

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

Aleksander Matusiński

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

**Efektywność wzmocnienia poaktywacyjnego (PAP)
w kształtowaniu zdolności szybkościowych sprinterów**

**Promotor:
Prof. dr hab. Adam Zając**

Katowice 2022

*Serdeczne podziękowania
składam na ręce mojego promotora Prof. dr hab. Adama Zajęca,
którego wsparcie i zaangażowanie było kluczowym elementem podczas powstawania
mojej pracy.
Pragnę podziękować też wszystkim Przyjaciółom z
Katedry Teorii i Praktyki Sportu Człowieka za życzliwość i okazaną pomoc.*

Spis treści

1. WPROWADZENIE.....	4
1.1. Wzmocnienie po-aktywacyjne (PAP) i po-aktywacyjny wzrost sprawności fizycznej (PAPE)	5
1.2. Problem badawczy w świetle literatury	7
2. PRZEDMIOT ROZPRAWY	8
2.1. Cel badań, pytania badawcze i hipoteza	8
2.2. Osiągnięcie Naukowe	9
2.3. Zastosowane w osiągnięciu naukowym narzędzia analizy statystycznej.....	15
3. PODSUMOWANIE I IMPLIKACJE DO PRAKTYKI.....	16
4. PIŚMIENNICTWO	19

1. WPROWADZENIE

Szybkość to hybrydowa zdolność motoryczna, uwarunkowana zarówno sprawnością układu nerwowego jak i aspektami metabolicznymi (Iskra i wsp. 2015). Jest to zdolność do przemieszczania się całego ciała lub jego części w możliwie najkrótszym czasie. U sprintera odnosi się do przemieszczania całego ciała z maksymalną szybkością biegową.

Szybkość odgrywa decydującą rolę w wielu dyscyplinach sportowych, dlatego kształtowanie i rozwój tej zdolności należy do priorytetów procesu treningowego. Różnice między wynikami badań naukowych a praktyką wynikają często z faktu prowadzenia tych pierwszych na osobach nieuprawiających sportu wyczynowo lub na zawodnikach o niskim poziomie sportowym (Kraemer i wsp. 2002). W przeciwieństwie do wielu badań i prac naukowych dotyczących światowej klasy sportowców wytrzymałościowych (Tønnessen i wsp. 2014, Tønnessen i wsp. 2015, Solli i wsp. 2017), w literaturze trudniej znaleźć publikacje oparte na badaniach empirycznych z udziałem elitarnych sprinterów (Haugen i wsp. 2019b).

W ostatnich latach rozwój biegów sprinterskich spowodowany jest prawdopodobnie lepszą identyfikacją talentu sportowego, dietetyczno-suplementacyjnym wspomaganie oraz przede wszystkim wykorzystaniem nowoczesnych technologii treningowych, monitorujących i regenerujących (Haugen i wsp. 2019b). Takim urządzeniem, dającym w czasie rzeczywistym wiele informacji zwrotnych na temat siły, mocy, prędkości i czasu biegu jest trener Sprint 1080. Sprint 1080 umożliwia bieg z prędkością supramaksymalną wykorzystując siłę ciągu oraz bieg z oporem dostosowanym odpowiednio do masy ciała, poziomu siły mięśniowej i zadania ruchowego (Matusiński i wsp. 2021). Dane generowane na bieżąco przez Sprint 1080 pozwalają na dokładną analizę biegu, informując o czasie pokonania określonego odcinka biegu, czasie uzyskania i utrzymania maksymalnej prędkości, o średniej i szczytowej mocy oraz sile generowanej przez zawodnika w danej fazie biegu. Umożliwia też regulację obciążenia w momencie zmiany lub utraty prędkości.

Sprint z oporem jest powszechnie stosowaną metodą w celu poprawy fazy akceleracji i obejmuje następujące formy: sprint pod górę, sprinty ze spadochronem, sprinty z sankami lub z wykorzystaniem nowoczesnych urządzeń takich jak SPRINT 1080. Biegi oporowe z sankami są najczęściej opisywanym środkiem treningowym siły specjalnej w literaturze naukowej. Głównym celem biegów z oporem jest rekrutowanie większej liczby włókien mięśniowych poprzez zwiększenie aktywacji nerwowej i wydłużenie kroku biegowego (Zafeiridis i wsp. 2005, Murray i wsp. 2015). Holowanie może być wykorzystywane w celu uzyskania natychmiastowych zmian nerwowo-mięśniowych, lub w celu uzyskania trwałych zmian adaptacyjnych w długości kroku, poprawiając mechanikę biegu w fazie przyspieszenia

(Alcazar wsp. 2018). Na podstawie literatury można wyciągnąć wniosek, że trening sprinterski z oporem może być skuteczniejszym narzędziem do poprawy siły mięśniowej i generowanej mocy podczas biegu w porównaniu z tradycyjnym treningiem siły mięśniowej (Petraikos i wsp. 2016, Cross i wsp. 2018). Jest to związane z faktem, że biegowe ćwiczenia oporowe symulują wzorzec ruchowy i charakter pracy mięśniowej podczas sprintu (Cross i wsp. 2017, Morin i wsp. 2017, Cross i wsp. 2018). Według Crossa i wsp. (2018), sprint ze wspomaganiami np. bieg z góry, wykorzystanie ciągu ekspandorów, lub zastosowanie odpowiednich trenażerów jest powszechnie wykorzystywane do poprawy maksymalnej prędkości biegu. Głównym celem biegów ze wspomaganiami jest zwiększenie kadencji (Mero i wsp. 1986, Cissik i wsp. 2005, Rakovic i wsp. 2018). Wzrost prędkości maksymalnej następuje nie tylko poprzez zwiększenie częstotliwości kroków, ale także poprzez skrócenie czasu kontaktu z podłożem i wyższe prędkości kątowe bioder. Clark i wsp. (2009) zaobserwowali, że wielkość siły holowania wpływa na technikę biegu, dlatego siła ciągu powinna być zindywidualizowana, aby uniknąć istotnych zmian w technice biegu.

