kobal R, Gil S, Romano F, Pereira L.C Ugrinowitsch, Cleiton A Libardi. A. 2015. Comparative Study of Specific Reaction Time in Elite Boxers: Differences between Jabs and Crosses. *Journal of Athletic Enhancement*, 4:3.
- 134) Loturco I, Nakamura F, Artioli G, Kobal R, Kitamura K, Cal Abad C, Cruz I, Romano F, Pereira L, Franchini E. 2016. Strength and Power Qualities Are Highly Associated With Punching Impact in Elite Amateur Boxers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(1):109-116.
- 135) Maestas C, Preuhs R.R. 2000. Modeling volatility in political time series. *Electoral Studies*, 19(1):95-110.
- 136) Magnus Stenius. 2015. *The Body in Pain and Pleasure: An Ethnography of Mixed Martial Arts*. Department of Culture and Media Studies Umea. University. Umea.
- 137) Marek A, Pujso R, Kuźmicki S, Szymański M, Tabakov S. 2015. MMA fighters' technical-tactical preparation – fight analysis: a case study. *Journal of Combat Sports and Martial Arts*, 6(1):35-41.

- 138) Mário C, Marques J, Gabbet D, Marinho A, Mikel I. 2015. Influence of Strength, Sprint Running, and Combined Strength and Sprint Running Training on Short Sprint Performance in Young Adults. *International Journal of Sports Medicine*, 36(10).
- 139) Marques M, Zajac A, Pereira, A, Costa A. 2011. Strength Training and Detraining in Different Populations: Case Studies. *Journal of Human Kinetics*, 29A: 7–14.
- 140) Maszczyk A, Gołaś A, Pietraszewski P, Rocznik R, Zajac A, Stanula A. 2013. Application of Neural and Regression Models in Sports Results Prediction. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 117: 482-487.
- 141) Maszczyk A, Rocznik R, Czuba M, Zajac A, Waśkiewicz Z, Mikołajec K, Stanula A. 2012. Application of regression and neural models to predict competitive swimming performance. *Perceptual & Motor Skills*, 114(2):610-624.
- 142) Maszczyk A, Zajac A, Ryguła I. 2011. A Neural Network model approach to athlete selection. *Sport Engineering*, 13: 83-93.
- 143) McBride J, Haines T, Kirby T. 2001. Effect of loading on peak power of the bar, body, and system during power cleans, squats, and jump squats. *Journal of Sports Sciences*, 29(11):1215-21.
- 144) McBride M, McCaulley G.O, Cormie P. 2008. Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23:750–757.
- 145) McCaulley G.O, Cormie P, Cavill M.J, Nuzzo J.L, Urbiztondo Z.G, McBride J.M. 2007. Mechanical efficiency during repetitive vertical jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 101:115–123.
- 146) McCullough B.D, Wilson B. 2005. On the accuracy of statistical procedures in Microsoft Excel 2003, *Computational Statistics and Data Analysis*, 49:1244-1252.
- 147) McGill S.M, Chaimberg J, Frost D, Fenwick C. 2010. Evidence of a Double Peak in Muscle Activation to Enhance Strike Speed and Force: An Example with Elite Mixed Martial Arts Fighters. *The Journal Strength & Conditioning Research*, 24:348-357.
- 148) McGill S.M. 2010. Core training: evidence translating to better performance and injury prevention. *Strength & Conditioning Journal*, 32(3):33-46.
- 149) Meylan C, McMaster T, Cronin J, Mohammad N.I, Rogers C, Deklerk M. 2009. Single-leg lateral, horizontal, and vertical jump assessment: Reliability, interrelationships, and ability to predict sprint and change-of-direction performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23:1140–1147.

