

**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**

Opiekun naukowy:

Prof. dr hab. Adam Zając

Katowice 2022

Spis treści

1.	WPROWADZENIE	3
2.	PRZEDMIOT ROZPRAWY	18
2.1.	Problem badawczy w świetle literatury	18
2.2.	Cel badań, pytania badawcze i hipoteza	20
2.3.	Osiągnięcie Naukowe	21
2.4.	Zastosowane w osiągnięciu naukowym narzędzia analizy statystycznej	25
2.5.	Praca nr 1	27
2.6.	Praca nr 2	36
2.7.	Praca nr 3	43
3.	PODSUMOWANIE I IMPLIKACJE DO PRAKTYKI	49
4.	STRESZCZENIE	52
5.	SUMMARY	54
6.	BIBLIOGRAFIA	55
7.	Załącznik nr 1 - Oświadczenia	69

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. Pomimo wielu badań empirycznych i licznych doświadczeń szkoleniowych (Harrison i wsp. 2009, Haugen i wsp. 2014), kształtowanie zdolności szybkościowych podlega ciągłym innowacjom i modyfikacjom (Behrens i wsp. 2011, Benz i wsp. 2016, Rumpf i wsp. 2016), a wielu praktyków na drodze prób i błędów dochodzi do własnych rozwiązań metodycznych. 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 dziesięcioleciach badania dotyczące sprintu skupiły się na biomechanice poruszania się oraz na efektach treningu oporowego w kształtowaniu szybkości (Bolger i wsp. 2016).

Wyniki w biegach sprinterskich są bardzo mocno uwarunkowane w predyspozycjach genetycznych. Mimo to kluczowe determinanty szybkości takie jak moc, technika biegu i wytrzymałość szybkościowa podlegają wytrenowaniu. Ze względu na liczebność i homogenność grupy zawodnicy sportów drużynowych stanowią bardziej atrakcyjny materiał badań. Dlatego w literaturze można spotkać dużo więcej wyników badań przeprowadzonych na zawodnikach gier zespołowych niż na elitarnych sprinterach (Bolger i wsp. 2016, Haugen i wsp. 2019b, Matusiński i wsp. 2021).

1.1. Ewolucja treningu szybkości biegowej

Rozwój biegów sprinterskich spowodowany jest prawdopodobnie lepszą identyfikacją talentu sportowego, dietetyczno-suplementacyjnym wspomaganiami oraz przede wszystkim

wykorzystaniem nowoczesnych technologii treningowych, monitorujących i regenerujących (Haugen i wsp. 2019b). Podstawowym urządzeniem monitorującym, usprawniającym proces treningu są przenośne, łatwe w obsłudze fotokomórki. Fotokomórki mogą służyć zarówno do pomiarów poszczególnych odcinków biegu, ale służą także do weryfikacji obciążeń treningowych. Dzięki dokładnemu pomiarowi pozwalają ustalić optymalną długość i ilość odcinków biegowych stosowanych w kształtowaniu szybkości. Innym, niezwykle przydatnym urządzeniem dającym w czasie rzeczywistym wiele informacji zwrotnych na temat siły, mocy, prędkości i czasu biegu jest trenażer 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.

1.2. Czynniki determinujące szybkość biegową i wynik w sprintach

Największe znaczenie w biegu sprinterskim ma podłoże genetyczne, które obejmuje nie tylko cechy antropometryczne i proporcje włókien mięśniowych, ale także zdolności adaptacyjne (Smith 2003, Del Coso i wsp. 2013). Chociaż podstawowe zasady biegu sprinterskiego są proste i rządzą się prawami biomechaniki, sposób, w jaki zawodnik rozwiązuje ograniczenia mechaniczne jest znacznie bardziej złożony (Haugen i wsp. 2019a). Na podstawie przeglądu literatury naukowej można np. stwierdzić, że takie zmienne u sprintera jak: długość kroku, kadencja, czas kontaktu z podłożem, czas lotu oraz technika biegu przednim lub tylnym wahadłem należą do zmiennych determinujących szybkość biegową (Kunz i wsp. 1981, Mann i wsp. 1985, Hunter i wsp. 2004, Kugler i wsp. 2010, Nagahara i wsp. 2014, Rabita i wsp. 2015, Nagahara i wsp. 2015, Ettema i wsp. 2016, Haugen i wsp. 2018). Wszystkie wyżej wymienione zmienne są ze sobą ściśle powiązane i żadna z osobna nie determinuje większej skuteczności biegu sprinterskiego (Haugen i wsp. 2019). Wyniki badań mówią, że sztywność stawów skokowych i ścięgna Achillesa, mają wpływ na magazynowanie energii elastycznej, która odgrywa istotną rolę w dynamice odbicia podczas biegu oraz istotnie wspomaga poziom wytrzymałości szybkościowej u sprinterów (Chelly i wsp. 2001, Morin i wsp. 2006, Girard i wsp. 2011, Brocherie i wsp. 2016, Girard i wsp. 2016a, Girard i wsp. 2016b). Mimo, że uwarunkowania genetyczne decydują o potencjale