1.1. Wzmocnienie po-aktywacyjne (PAP) i po-aktywacyjny wzrost sprawności fizycznej (PAPE)

Pierwsze doniesienia dotyczące wzmocnienia po-aktywacyjnego pochodzą z lat czterdziestych XX wieku, kiedy to oceniano laboratoryjnie skurcze tężcowe po stymulacji elektrycznej (Ramsey i wsp. 1941). Zjawisko PAP zostało spopularyzowane w latach 80-tych XX wieku. Pomimo, iż w ostatnich 30-40 latach przeprowadzono liczne badania związane ze wzmocnieniem po-aktywacyjnym, na przedstawicielach różnych dyscyplin sportu, z wykorzystaniem odmiennych narzędzi pomiarowych nie stwierdzono jednoznacznie czy PAP w klasycznym rozumieniu odpowiada za wzrost sprawności w eksplozywnych czynnościach ruchowych i czy podstawą tego zjawiska są mechanizmy centralne czy obwodowe. Dlatego też Cuenca-Fernandez (2017) zaproponował pojęcie „post activation performance enhancement” czyli PAPE, co należy tłumaczyć jako „po-aktywacyjne wzmocnienie sprawności fizycznej” wywołane wolicjonalnym submaksymalnym lub maksymalnym skurczem mięśniowym w odróżnieniu od stymulacji elektrycznej.

Efekt wzmocnienia po-aktywacyjnego można osiągnąć w treningu kompleksowym poprzedzając ćwiczenie eksplozywne (skok, sprint, rzut) ćwiczeniem oporowym, wykonanym z dużym obciążeniem (70-85 % 1RM). Jest on uzależniony od kilku czynników, które regulują pobudzenie i zmęczenie, wpływając w konsekwencji na poziom sprawności. Wydaje się, iż najważniejszym elementem metodyki treningu kompleksowego jest rodzaj ćwiczenia aktywującego, które powinno być jak najbardziej zbliżone swoją strukturą do czynności

eksplozywnej (Guggenheimer i wsp. 2009). Efektywność PAP i PAPE zależy od wielu elementów metodyki treningu kompleksowego, które przedstawiono na ryc. nr 1.



Ryc. 1. Czynniki modyfikujące zjawisko PAP i PAPE i ich wpływ na wynik eksplozywnych czynności ruchowych.

1.2. Problem badawczy w świetle literatury

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat przedstawiono liczne badania wskazujące, iż aktywacja mięśniowa ćwiczeniami o submaksymalnej lub maksymalnej intensywności pozwala na natychmiastowy wzrost sprawności fizycznej, szczególnie w odniesieniu do eksplozywnych czynności ruchowych (Healy i Comyns 2017). Zjawisko to zwane poaktywacyjnym wzmocnieniem (PAP) lub bardziej współcześnie poaktywacyjnym wzmocnieniem sprawności fizycznej (PAPE) zostało istotnie wdrożone w procedury treningowe i startowe w wielu dyscyplinach sportu. Aby protokół PAP był efektywny, bodziec aktywujący musi wyzwolić aktywację oraz zmęczenie (Rassier i Macintosh 2000). Pomimo, iż zjawiska te występują jednocześnie, zmęczenie zanika szybciej natomiast pobudzenie poaktywacyjne utrzymuje się odpowiednio dłużej. Jeżeli przerwa wypoczynkowa jest, zatem odpowiednio długa stan zmęczenia powoli ustępuje natomiast po kilku minutach zaczyna dominować stan pobudzenia, który utrzymuje się najczęściej do kilkunastu minut (Tillin i Bishop 2009). PAP możliwy jest, zatem tylko wtedy, kiedy stan pobudzenia mięśnia i układu nerwowego istotnie przewyższa stan zmęczenia (Bevan i wsp. 2010).

W odniesieniu do szybkości biegowej istnieje bardzo duża ilość badań eksperymentalnych z wykorzystaniem zjawiska PAP, jednakże większość z nich dotyczy gier zespołowych (McBride i wsp. 2005, Chatzopoulos i wsp. 2007). Relatywnie mało jest badań związanych z efektem PAP przy udziale wysokiej klasy sprinterów (Lim i Kong 2013). Badania te rozpatruje się głównie w odniesieniu do ćwiczenia aktywującego. Zdecydowanie najwięcej badań empirycznych odnosi się do przysiadów ze sztangą oraz ich wpływie na różne odcinki biegu sprinterskiego.

Zdecydowanie najmniej jest badań związanych z mechanizmem PAP i szybkością biegową przy wykorzystaniu biegu z oporem, jako ćwiczenia aktywującego. Wydaje się to nieuzasadnione gdyż istnieją doniesienia mówiące, iż efekt PAP jest tym większy im ćwiczenie aktywujące jest bardziej zbliżone biomechanicznie do ćwiczenia eksplozywnego. Bieg z oporem wydaje się tego klasycznym przykładem, jednakże istnieje wiele różnych sposobów aplikowania dodatkowego oporu podczas tego rodzaju ćwiczenia. Bieg pod górę, ciąg sanek, spadochron oporowy lub kamizelka dociążająca, to niektóre przykłady aplikowania dodatkowego oporu podczas biegu sprinterskiego. Istnieją także bardziej nowoczesne przyrządy do aplikowania oporu podczas biegu, takie jak wykorzystany w niniejszych badaniach, inteligentny system holowania Sprint 1080 (Gepfert i wsp. 2020).