- 150) Miarka B, Del Vecchio F, Coswig V, Brito C. 2015. Comparisons of Time-motion Analysis of Mixed Martial Arts Rounds by Weight Divisions. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 12:1188-1201.
- 151) Miodrag, Joksimović, Aleksandar, Stevanović, Miloš. 2016. Differences in explosive strength of legs between football and futsal players. *Facta Universitatis: Series Physical Education & Sport*, 14(2):269-10.
- 152) Mirzaei B, Curby D.G, Rahmani-Nia F, Moghadasi M. 2009. Physiological profile of elite Iranian junior freestyle wrestlers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23:2339–2344.
- 153) Moir L.G. 2015. *Muscular strength and power*. Strength and Conditioning A Biomechanical Approach. Burlington USA. 193-234.
- 154) Montes-Mico R, Bueno I, Candel J, Pons A.M. 2000. Eye-hand and eye-foot visual reaction times of young soccer players. *Optometry*, 71(12):775-780.
- 155) Morales A, Ribeiro B, Jorgo F, Mota H. 2015. Correlation between body composition and the performance of vertical jumps in basketball players. *Journal of Exercise Physiology*. 18(15):69-78.
- 156) Mori S, Ohtani Y, Imanaka K. 2002. Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, 21:213-230.
- 157) Mouelhi Guizani S, Bouzaouach I, Tenenbaum G, Ben Kheder A, Feki Y, Bouaziz M. 2006. Simple and choice reaction times under varying levels of physical load in high skilled fencers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(2):344-351.
- 158) Nakamoto H. Mori S. 2008. Effects of stimulus-response compatibility in mediating expert performance in baseball players. *Brain Research*, 4:179–188.
- 159) Neal C.M, Hunter A.M, Brennan L, O'Sullivan A, Hamilton D.L, De Vito G, Galloway S.D. 2013. Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a 572 threshold model in trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, 114(4):461-573 71.
- 160) Nelson C.R, Debold E.P, Fitts R.H. 2014. Phosphate and acidosis act synergistically to depress peak power in rat muscle fibers. *American Journal of Physics*, 307:939-950.
- 161) Neto O.P, Bolander R, Pacheco M.T, Bir C. 2009. Force, reaction time, and precision of Kung Fu strikes. *Perceptual and Motor Skills*, 109:295-303.
- 162) Nicol C, Avela J, Komi PV. 2006. The stretch-shortening cycle: a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Medicine*, 36(11):977-99.

- 163) Nicolay C.W, Walker A.N. 2005. Grip strength and endurance: influences of anthropometric variation, hand dominance, and gender. *International Journal Industrial Ergonomics*, 35(7):605–618.
- 164) Nisiyama M, Ribeiro-do-Valle L.E. Relative performance of the two hands in simple and choice reaction time tasks. 2014. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 47(1):80–89.
- 165) Paavo V, Komi. 2005. Strength and power in sport Vol III of the encyclopedia of sports medicine an IOC Medical Commission Publication. *Blackwell Science*, 23:124-127.
- 166) Pallares J, Gullon L, Muriel X, Diaz A, Izquierdo M. 2010. Physical fitness factors to predict male Olympic wrestling performance. *European Journal of Applied Physiology*, 10:421-431.
- 167) Peacock C,B, Sanders G.J, Antonio J, Silver T.A. 2018. The Reporting of a Multifaceted MixedMartial Arts Strength and Conditioning Program. *Journal of Exercise Physiology*, 21(1):86-5.
- 168) Piliandis T, Kasabalis A, Mantzouranis N , Mavvidis A. 2012. Start reaction time and performance at the sprint events in the Olympic Games. *Kinesiology*, 44:67–72.
- 169) Ritesh M, Karia, Tejas P, Ghuntla, Hemant B, Mehta, Pradnya A, Gokhale, Chinmay J, Shah. 2012. Effect Of Gender Difference On Visual Reaction Time: A Study On Medical Students Of Bhavnagar Region, *IOSR Journal of Pharmacy*, 2(3):452-54.
- 170) Roi G.S, Pittaluga I. 1997. Time-motion analysis in the women's sword fencing. W: 4 *IOC Congress on Sport Sciences*, 22-25.
- 171) Ruchan I, Zait A, Mustafa K, Ibrahim S, Fatih M. 2016. The effect of fatigue in elite young female wrestlers upon balance performance and reaction time. *Biomedical Research*, 27(4):1166-1170.
- 172) Ruddock A, Hembrough D. 2018. *BOXING-Strength and Conditioning for Professional Boxing*. Handbook of Strength and Conditioning: Sport-specific Programming for High Performance, 2:384-399.
- 173) Ruivo R, Pezarat-Correia P. Carita A.I. 2012. Elbow and shoulder muscles strength profile in judo athletes. *Isokinetics & Exercise Science*, 20(1):41-5.
- 174) Rynkiewicz M, Rynkiewicz T, Zurek,P, Ziemann E. 2013. Asymmetry of muscle mass distribution in tennis players. *Trends of Sports Science*, 1(20):47–53.