szybkościowym każdy sportowiec może poprawić szybkość startu, przyspieszenie, maksymalną prędkość biegu i zdolność do jej utrzymania. Pod wpływem treningu proporcje włókien zmieniają się w znikomym stopniu, lecz poprawia się ich rekrutacja i sprawność metaboliczna (Sharkey i wsp. 2013). Poziom szybkości biegowej ulega istotnym przeobrażeniom podlegając podstawowym prawom rozwoju biologicznego (Malina i wsp. 1988, Malina i wsp. 2004, Tønnessen i wsp. 2015, Haugen i wsp. 2018b). Niemniej jednak bardzo trudno jest poprawić lub nawet utrzymać poziom szybkości powyżej 30 roku życia (Hollings i wsp. 2014, Haugen i wsp. 2018), najprawdopodobniej dzieje się tak z powodu obniżenia sprawności nerwowo-mięśniowej i aktywności hormonów anabolicznych, co wpływa na zmniejszenie objętości włókien szybkokurczliwych (Harman i wsp. 2001, Korhonen i wsp. 2006, Hunter i wsp. 2016). Badania Boccia i wsp. (2009) wykazały, że wybitne wyniki sportowe u nastoletnich zawodników w skoku w dal i w zwyż nie są dobrym wyznacznikiem wysokiego poziomu u tych samych zawodników w wieku późniejszym. Taką tezę można przyjąć również w przypadku sprintu. Jednak sprinterzy, którzy osiągają wysoki poziom sportowy w wieku juniorskim bez nadmiernej specjalizacji, mają większe szanse osiągnąć poziom mistrzowski w wieku seniora. Nadmierna specjalizacja i niewłaściwa progresja obciążeń treningowych u młodych zawodników powodują przeciążenia, przetrenowanie i stagnację wyników (Lloyd i wsp. 2015a, Lloyd i wsp. 2015b). W związku z powyższym bezzasadna wydaje się duża progresja obciążeń treningowych i startowych u młodych sprinterów, mając na uwadze fakt, iż do uzyskania niezbędnych umiejętności i doświadczenia w rywalizacji na światowym poziomie w sprincie potrzeba około 10 lat lub 10 000 godzin treningu (Helsen i wsp. 1998, Ericson i wsp. 2019). Długoterminowy rozwój szybkości możliwy jest wtedy, gdy sportowcy są poddawani stałemu, systematycznemu wzrostowi obciążeń treningowych w czasie, przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej regeneracji (Delorme i wsp. 1948). Zdolność do tolerowania dużych obciążeń treningowych jest postrzegana zarówno, jako umiejętność adaptacji w czasie, jak i talent. Zasada periodyzacji obciążeń treningowych ma na celu zmniejszenie ryzyka kontuzji i przetrenowania przy ciągłym stymulowaniu natychmiastowych i chronicznych zmian adaptacyjnych. Adaptacja treningowa jest specyficzna dla zastosowanego bodźca, obejmującego wzorce ruchowe, działanie i zakres ruchu mięśni, siłę i prędkość ruchu, obciążenie treningowe i zaangażowane systemy energetyczne.

Trening sprintera powinien być dostosowany do potencjału zawodnika, uwzględniając czynniki antropometryczne, przebieg i aktualny staż treningowy, wiek, płeć,

szybkość regeneracji, przebyte urazy, poziom siły mięśniowej i szybkości (Kraemer i wsp. 2002, Morin i wsp. 2016, Lee i wsp. 2019, Francis 2019a, Francis 2019b). Według niektórych szkoleniowców występują również różnice między treningiem szybkości mężczyzn i kobiet. Uznany jamajski trener sprintu - Stephen Francis, uważa, że trening kobiet powinien być realizowany z objętością treningową mniejszą o 20% niż u mężczyzn (Lee i wsp. 2019). Inna teoria mówi, że kobiety są w stanie wykonać większy objętościowo trening, ponieważ ich szybkość maksymalna jest o około 10% niższa niż mężczyzn, co odpowiada mniejszym przeciążeniom aparatu ruchu i układu nerwowego. Literatura naukowa dostarcza niewiele empirycznych danych dotyczących różnic treningowych podyktowanych płcią.