W świetle przedstawionych danych wydaje się w pełni uzasadnione podjęcie problematyki efektywności mechanizmu PAP u sprinterów po aktywacji biegiem z oporem i

w odciążeniu na szybkość biegową mierzoną na różnych dystansach, od 10 do 50m.

2. PRZEDMIOT ROZPRAWY

2.1. Cel badań, pytania badawcze i hipoteza

Celem badań była ocena efektywności wzmocnienia poaktywacyjnego (PAP) w kształtowaniu szybkości biegowej sprinterów. Do realizacji tego celu przeprowadzono trzy eksperymenty z wykorzystaniem zawodników i zawodniczek uprawiających wyczynowo sprint lekkoatletyczny. Dwa eksperymenty dotyczyły bezpośrednio efektywności ćwiczeń aktywujących, a więc wywołujących efekt wzmocnienia poaktywacyjnego, natomiast trzeci eksperyment miał na celu określenie optymalnej wartości obciążenia zewnętrznego wykorzystywanego podczas aktywacji biegiem z oporem w celu uzyskania największej mocy przy minimalnym spadku prędkości biegu. Wyniki tych badań wykorzystano w dozowaniu wielkości obciążenia zewnętrznego podczas pozostałych eksperymentów. Przystępując do realizacji zaplanowanych eksperymentów postawiono 4 pytania badawcze oraz sformułowano jedną hipotezę.

1. Czy aktywacja biegiem z oporem pozwala wyzwolić efekt PAP i uzyskać natychmiastową poprawę wyników szybkości startowej i absolutnej?
2. Jaka wartość oporu zewnętrznego wykorzystywana podczas ćwiczeń aktywacyjnych cechuje największą efektywność w odniesieniu do szybkości startowej i absolutnej?
3. Jaka jest optymalna wartość obciążenia podczas biegu z oporem w celu rozwoju mocy przy minimalnym spadku prędkości biegu?
4. Jaka jest efektywność PAP podczas aktywacji biegiem w odciążeniu z prędkością supramaksymalną w porównaniu z aktywacją biegiem z oporem?

Hipoteza: Aktywacja biegiem z oporem, przy optymalnej wielkości oporu zewnętrznego wywołuje efekt poaktywacyjnego wzmocnienia, pozwalając na natychmiastowy wzrost szybkości biegowej.

2.2. Osiągnięcie Naukowe

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest osiągnięcie naukowe przedstawione w postaci trzech monotematycznych prac opublikowanych w czasopismach znajdujących się na liście JCR oraz MEiN. Prace te dotyczą efektywności wzmocnienia poaktywacyjnego (PAP) w kształtowaniu zdolności szybkościowych sprinterów. Łączna wartość punktowa opublikowanych prac wynosi: **IF = 7.372 ; MEiN =310 pkt.**

Prace zostały przedstawione pod wspólnym tematem: Efektywność wzmocnienia poaktywacyjnego (PAP) w kształtowaniu zdolności szybkościowych sprinterów.

Wykaz prac opublikowanych:

1. **Aleksander Matusiński**, Przemysław Pietraszewski, Michał Krzysztofik, Artur Gołaś, „*The Effects of Resisted Post-Activation Sprint Performance Enhancement in Elite Female Sprinters*”. *Frontiers in Physiology* Vol. 12 (2021), s1-9 [**IF=4.566**].
2. **Aleksander Matusiński**, Artur Gołaś, Adam Zając, Magdalena Nitchyruk, Adam Maszczyk “*Optimizing the load for peak power and peak velocity development during resisted sprinting*”. *Physical Activity Review* Vol. 9 nr 1 (2021). [**MEiN =70 pkt.**].
3. **Aleksander Matusiński**, Artur Gołaś, Adam Zając, Adam Maszczyk. „*Acute effects of resisted and assisted locomotor activation on sprint performance*”. *Biology of Sport* 2022; 39(4):1049–1054; <https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.108706>. [**IF=2.806**].

Trzy w/w prace dotyczą oceny efektywności wykorzystania wzmocnienia poaktywacyjnego (PAP) w kształtowaniu zdolności szybkościowych sprinterów. Do pomiarów wykorzystano urządzenie pomiarowo-treningowe SPRINT 1080, które umożliwia dobór wielkości oporu oraz daje informację zwrotną na temat maksymalnych i średnich wartości siły, mocy, czasu oraz prędkości generowanych przez zawodnika podczas biegu. System inteligentnego holowania wykorzystywany w SPRINT 1080 umożliwia bieg z kontrolowanym oporem lub z kontrolowanym obciążeniem w przypadku sprintów z supramaksymalną intensywnością.

W pierwszym badaniu, opisanym w pracy nr. 1, opublikowanej w periodyku *Frontiers in Physiology* podjęto próbę ustalenia optymalnej wartości obciążenia podczas biegu z