- 175) Saraiva A.R, Borba-Pinheiro C.J, Reis V.M, Bitencourt da Silva J, Drigo A.J, Mataruna-Dos-Santos L.J, Novaes J.S. 2017. Order of strength exercises on the performance of judo athletes. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte dic*, 17(68):605-13.
- 176) Savelsbergh G.J.P, Williams A.M, Van der Kamp J, Ward P. 2005. Anticipation and visual search behavior in expert soccer goalkeepers. *Ergonomics*, 48.
- 177) Schick M, Brown L.E, Coburn J.W, Beam W.C, Schick E, Dabbs N.C. (2010). Physiological profile of mixed martial art athletes. *Medicina Sportiva*. 14(4):182-187.
- 178) Schmidt W.D, Piencikowski C.L, Vandervest R.E. Effects of competitive wrestling season on body composition, strength, and power in national collegiate athletic association division III college wrestlers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19: 505–508, 2005
- 179) Schmidbleicher D. 1992. *Training for power events*. W: P.V Komi (Ed.),The Encyclopediadia of Sports Medicine. Oxford UK. Blackwell. Strength and Power in Sport, 3:169-179.
- 180) Siewe, J, Rudat, J, Rollinghoff M, Schlegel U.J, Eysel P, Michael J.W. 2011. Injuries and overuse syndromes in powerlifting. *International Journal of Sports Medicine*, 32:703-711.
- 181) Slimani M, Chamari K, Miarka B, Del Vecchio F.B, Chéour F. 2016. Effects of Plyometric Training on Physical Fitness in Team Sport Athletes: A Systematic Review. *Journal of Human Kinetics*, 53:231-47.
- 182) Snarska A. 2005. *Statystyka, Ekonometria, Prognozowanie. Ćwiczenia z Excelem*. Wydawnictwo Placet, Warszawa.
- 183) Soriano M.A, Jiménez-Reyes P, Rhea M.R, Marín P.J. 2015. The Optimal Load for Maximal Power Production During Lower-Body Resistance Exercises: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 45(8):1191–1205.
- 184) Sowa-Lewandowska K. 2012. ABC wysiłku fizycznego. *Dostępny w:[<http://laboratoria.net/arttykul/12716.html>]*.
- 185) Sozański H, Witczak T, Starzyński. 1999. *Podstawy treningu szybkości*, Warszawa.
- 186) Spiteri T, Cochrane J.L, Nimphius S. 2013. The Evaluation of a New Lower-Body Reaction Time Test, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1):174–180.
- 187) Spradley B.D, Crowley K.R, Tai C.Y. 2012. Ingesting a pre-workout supplement containing caffeine, B-vitamins, amino acids, creatine, and beta-alanine before exercise