Jednym z czynników determinujących szybkość biegową i wyniki w sprintach są możliwości metaboliczne zawodnika. Pod względem fizjologicznym sprint na 100m jest w 80% wysiłkiem beztlenowym, a energia do niego pochodzi z ATP, zmagazynowanej fosfokreatyny i glikogenu mięśniowego (Duffield i wsp. 2004). Moc fosfagenowa i pojemność glikolityczna mają decydujące znaczenie podczas krótkotrwałych wysiłków i są wysoko skorelowane z wynikiem w sprincie. Jednym z kryteriów klasyfikacji biegów krótkich dla praktyków jest informacja o rodzaju systemu energetycznego zaangażowanego podczas wysiłku. Czas trwania sprintu krótszy niż 6-7 s jest uważany za wysiłek beztlenowy niekwasomlekowy lub fosfagenowy, podczas gdy dłuższe wysiłki sprinterskie, trwające kilkanaście lub kilkadziesiąt sekund są uważane za beztlenowe kwasomlekowe, lub glikolityczne (Banta i wsp. 2017, Carlo Vittori 2019, Francis 2019a, Francis 2019b, United Kingdom Athletics 2019a, United Kingdom Athletics 2019b). Z tego podziału i w powiązaniu z mechaniką biegu wynikają poszczególne fazy biegu sprinterskiego – akceleracja, bieg z maksymalną prędkością, atakowanie mety (finish). Akceleracja, czyli przyspieszenie startowe to biegi z maksymalną intensywnością na odcinkach 10-50 m (Banta i wsp. 2017, Carlo Vittori 2019, United Kingdom Athletics 2019b Dan Paff 2019, Loren Seagrave 2019, Francis 2019a, Francis 2019b, United Kingdom Athletics 2019a). Długość odcinka w treningu akceleracji wynika z poziomu sportowego zawodnika. Starsi i doświadczeni sprinterzy osiągają wyższe prędkości i przyspieszają dłużej niż zawodnicy mniej zaawansowani. Sprinty są wykonywane po pełnych przerwach wypoczynkowych, co ma na celu wykonanie zadania ruchowego bez spadku prędkości (United Kingdom Athletics 2019a).

Biegi lotne to najczęstszy środek treningowy stosowany w celu kształtowania szybkości maksymalnej (Carlo Vittori 2019, Dan Paff 2019, Francis 2019a, Francis 2019b, United Kingdom Athletics 2019a, United Kingdom Athletics 2019b). Celem tego środka

treningowego jest osiągnięcie najwyższej możliwej prędkości i kontynuowanie biegu sprinterskiego aż do jej spadku. Sprinterzy są w stanie utrzymać maksymalną prędkość tylko przez około 10-30 m, w zależności od poziomu wytrenowania (Graubner i wsp. 2011, Bissas i wsp.;2019). Odcinki lotne biegu wykonuje się z biegów narastających, co pozwala uzyskać maksymalną prędkość bez strat energii w fazie akceleracji. Dystans nabiegu wynosi od 20 do 60 m i zależy od indywidualnych predyspozycji zawodnika.

Wytrzymałość szybkościowa w sprincie odgrywa decydujące znaczenie w ostatniej fazie biegu sprinterskiego. Spadkowi prędkości zazwyczaj towarzyszy zmniejszenie kadencji (Haugen i wsp. 2019). Obniżenie prędkości podczas końcowych faz biegu sprinterskiego ma podłoże centralne i obwodowe, i jest związane z zaburzeniami w obrębie centralnego układu nerwowego i w obrębie mięśni szkieletowych (Fitts 1994, Ross i wsp. 2001, Glaister 2005, Girard i wsp. 2011b). Celem treningu wytrzymałości specjalnej w sprincie jest poprawa zdolności do utrzymania prędkości biegu tak długo, jak to możliwe. Taki trening charakteryzuje się biegami trwającymi 7–15 s z intensywnością 95–100%, z pełną przerwą wypoczynkową pomiędzy powtórzeniami i seriami (Dan Paff 2019, Loren Seagrave 2019, Banta i wsp. Francis 2019a, United Kingdom Athletics 2019a, Francis 2019b, United Kingdom Athletics 2019b). Innym sposobem doskonalenia biegu w końcowych metrach w sprincie jest kształtowanie wytrzymałości szybkościowej, poprzez wielokrotnie powtarzanie odcinków biegowych z niepełnymi przerwami wypoczynkowymi i submaksymalną intensywnością (90-95%).