oporem w celu uzyskania efektu wzmocnienia poaktywacyjnego i poprawy maksymalnej szybkości biegowej. Wykorzystując 3 różne wartości obciążenia zewnętrznego podczas specjalistycznych ćwiczeń aktywujących oceniano efekt PAP podczas biegu lotnego na dystansie 20m. W eksperymencie wzięło udział 10 sprinterek uczestniczących w szkoleniu centralnym. Badanie przeprowadzono w Centralnym Ośrodku Sportu podczas 10-dniowego zgrupowania kadry narodowej, na bieżni krytej o nawierzchni syntetycznej. Badania odbywały się w poniedziałek, środę, piątek i niedzielę między godziną 10 a 12. W poniedziałek zawodniczki zostały poddane pomiarom antropometrycznym (masa i wysokość ciała), zostały zaznajomione z metodologią badań i wykonały biegi próbne z obciążeniem 5, 10, 15% masy ciała. Specjalistyczne ćwiczenia aktywacyjne, jak i również próby biegowe na dystansie 20m zawodniczki wykonywały w kolcach lekkoatletycznych. Testy szybkości maksymalnej były poprzedzone specjalną rozgrzewką sprinterską z zachowaniem indywidualnych procedur treningowo-startowych. By uniknąć nakładającego się zmęczenia zastosowano 5 minutową przerwę wypoczynkową między poszczególnymi biegami i dzień przerwy po każdym dniu testów. Protokół badań był identyczny w kolejnych dniach, co do ilości odcinków i przerw wypoczynkowych, jednakże różnił się wielkością stosowanego oporu (5, 10, 15% masy ciała). Zawodniczki wykonały dwa 20-metrowe maksymalne sprinty - 1 z podporu, a drugi lotny z 20m nabiegu, a następnie były poddane aktywacji poprzez bieg z oporem (5, 10 lub 15% MC) na odcinku 20m. Po odpowiedniej przerwie wypoczynkowej wykonywano 2 identyczne biegi jak przed aktywacją dwa 20-metrowe maksymalne sprinty - 1 z podporu a 2gi lotny z 20m nabiegu. Biegi lotne były mierzone elektronicznie poprzez system fotokomórek (Witty, Microgate, Bolzano, Italy).

Wyniki:

Czas (s)				
Opór (% masy ciała)	Poziom wyjściowy (95% CI)	PAPE (95% CI)	Wielkość efektu (95% CI)	Relatywny efekt (%)
5%	3.38 ± 0.14 (3.28 to 3.48)	3.37 ± 0.15 (3.26 to 3.47)	-0.07 (-0.94 to 0.81)	-0.5 ± 1.2
10%	3.37 ± 0.14 (3.27 to 3.47)	3.29 ± 0.11* (3.21 to 3.37)	-0.64 (-1.51 to 0.29)	-2.5 ± 1.3
15%	3.36 ± 0.13 (3.27 to 3.45)	3.32 ± 0.09 (3.26 to 3.39)	-0.36 (-1.23 to 0.54)	-1 ± 1.4
Prędkość szczytowa (m/s)				
5%	7.80 ± 0.16 (7.69 to 7.91)	7.92 ± 0.2 (7.78 to 8.07)	0.66 (-0.26 to 1.53)	1.6 ± 2.2
10%	7.86 ± 0.14 (7.76 to 7.96)	8.04 ± 0.13* (7.94 to 8.13)	1.33 (0.31 to 2.24)	2.3 ± 1.5
15%	7.86 ± 0.09 (7.79 to 7.92)	7.87 ± 0.12 (7.79 to 7.96)	0.09 (-0.79 to 0.97)	0.2 ± 1
Siła szczytowa (N)				
5%	51.88 ± 2.9 (49.8 to 53.96)	53.32 ± 2.94 (51.21 to 55.43)	0.49 (-0.42 to 1.36)	2.8 ± 2.1
10%	52.18 ± 1.3 (51.25 to 53.11)	54 ± 2.23 (52.41 to 55.59)	1 (0.03 to 1.88)	3.5 ± 2.3
15%	51.74 ± 1.38 (50.75 to 52.73)	52.01 ± 2.25 (50.4 to 53.62)	0.14 (-0.74 to 1.02)	0.5 ± 2.4
Moc szczytowa (W)				
5%	377.4 ± 17.42 (364.9 to 389.9)	388.4 ± 18.81* (374.9 to 401.8)	0.61 (-0.31 to 1.48)	2.9 ± 2.3
10%	386 ± 11.28 (377.9 to 394.1)	400.6 ± 16.2* (388.9 to 412.2)	1.05 (0.07 to 1.93)	3.8 ± 2.2
15%	378.3 ± 29.32 (357.3 to 399.2)	385.3 ± 34.4 (360.7 to 409.9)	0.22 (-0.67 to 1.09)	2 ± 7.1

Najważniejszym osiągnięciem tych badań było potwierdzenie skutecznej aktywacji poprzez bieg z oporem oraz stwierdzenie najwyższej efektywności tej procedury z oporem wynoszącym 10% masy ciała w odniesieniu do sprintu lotnego na dystansie 20m. Bieg aktywujący z oporem wynoszącym 10% masy ciała wykonany bezpośrednio przed sprintem kontrolnym wpłynął na poprawę wyniku biegu lotnego na 20 m o 4,3%. Ponadto aktywacja biegiem oporowym wpłynęła korzystnie na wzrost prędkości maksymalnej, oraz siły i mocy generowanej podczas sprintu na dystansie 20 m ze startu zatrzymanego w porównaniu z wartościami przed aktywacją.

Głównym celem badania opisanego w pracy nr. 2 i opublikowanej w *Physical Activity Review* Vol. 9 nr. 1 (2021) było ustalenie optymalnej wartości obciążenia podczas biegu z oporem w celu rozwoju mocy, bez istotnych zaburzeń w strukturze ruchu i z minimalnym spadkiem prędkości poruszania się. Wyniki badania potwierdziły, że obciążenie między 8 a 13% masy ciała wydaje się być optymalnym kompromisem pomiędzy wielkością generowanej mocy podczas biegu sprinterskiego a spadkiem prędkości maksymalnej. Zbyt duże obciążenie negatywnie wpływa na kinematykę ruchu i zbyt gwałtownie obniża prędkość biegu, natomiast zbyt mały opór nie pozwala na generowanie wysokich wartości mocy.