- delays fatigue while improving reaction time and muscular endurance. *Nutrition & Metabolism*, 9:28.
- 188) Spratford W, Campbell R. 2017. Postural stability, clicker reaction time and bow draw force predict performance in elite recurve archery. *European Journal of Sport Science*, 17(5):539-549.
- 189) Starkes J.L, Ericsson K.A. 2003. *Expert performance in sports*. Champaign: Human Kinetics.
- 190) Staron R.S, Hagerman F.C, Hikida R.S, Murray T.F, Hostler D.P, Crill M.T, Ragg K.E, Toma K. 2000. Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 48 623–629.
- 191) Sterkowicz S, Jaworski J, Lech G, Pałka T, Sterkowicz-Przybycień K, Bujas P, Pięta P, Mościński Z. 2016. Effect of acute effort on isometric strength and body balance: trained vs. untrained paradigm. *Plos One*, 11(5):1–16.
- 192) Sterkowicz S, Lech G, Blecharz J. 2010. Effects of laterality on the technical/tactical behavior in view of the results of judo fights. *Archives of Budo*, 6:173–177.
- 193) Sterkowicz S, Lech G, Sterkowicz-Przybycień K, Chwała W, Ambroży T, Pałka T. 2018. Relationship of maximal isometric torque produced in flexors and extensors rate to technique by judo athletes. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 20(2):65-71.
- 194) Sterkowicz-Przybycień K, Franchini, E. 2013. Demographic profile of combat sports athletes: A comparative analysis between genders and competitive achievement in London 2012. *Archives of Budo*, 9:149-159.
- 195) Stone M.H, O’Bryant H.S, McCoy L, Coglianese R, Lehmkuhl M, Schilling B. 2003. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17:140–147.
- 196) Stone M.H, Stone M, Sands WA. 2007. *Principles and Practice of Strength Training*. Champaign. Human Kinetics, 241-257.
- 197) Stone M.H, Stone M.E, Sands W.A. 2007. *Principles and Practice of Resistance Training*. Champaign. Human Kinetics.
- 198) Suchomel T, Moir G, Lamont H. 2015. Understanding Vertical Jump Potentiation: A Deterministic Model. *Sports Medicine*. 46(6):809-826.
- 199) Szafraniec R, Samołyk A, Wiązek W, Szczuka E. 2012. Accuracy and time of reaction after intermittent exercise of maximal intensity. *Polish Journal of Sports Medicine*, 28(4):257-259.

- 200) Szopa J, Mleczko E, Żak S. 1996. *Podstawy Antropomotoryki*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa – Kraków, 72-90.
- 201) Taber Ch, Bellon Ch, Abbott H, Bingham A. 2016. Roles of Maximal Strength and Rate of Force Development in Maximizing Muscular Power February, *Strength and Conditioning Journal*, 38(1):71-78.
- 202) Tácito P, Souza-Junior, Bernardo N, Ide, Jeffer E. Sasaki, Rafael F, Lima Cesar C.C, Abad R.D, Leite M.P, Barros A, Utter C. 2015. Mixed Martial Arts: History, Physiology and Training Aspects. *The Open Sports Science Journal*, 8:1-7.
- 203) Thomas G.A, Kraemer W.J, Kennett M.J, Comstock B.A, Maresh C.M, Denegar C.R, Volek J.S, Hymer W.C. 2011. Immunoreactive and bioactive growth hormone responses to resistance exercise in men who are lean or obese. *Journal of Applied Physiology*, 111:465-472.
- 204) Thomas C, Jones P.A, Rothwell J, Chiang C.Y, and Comfort P. 2015. An investigation into the relationship between maximum isometric strength and vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29:2176–2185.
- 205) Tidow G. 1990. Aspects of strength training in athletics. *New Studies In Athletics*, 1:93–110.
- 206) Toshiyuki O, Masahiro H, Masako H, Yasuhiro S, Wataru T, Marie O, Shigeki N. 2015. Physical Fitness Profile and Differences Between Light, Middle, and Heavy Weight-Class Groups of Japanese Elite Male Wrestlers. *International Journal of Wrestling Science*, 5(1).
- 207) Trzaskoma Z. 2001. *Kompleksowe zwiększanie siły mięśniowej*. Biblioteka Trenera, Warszawa.
- 208) Tsimahidis K, Galazoulas C, Skoufas D, Papaiakevou G, Bassa E, Patikas D, Kotzamanidis C. 2010. The effect of sprinting after each set of heavy resistance training on the running speed and jumping performance of young basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24:2102–2108.
- 209) Tsiros D.M, Coates A.M, Howe P.R.C, Grimshaw P.N, Walkley J, Shield A. 2013. Knee extensor strength differences in obese and healthy-weight 10-13 year olds. *European Journal of Applied Physiology*, 113(6):1415-22.
- 210) Turner A, Jeffreys I. 2010. The Stretch-Shortening Cycle: Proposed Mechanisms and Methods for Enhancement. *Strength and Conditioning Journal*, 32(4):87-99.
- 211) Turner A.N. 2009. Strength and Conditioning for Muay Thai Athletes. *Strength and Conditioning Journal*, 31(6).

- 212) Turner A.N, Jeffreys I. 2010. The Stretch-Shortening Cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(4):87-99.
- 213) Turner A.P, Unholz C.N, Potts N, Coleman S.G. 2012. Peak power, force, and velocity during jump squats in professional rugby players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6):1594–1600.
- 214) Valerio G, Gallarato V, D’Amico O, Sticco M, Tortorelli P, Zito E. 2014. Perceived Difficulty with Physical Tasks, Lifestyle, and Physical Performance in Obese Children. *BioMed Research International*, 1-7.
- 215) Vesterinen V, Hakkinen K, Laine T, Hynynen E, Mikkola J, Nummela A. 2016. Predictors of individual adaptation to high-volume or high-intensity endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(8):885-93.
- 216) Victor C, Da Silva Ma, Rio A, De Moura S, Moacir M, Emerson F, Gustavo R. Da Mota. 2015. Optimal Load for the Peak Power and Maximal Strength of the Upper Body in Brazilian Jiu-Jitsu Athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6):1616-21.
- 217) Welford A.T. 1977. *Motor performance*. W: J. E. Birren and K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging*. Van Nostrand Reinhold. New York, 450-496.
- 218) Willardson J.M. 2013. *Developing the core*. *Sports performance series*. National strength and conditioning association. Human Kinetics, 224.
- 219) Wollin, Martin, Thorborg, Kristian, Pizzari, 2018. Tania Monitoring the effect of football match congestion on hamstring strength and lower limb flexibility: Potential for secondary injury prevention. *Physical Therapy in Sport*, 29:14-15.
- 220) Wood J.M, Abernethy B. 1997. An assessment of the efficacy of sports vision training programs. *Optometry and Vision Science*, 74:646-659.
- 221) Woodward TW. 2009. A review of the effects of martial arts practice on health. *WMJ*, 108(1):40-3.
- 222) Yamauchi J, Ishii N. 2007. Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3):703–709.
- 223) Yelder P, Gutnik V, Kobrin V, Leaver J, Guo W. 2008. Asymmetry of the viscoelastic properties of the skin and muscle compartments of the left and right hands. *Biofizika*, 52(2):318-23.

- 224) Zając A, Chmura J. 2016. *Współczesny System Szkolenia w Zespołowych Grach Sportowych*. Akademia Wychowania Fizycznego w Katowicach.
- 225) Zając A, Wilk M, Poprzęcki S, Bacik B, Rzepka R, Mikołajec K, Nowak K. 2010. *Współczesny Trening Siły Mięśniowej*. Wydanie II. Akademia Wychowania Fizycznego w Katowicach.
- 226) Zatsiorsky V.M, Kraemer W.J. 2006. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL. Human Kinetics, 33–39.
- 227) Ziv G, Lidor R. 2010. Vertical jump in female and male basketball players-A review of observational and experimental studies. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13:332-339.
- 228) Żukowski N. 1978. Zależność wyników sportowych w judo od czasów reakcji prostej. *Sport Wyczynowy*, 1.
- 229) Żukowski N. 1995. Czas reakcji w sytuacji zaskoczenia. *Sport Wyczynowy*, 11(12):21-26.

Streszczenie

Dynamiczny rozwój mieszanych sztuka walk i jego wzrastająca popularność, wpłynęła na zainteresowanie osób ze środowiska zajmującego się naukami o sporcie i treningu sportowym, ma to swoje odzwierciedlenie w licznych badaniach dotyczących wpływu wysiłku fizycznego na organizm ludzki w obrębie zawodników MMA.