Pomiary zostały przeprowadzone po dwóch dniach odpoczynku – w poniedziałek na hali ze sztuczną nawierzchnią, aby zapewnić standardowe warunki pomiarowe. Na 3 dni przed właściwymi pomiarami zawodnicy zostali zapoznani z protokołem badań i z działaniem urządzenia SPRINT 1080. W badaniu wzięło udział 7 sprinterów na poziomie krajowym i międzynarodowym. Wszyscy zawodnicy wykonali sześć 30 metrowych sprintów z wykorzystaniem 5 minutowych przerw wypoczynkowych. Pierwszy bieg był wykonany bez dodatkowego obciążenia, podczas gdy pozostałe były wykonane losowo z obciążeniem 3, 6, 9, 12, 15kg. Zawodnik rozpoczynał bieg ze startu z podporu. Podczas biegów z oporem dokonywano pomiaru czasu [s] oraz parametrów mocy maksymalnej [W], siły maksymalnej [N] i prędkości maksymalnej [m/s].

Wyniki:

Obciążenie	Prędkość [m/s]	Procentowy przyrost prędkości [%]	Moc [W]	Procentowy przyrost mocy [%]
1kg	9.09	0	705.29	0
3kg	8.99	-1.04	756.86	7.31
6kg	8.24	-9.37	926.14	31.32
9kg	7.69	-15.44	1143.86	62.18
12kg	7.12	-21.71	1309.00	85.61
15kg	6.51	-28.40	1399.57	98.44

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż podczas sprintu z oporem wynoszącym 6 kg prędkość maksymalna zmalała o 9,37% podczas gdy poziom generowanej mocy wzrósł o 31,32%. Obciążenie 6kg na urządzeniu Sprint1080 odpowiadało 8% masy ciała. Biorąc pod uwagę poprzednie badania dotyczące biegów z oporem potwierdzono, że obciążenie w przedziale 8 a 13% masy ciała wydaje się optymalne dla poprawy mocy i szybkości startowej.

W badaniu opisanym w pracy nr. 3 i opublikowanym w *Biology of Sport* 2022 podjęto próbę oceny efektywności wzmocnienia poaktywacyjnego po ćwiczeniach biegowych z oporem oraz z odciążeniem przy wykorzystaniu prędkości supramaksymalnych. Badanie zostało przeprowadzone podczas tygodniowego zgrupowania w centrum olimpijskim. By zagwarantować stabilne warunki wykonano je na hali z wykorzystaniem syntetycznej nawierzchni. Eksperyment poprzedzony był okresem przygotowania wszechstronnego i specjalnego. W badaniu wzięło udział 5 zawodników i 6 zawodniczek na poziomie międzynarodowym i krajowym biegających na dystansach 200 i 400m. By uniknąć zmęczenia uczestnicy wykonali lekki trening techniczny na 24 godziny przed eksperymentem. W pierwszym dniu zawodnicy i zostali poinformowani o protokole badań i zaznajomieni z urządzeniem SPRINT 1080. W tym dniu zostały również wykonane pomiary antropometryczne. Przed wykonaniem pomiarów zawodnicy wykonali indywidualną,

standardową rozgrzewkę stosowaną podczas zawodów. Wszystkie testy odbywały się między godziną 10:00 a 12:00. Protokół badań obejmował 2 dni. W jednym dniu 5 losowo wybranych zawodników zostało poddanych aktywacji przez 3 biegi z oporem na odcinku 30m, a pozostałych 6 było poddanych aktywacji z wykorzystaniem siły ciągu Sprint 1080 z prędkością supramaksymalną na dystansie 40m. Przed i po aktywacji, zawodnicy wykonali maksymalny sprint z podporu na dystansie 50m, mierzony za pomocą fotokomórek. Biegi z oporem i w odciążeniu były przedzielone 5 minutową przerwą wypoczynkową. Po aktywacji następowała 8 minutowa przerwa i kolejny bieg testowy z podporu na dystansie 50m, mierzony elektronicznie. Długość przerwy wypoczynkowej, wynoszącej 8 min została dobrana na podstawie badań i zaleceń wielu autorów (Wilson i wsp. 2003, Seitz i wsp. 2014, Gołaś i wsp. 2016). Dystans biegu z oporem i w odciążeniu różnił się w celu uzyskania zbliżonego czasu trwania ćwiczenia aktywującego (5-6s) i uzyskania podobnego kosztu metabolicznego wysiłku. Procedura została odwrócona podczas drugiego dnia testów. Wartość oporu podczas biegu wynosiła 10% masy ciała, natomiast biegi z odciążeniem były wykonane z taką samą wartością siły ciągu, które dawało prędkość poruszania się w przedziale 110-112% prędkości maksymalnej bez wspomaganie.

Wyniki:

Bieg z oporem				Bieg ze wspomaganie		
Dystans	Poziom wyjściowy	Poziom po aktywacji		Poziom wyjściowy	Poziom po aktywacji	
Mężczyźni						
10 m (s)	1.77 ± 0.05**	1.66 ± 0.04**	0.002	1.73 ± 0.05**	1.72 ± 0.03**	0.613
50 m (s)	6.01 ± 0.09**	5.86 ± 0.07**	0.001	5.97 ± 0.11**	5.92 ± 0.09**	0.345
Kobiety						
10 m (s)	1.92 ± 0.06	1.87 ± 0.06	0.002	1.90 ± 0.05	1.92 ± 0.05	0.663
50 m (s)	6.63 ± 0.11	6.58 ± 0.09	0.001	6.60 ± 0.12	6.62 ± 0.11	0.654

Badania wykazały, iż aktywacja poprzez bieg z oporem spowodowała natychmiastowy efekt w postaci poprawy wyniku sprintu na dystansie 50m. Ten efekt dotyczył zarówno kobiet jak i mężczyzn, jednak u mężczyzn zauważono większą poprawę wyników. Zjawisko to można tłumaczyć większym potencjałem siły mięśniowej u mężczyzn, co przekłada się na wyższy stopień wykorzystania zjawiska PAP (Harrison i wsp. 2008, Seitz i wsp. 2014). Aktywacja podczas sprintu z oporem wynoszącym 10% masy ciała na odcinku 30m poprawiała

zarówno prędkość startową mierzoną na odcinku 10m jak i prędkość maksymalną na dystansie 50m, wykorzystując mechanizm PAP (Murray i wsp. 2005, Cross i wsp. 2018, Matusiński i wsp. 2021).