Wysiłki w MMA charakteryzują się zmienną intensywnością wysiłku, a struktura dyscypliny wymaga zarówno wysokiego poziomu siły i mocy mięśniowej jak i szeroko pojętej wytrzymałości (Bounty i wsp. 2013, Forbes i wsp. 2009). Ponadto wyżej wymienione zdolności motoryczne w warunkach walki są istotnie skorelowane z czasem reakcji, który odgrywa ważną rolę w sportach walki i może być zdefiniowany jako czas, w którym zawodnik reaguje na dany bodziec (Neto i wsp. 2009, Bainco i wsp. 2011). W MMA czas reakcji zależy od wizualnego bodźca wywołanego działaniem przeciwnika (atak, obrona). Podczas walki zawodnik musi w tym samym czasie działać ofensywnie jak i defensywnie.

Zarówno w krajowej jak i w światowej literaturze istnieje wiele doniesień na temat poziomu siły i mocy mięśniowej zawodników sportów walki (Alm i wsp. 2013, Lenetsky i wsp. 2013). W wielu dyscyplinach sportu poziom siły i mocy mięśniowej prawej i lewej kończyny dolnej jest zbliżony, jednakże charakter MMA różnicuje pod tym względem obie kończyny ze względu na przyjętą pozycję podstawową (wykroczone-rozkroczone) oraz wyuczony wzorzec ruchu. Mając na uwadze powyższe zmienne, przeprowadzona analiza osobno dla dolnej kończyny zakroczonej i wykroczonej, pozwoliła określić różnice występujące między nimi (Loffing 2015).

W badaniach wzięli udział zawodnicy MMA w wieku seniora. Zostały one przeprowadzone w okresie startowym. System doboru zawodników do badań miał charakter mieszany. Wzięło w nim udział 45 zawodników MMA z minimum 10 letnim stażem treningowym. Badanych podzielono na trzy kategorie wagowe (lekka: 66-70 kg; średnia: 77-84 kg i ciężka powyżej 93kg). Klasyfikacja zawodników została opracowana na podstawie Rankingu Polskich Zawodników MMA. W toku badań wyeliminowano 3 zawodników z powodu urazów i kontuzji. Do każdej kategorii wagowej zakwalifikowano po 14 zawodników.

Badania przeprowadzono w Pracowni Siły i Mocy Mięśniowej AWF Katowice z wykorzystaniem urządzenia pneumatycznego Keiser Leg Press (Keiser, Fresno, CA, USA). Przyrząd umożliwia pomiar siły i mocy mięśniowej niezależnie dla obu kończyn dolnych z jednoczesną rejestracją czasu uzyskania tych zmiennych. Stosując przyrząd Keiser Leg Press

z modułem diagnostycznym *A420* można zmierzyć poszczególne zmienne w całym zakresie ruchu. Wspomniane wyżej oprogramowanie, pozwala na indywidualną rejestrację liczby powtórzeń ćwiczenia następujących zmiennych: moc szczytową [W], czas reakcji [s], poziom siły, w której została uzyskana moc maksymalna [N], poziom siły maksymalnej (1RM). Moc została wyrażona w wartościach absolutnych i w przeliczeniu na *FFM*. Pomiar masy i składu ciała został przeprowadzony na czczo, w godzinach rannych na urządzeniu pomiarowym InBody 370 działającym w oparciu o impedancję elektryczną.

Następnie w celu rozwiązania problemu badawczego zostały zastosowane analizy empiryczne oraz eksploracyjne o charakterze porównawczym i modelowym (Maestas i Preuhs 2000, McCullough i Wilson 2005, Maszczyk i wsp. 2011, 2012, 2013).