Aktywacja poprzez bieg ze wspomaganie z wykorzystaniem prędkości supramaksymalnych nie wpłynęła na poprawę szybkości startowej na dystansie 10m jak i maksymalnej na dystansie 50m. Prawdopodobnie siła ciągu wyzwalamą prędkość podczas biegów supramaksymalnych na poziomie 110-112% max była zbyt duża powodując zaburzenia w technice biegu (lądowanie przed środkiem ciężkości, utratę koordynacji, co nie pozwoliło uzyskać natychmiastowego efektu poprawy wyniku biegu (Leblanc i wsp. 2004, Clark i wsp. 2009). Wcześniejsze badania sugerują, iż trening prędkości supramaksymalnych wymaga adaptacji nerwowo-mięśniowej, którą można uzyskać poprzez wielokrotne powtarzanie zajęć treningowych o tym charakterze, rozpoczynając od mniejszej intensywności (103-105% max), przechodząc do wyższych prędkości w dłuższym okresie czasu (Chen i wsp. 2007).

2.3. Zastosowane w osiągnięciu naukowym narzędzia analizy statystycznej

Praca Nr 1- The Effects of Resisted Post-Activation Sprint Performance Enhancement in Elite Female Sprinters

Wszystkie analizy w tej pracy zostały wykonane przy użyciu programu SPSS (wersja 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, Stany Zjednoczone) i zostały wyrażone, jako średnie z odchyleniami standardowymi. Ustalono istotność statystyczną dla $p < 0,05$. Wykorzystano testy Shapiro–Wilka dla określenia normalności rozkładu zmiennych. W celu weryfikacji hipotez o braku różnic wykonano analizę z powtarzanymi pomiarami ANOVA. Gdy wystąpiły różnice przeprowadzono analizę z wykorzystaniem testów post-hoc Bonferroniego. Wartości siły efektu dla efektów głównych i interakcji zostały oszacowane poprzez obliczenie częściowych wartości eta-kwadrat według Cohena (2013). Testy Mauchly'ego przeprowadzono w celu sprawdzenia sferyczności danych. Gdy normalność nie została potwierdzona, użyto dwukierunkowej ANOVY Friedmana, a siła efektu została oszacowana przez współczynnik zgodności Kendalla.

Praca Nr 2 - Optimazing the load for peak power and peak velocity development during resisted sprinting

Analizowane zmienne w tej pracy wyrażono, jako średnią lub medianę z odchyleniem standardowym. Przed zastosowaniem testu parametrycznego założenie normalności zweryfikowano za pomocą testu Kołmogorowa-Smirnowa. Rozkłady wszystkich zmiennych

były normalne lub zbliżone do normalnego. Liczby danych jakościowych do analizy grup uzyskano za pomocą analizy tabeli kontyngencji. Zastosowano jednokierunkową analizę ANOVA z $p < 0,05$, aby określić różnice między zmiennymi obciążenia, prędkości i mocy. W stosownych przypadkach do porównania wybranych danych zastosowano test post hoc Tukeya i obliczano wpływ każdego testu w celu określenia istotności wyników. Względne przyrosty jednopodstawowe i łańcuchowe określono na podstawie szeregów czasowych. Pozostałe analizy wykonano przy użyciu programu STATISTICA (Stat Soft, Inc. wersja 12).

Praca Nr 3 - Acute effects of resisted and assisted locomotor activation on sprint performance

Analizy statystyczne zgromadzonego materiału badawczego w tej pracy przeprowadzono z wykorzystaniem programu STATISTICA (StatSoft, Inc. 2021, wersja 13). Protokół aktywacji i wyniki PAP wyrażono, jako średnią \pm SD. Testy Shapiro-Wilka, Levene'a przeprowadzono w celu sprawdzenia normalności rozkładu, oraz sferyczność wariancji danych. Zastosowano wielowymiarową analizę ANOVA z $p < 0,05$, w celu określenia różnic między ćwiczeniami z oporem i ćwiczeniami wspomaganymi w grupach sportowców płci męskiej i żeńskiej z uwzględnieniem czasu protokołu aktywacji, wartości mocy szczytowej, siły i prędkości. W stosownych przypadkach wykonano testy post-hoc Tukeya do porównania wybranych danych i wpływu każdego z nich. Wielkości efektów określono, jako eta-kwadrat (η^2) według Hopkinsa (2010).

3. PODSUMOWANIE I IMPLIKACJE DO PRAKTYKI

Celem treningu szybkości biegowej jest poprawa fizycznych, metabolicznych i nerwowo-mięśniowych komponentów zwiększających szybkość sprinterską (Behrens i wsp.; 2011). Szybkość sprinterska to połączenie długości kroku z kadencją. By uzyskać maksymalną prędkość poruszania się należy poprawić jedną lub obie w/w składowe. Poprawę kadencji kroku można uzyskać poprzez sprinty z supramaksymalną prędkością na bieżni mechanicznej, wykorzystując ciąg ekspandorów, ciąg pojazdu lub bieg z góry z wykorzystaniem 3-5° kąta nachylenia (Bolger i wsp.; 2016). W ostatnich latach wprowadzono bardziej zaawansowane urządzenia holujące takie jak SPRINT 1080, które wspomagają łamanie bariery szybkości i umożliwiają monitorowanie procesu treningowego sprintera (Gepfert i wsp.; 2020).

Badanie nad wykorzystaniem wzmocnienia poaktywacyjnego (PAP) w procesie kształtowania szybkości biegowej u elitarnych sprinterek wykazało, że sprinty z oporem

znacznie poprawiają wynik maksymalnego biegu lotnego na dystansie 20m; jednak ich skuteczność zależy od zastosowanego obciążenia. Pojedynczy sprint z oporem 10% masy ciała skutecznie wpływa na następujący po nim 20-metrowy bieg lotny. Dlatego 10% masy ciała wydaje się być skutecznym obciążeniem do wykonywania sprintów z oporem w celu uzyskania istotnej aktywacji nerwowo-mięśniowej w kształtowaniu szybkości. Niniejsze wyniki badań mogą być inspiracją dla sportowców i trenerów, którzy szukają nowych rozwiązań w kształtowaniu szybkości biegowej. Dodatkową praktyczną informacją wynikającą z przeprowadzonych badań jest potwierdzenie zależności efektu PAP od wielkości zastosowanego obciążenia w ćwiczeniu aktywującym, oraz od potencjału siłowego zawodnika. Opór wielkości 5% masy ciała dla elitarnych sprinterek nie jest wystarczającym bodźcem do wystąpienia efektu PAP, natomiast opór 15% jest zbyt duży, zaburza technikę biegu, co nie przekłada się na wynik biegu z maksymalną prędkością. Prawdopodobnie obciążenie wielkości 15% lub większe jest skuteczne w kształtowaniu akceleracji startowej. Ta hipoteza wymaga jednak dalszych badań i potwierdzenia. Chcąc zatem wykorzystać efekt PAP w celach poprawy szybkości biegowej zaleca się stosowanie w ćwiczeniach aktywujących, opór zewnętrzny wynoszący około 10% masy ciała.

Praktyka trenerska i wyniki badań wskazują, że najbardziej skuteczny, jeżeli chodzi o natychmiastowy efekt jak i długotrwałe zmiany adaptacyjne związane z szybkością biegową jest trening oporowy. Ćwiczenia siłowe takie jak wysoki z przysiadu, rwanie i rzut sztangi wpływają na szybkość startową, jednakże mają mniejsze przełożenie na szybkość biegu na dystansie. (Harris i wsp.; 2008; Bolger i wsp.; 2015). Przykładem specjalnej siły biegowej jest holowanie, biegi w kamizelkach z obciążeniem, sprinty pod górę, sprinty w wodzie i po piasku (Alcaraz i wsp.; 2009). Najnowsze badania wskazują jednak, że najbardziej skutecznym i najczęściej stosowanym ćwiczeniem w kształtowaniu szybkości są biegi z oporem (Matusiński i wsp.; 2021). Z praktycznego punktu widzenia, jednym z najistotniejszych aspektów metodycznych tego rodzaju treningu jest dobranie optymalnego obciążenia zewnętrznego dla zawodnika podczas sprintów z oporem. Dobre obciążenie ma za zadanie wygenerować możliwie maksymalną moc z minimalnym spadkiem prędkości poruszania się i bez pogorszenia mechaniki biegu. W kształtowaniu różnych aspektów biegu sprinterskiego u mężczyzn stosowano ćwiczenia z holowaniem wykorzystując wartości oporu w przedziale 12-43% masy ciała. Wyższe wartości obciążenia zewnętrznego były skuteczne w poprawie tylko szybkości startowej (5-10m), natomiast w odniesieniu do szybkości maksymalnej (30-50m) wykazano najwyższą efektywność oporu wynoszącego 10-13% masy ciała (Petraikos i wsp. 2016). Zbyt mały opór zewnętrzny (5-6% masy ciała) podczas biegów z holowaniem nie pozwala generować wysokich wartości mocy i w nieznacznym stopniu

wpływa na akcelerację (Lockie i wsp., 2011), podczas gdy zbyt duży opór negatywnie wpływa na kinematykę biegu poprzez zwiększenie czasu kontaktu stopy z podłożem, skrócenie kroku i ograniczenie wyprostu w stawie biodrowym (Behrens i wsp.; 2011; Murray i wsp.; 2005). Większość badań wskazuje, iż biegi z oporem mają większy wpływ na szybkość startową i fazę przyspieszenia niż na szybkość maksymalną (Harrison i wsp.; 2009; Petrakos i wsp.; 2016).

Te tezy potwierdziły wyniki opisanego powyżej badania przy użyciu urządzenia SPRINT 1080. Zauważono statystycznie istotną zmianę w mocy poziomej podczas biegów z oporem zewnętrznym 6, 9, 12, 15 kg, natomiast nie odnotowano statystycznie istotnej zmiany przy oporze 3kg. Wyniki badań pokazały, że opór zewnętrzny = 9kg spowodował drastyczny spadek prędkości z jednoczesnym bardzo niewielkim wzrostem mocy w porównaniu z oporem = 6kg. Stwierdzono, iż obciążenie w biegu z oporem między 8 a 13% masy ciała wydaje się być optymalne zarówno dla poprawy mocy jak i szybkości maksymalnej. Biorąc powyższe pod uwagę sprinterzy powinni używać różnego obciążenia w biegach z oporem by kształtować moc maksymalną, doskonalić fazę przyspieszenia i szybkość maksymalną. Opór powinien być dobierany indywidualnie na podstawie potencjału siłowego zawodnika, a odcinek biegu powinien wynosić od 10 do 50m w zależności od celu treningu (Matusiński i wsp.; 2021a).