Analiza porównawcza wartości mocy szczytowej u zawodników zaawansowanych w kategorii wagowej 66-77 kg wykazała, iż największą moc szczytową zawodnicy uzyskali przy 50% obciążeniu dla kończyny dolnej wykroczonej i przy 60% obciążeniu zewnętrznym dla kończyny dolnej zakroczonej. Natomiast zawodnicy średnio zaawansowani, w tej samej kategorii wagowej, generowali największą moc szczytową przy 60% obciążeniu zewnętrznym dla kończyny dolnej wykroczonej oraz przy 30% dla zakroczonej.

Otrzymane wyniki wskazują na wyższe wartości mocy szczytowej kończyny zakroczonej, we wszystkich kategoriach wagowych oprócz grupy średnio zaawansowanych zawodników 77-84 kg. Ponadto najwyższe wartości mocy szczytowej w przeliczeniu na *FFM* osiągają zawodnicy zaawansowani w kategorii 66-70 kg. Najlepszy czas reakcji uzyskiwany była przy obciążeniu 10% RM. Zawodnicy MMA generują najwyższą moc szczytową przy obciążeniu 50-70% RM, zarówno dla dolnej kończyny zakroczonej jak i wykroczonej.

Summary

The dynamic development of the mixed martial arts and its growing popularity, influenced the interest of the sports science community and sports training, reflected in many studies on the impact of physical activity on the human body within MMA athletes.

Efforts in MMA are characterized by variable intensity of effort, and the structure of the discipline requires a high level of strength and muscle power as well as broadly understood endurance (Bounty et al. 2013, Forbes et al. 2009). Moreover, the above mentioned motor skills in combat conditions are significantly correlated with reaction time, which plays an important role in combat sports and can be defined as the time during which a competitor reacts to a given stimulus (Neto et al. 2009, Bainco et al. 2011). In MMA the reaction time depends on the visual stimulus caused by the opponent's action (attack, defence). During the fight the competitor must act both offensively and defensively at the same time.

Both in the national and world literature there are many reports on the level of strength and muscle power of fight sportsmen (Alm et al. 2013, Lenetsky et al. 2013). In many sports the level of strength and muscle power of the lower limb is similar, however, the character of MMA differs in this respect between the two limbs due to the assumed basic position and the learned movement pattern. Taking into account the above variables, the analysis conducted separately for the lead and trail legs will allow to determine the differences between them (Loffing 2015).

MMA athletes of senior age took part in the study. The research was carried out in the starting period. The system of selecting competitors for the study was mixed. The research involved 45 MMA players with at least 10 years of training experience. The respondents were divided into three weight categories (light: 66-70 kg; medium: 77-84 kg and heavy over 93 kg). The classification of the competitors was developed on the basis of the Ranking of Polish MMA Competitors. During the research 3 competitors were eliminated due to injuries. To each weight category 14 competitors were qualified.

The tests were carried out in the Laboratory of Muscle Strength and Power AWF Katowice with the use of Keiser Leg Press pneumatic device (Keiser, Fresno, CA, USA). The device enables the measurement of muscle strength and power independently for both lower limbs with simultaneous recording of the speed of obtaining these variables. Using the Keiser Leg Press with the A420 diagnostic module, individual variables can be measured across the entire range of motion. The above mentioned software allows individual recording of the

number of repetitions of the following variables: maximum power [W], reaction time [s], level of force at which maximum power [N] was obtained, level of maximum force (1RM). The power will be expressed in absolute values and converted to fat free mass (FFM). Weight and body composition were measured fasting in the morning on the InBody 370 measuring device based on electrical impedance.

Then, in order to solve the research problem, empirical and exploratory analyses of a comparative and model character were applied (Maestas and Preuhs 2000, McCullough and Wilson 2005, Maszczyk et al. 2011, 2012, 2013).

Comparative peak power analysis of advanced athletes in the weight category 66-77 kg showed that the highest peak power was achieved at 50% load for the lead limb and at 60% external load for the trail limb. Meanwhile, intermediate competitors in the same weight category generated the highest peak power at 60% of the external load for the lead leg and 30% for the trail leg. Moreover, the highest values of peak power per fat-free body weight are reached by advanced competitors of the 66-70 kg category.