4. PIŚMIENNICTWO

1. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL. Determining the Optimal Load for Resisted Sprint Training With Sled Towing. *J Strength Cond Res.* 2009; 23:480–485.
2. Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, Martínez-Rodríguez A. The Effectiveness of Resisted Sled Training (RST) for Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.* 2018; 48(7): 2143–2165.
3. Behrens MJ, Simonson SR. A Comparison of the Various Methods Used To Enhance Sprint Speed: *Strength Cond J* 2011; 33:64–71.
4. Bevan H. R., Cunningham D. J., Tooley E. P., Owen N. J., Cook C. J., Kilduff L. P. Influence of postactivation potentiation on sprinting performance in professional rugby players. *J. Strength Cond. Res.* 2010; 24:701–705.
5. Bolger R, Lyons M, Harrison AJ, Kenny IC Sprinting Performance and Resistance-Based Training Interventions: A Systematic Review. *J Strength Cond Res* 2015; 29:1146–1156.
6. Bolger R, Lyons M, Harrison AJ, Kenny C. Coaching Sprinting: Expert Coaches Perception of Resistance Based Training. *Int J Sports Sci Coach.* 2016; 11(5):746-754.
7. Chatzopoulos DE, Michailidis CJ, Giannakos AK, Alexiou KC, Patikas DA, Antonopoulos CB, Kotzamanidis CM. Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *J Strength Cond Res.* 2007; 21:1278–1281.
8. Chen TC, Nosaka K, Tu JH. Changes in running economy following downhill running. *J Sports Sci.* 2007; 25:55-63.
9. Cissik JM. Means and methods of speed training, part II. *Strength Cond J.* 2005; 27(1):18–25.
10. Clark DA, Sabick MB, Pfeiffer RP, Kuhlman SM, Knigge NA, Shea KG. Influence of towing force magnitude on the kinematics of supramaximal sprinting. *J Strength Cond Res.* 2009; 23(4):1162–8.
11. Cross MR, Lahti J, Brown SR, Chedati M, Jimenez-Reyes P, Samozino P, et al. Training at maximal power in resisted sprinting: optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PLoS One.* 2018; 13(4): e0195477.
12. Cuenca-Fernandez F, Smith I C, Jordan M J, MacIntosh B R, Lopez-Contreras G, Arellano R, et al. . Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2017; 42:1122–1125.
13. Gepfert M, Golas A, Zajac T, Krzysztofik M. The Use of Different Modes of Post-Activation Potentiation (PAP) for Enhancing Speed of the Slide-Step in Basketball Players.

- Int J Environ Res Public Health. 2020; 17(14):5057.
14. Harris NK, Cronin JB, Hopkins WG, Hansen KT. Relationship Between Sprint Times and the Strength/Power Outputs of a Machine Squat Jump. *J Strength Cond Res.* 2008; 22:691–698.
 15. Harrison A, Bourke. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res* 2009; 23(1):275-83.
 16. Haugen Thomas, Stephen Seiler, Øyvind Sandbakk & Espen Tønnessen. The Training and Development of Elite Sprint Performance: an Integration of Scientific and Best Practice Literature. *Sports Medicine* . 2019b; 5art:44.
 17. Healy R., Comyns TM. The Application of Postactivation Potentiation Methods to Improve Sprint Speed. *Strength and Conditioning Journal* 2017; 39(1):1-9.
 18. Iskra J, Walaszczyk A, Skuch J. Trening mistrzowski w biegach sprinterskich. Opole 2015.
 19. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2002; 34(2):364–80.
 20. Leblanc JS, Gervais PL. Kinematics of assisted and resisted sprinting as compared to normal free sprinting in trained athletes. *International Symposium on Biomechanics in Sports.* 2004; 22:536.
 21. Lim, J J, Kong, P W. Effects of isometric and dynamic postactivation potentiation protocols on maximal sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2013; 27: 2730-2736.
 22. Lockie RG, Murphy AJ, Knight TJ, Janse de Jonge X. Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *J Strength Cond Res* 2011; 25(10):2704-2714.
 23. Matusinski A, Przemysław P, Krzysztofik M, Gołas A. The effects of resisted post-activation sprint performance enhancement in elite female sprinters. *Front Physiol* 2021; 12:651-659.
 24. McBride J M, Nimphius S, Erickson T M. The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.* 2005; 19:893–897.
 25. Mero A, Komi PV. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol.* 1986; 55(5):553–61.
 26. Murray A, Aitchson TC, Ross G, Sutherland K, Watt I, McLean D, Grant S. The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *J Sports Sci* 2005; 23:927-935.

27. Petrakos G, Morin JB, Egan B. Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Med* 2016; 46:381–400.
28. Rakovic E, Paulsen G, Helland C, Eriksrud O, Haugen T. The effect of individualised sprint training in elite female team sport athletes: a pilot study. *J Sports Sci.* 2018; 36(24):2802–8.
29. Rassier D and Macintosh B. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. 2000; *Braz J Med Biol Res* 33: 499– 508.
30. Seitz LB, Reyes A, Tran TT, Villarreal ES, Haff GG. Increases in Lower-Body Strength Transfer Positively to Sprint Performance: A Systematic Review with Meta- Analysis. *Sports Med.* 2014; 44:1693-702.
31. Seitz LB, Villarreal ES de, Haff GG. The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2014;28:706–15.
32. Seitz L, Trajano G, and Haff G. The back squat and the power clean: Elicitation of different degrees of potentiation. 2014; *Int J Sports Physiol Perform* 9: 643–649.
33. Solli GS, Tønnessen E, Sandbakk Ø. The training characteristics of the world’s most successful female cross-country skier. *Front Physiol.* 2017; 8:1069.
34. Tillin NA and Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. 2009; *Sports Med* 39: 147–166.
35. Tønnessen E, Sylta Ø, Haugen T, Hem E, Svendsen I, Seiler S. The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One.* 2014; 9:e101796
36. Tønnessen E, Svendsen I, Olsen IC, Guttormsen A, Haugen T. Performance development in adolescent track and field athletes according to age, sex and sport discipline. *PLoS One.* 2015a; 10:e0129014.
37. Zafeiridis A, Saraslanidis P, Manou V, Loakimidis P. The Effects of resisted sled- pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 2005; 45:284-290.