Systematyczna zmienność bodźców treningowych w kształtowaniu szybkości jest najbardziej skuteczna i daje długoterminowe efekty treningowe (Stone i wsp. 2000, Kraemer i wsp. 2002, Kiely 2012). Wraz ze wzrostem poziomu sportowego sprinterzy powinni realizować trening charakteryzujący się dużą zmiennością środków treningowych (Kraemer i wsp. 2002). Istnieją dowody, iż w treningu wytrzymałości i siły mięśniowej wysoka intensywność wysiłku skutecznie stymuluje adaptację. Dzieje się to poprzez interakcję między submaksymalną intensywnością a objętością pracy, którą można osiągnąć przed wystąpieniem zmęczenia, które pojawia się w maksymalnych wysiłkach (Kraemer i wsp. 2002, Seiler i wsp. 2013). Bieg z maksymalną prędkością ma kluczowe znaczenie dla poprawy efektywności sprintu (Kraemer i wsp. 2002, Haugen i wsp. 2014). Można go realizować w różnych warunkach, z oporem lub ze wspomaganie wykorzystując holowanie lub elastyczne ekspandory.

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 i wsp. 2018). Biegi z oporem są klasyfikowane na podstawie obniżenia prędkości biegu w stosunku do maksymalnego wolnego sprintu na: lekkie ($< 10\%$ spadek prędkości), umiarkowane (10-15%), ciężkie (15-30%) i bardzo ciężkie ($> 30\%$) (Petraikos i wsp. 2016). 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), optymalnym obciążeniem dla kształtowania mocy podczas sprintu z oporem jest takie obciążenie zewnętrzne, które zmniejsza maksymalną prędkość o $\sim 50\%$. Morin i wsp. (2017) zweryfikowali wykorzystanie bardzo dużego obciążenia zewnętrznego u piłkarzy i zaobserwowali znaczną poprawę siły mięśniowej w porównaniu ze sprintem bez oporu. Haugen i wsp. (2019c) zaproponowali, że sprint z dużym oporem jest prawdopodobnie bardziej odpowiedni dla sportów, w których zawodnicy mają za zadanie wykonanie krótkich sprintów z pokonaniem oporu zewnętrznego (np. bobsleje). Sprint z oporem jest powszechnie stosowany w okresie przygotowawczym w treningu sprinterskim (Banta i wsp. 2017, Carlo Vittori 2019; Francis 2019a, Francis 2019b, United Kingdom Athletics 2019a, United Kingdom Athletics 2019b). Jednak wielkość oporu różni się w zależności od poziomu sportowego, realizowanego zadania i koncepcji procesu treningowego. Brytyjscy szkoleniowcy są zdania, że tylko lekkie obciążenia powinny być używane w celu zapewnienia właściwej techniki biegu (United Kingdom Athletics 2019a, United Kingdom Athletics 2019b).

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 wspomaganiem 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. Innym, pozytywnym aspektem biegów supramaksymalnych jest możliwość zwiększenia objętości treningu biegowego ze względu na mniejszy koszt energetyczny takich wysiłków. Ta teoria wymaga jednak dalszych badań.

Biomechanika poruszania się, generowana moc oraz wytrzymałość szybkościowa są uważane za kluczowe determinanty wyników w biegach sprinterskich (Morin i wsp. 2011, Morin i wsp. 2012, Rumpf i wsp. 2016, Haugei i wsp. 2019, Carlo Vittori 2019, Francis 2019a, Francis 2019b, United Kingdom Athletics 2019a, United Kingdom Athletics 2019b). Trening siły i mocy mięśniowej zyskał zainteresowanie i skupił uwagę wielu badaczy zajmujących się sprintem. Dzięki połączeniu efektów badań i praktycznych doświadczeń służących poprawie kształtowania szybkości zostały wypracowane zalecenia treningowe dotyczące hipertrofii, siły maksymalnej i mocy dla początkujących, średnio zaawansowanych i zaawansowanych sprinterów (Kraemer i wsp. 2002, Benz i wsp. 2016). Maksymalna moc jest silnie skorelowana z wynikiem w sprincie; im krótszy jest dystans sprintu, tym większa moc, która wzrasta wykładniczo wraz z prędkością (Seiler i wsp. 2007, Haugen i wsp. 2019). Maksymalna moc mężczyzn i kobiet ze światowej elity sprinterów wynosi odpowiednio $30,3 \pm 2,5$ i $24,5 \pm 4,2$ W x kg⁻¹, i jest zwykle osiągnięta po ~ 1 s sprintu (Sławiński i wsp. 2017). Trening siły i mocy mięśniowej jest podstawą ogólnej strategii treningowej wśród wiodących trenerów sprintu i jest on zwykle wykonywany 2-3 razy w tygodniu w okresie przygotowawczym (Banta i wsp. 2017, Loren Seagrave 2019, Carlo Vittori 2019, United Kingdom Athletics 2019a). Ćwiczenia w treningu siły mięśniowej w sprincie składają się z ćwiczeń wszechstronnych (np. przysiad, rwanie, zarzut, podrzut) i specjalnych (np. półprzysiady, martwy ciąg na jednej nodze, wykroki, wejścia dynamiczne i przysiady jednonóż).

Ćwiczenia plyometryczne często realizowane po treningu siły mięśniowej to jeden z efektywniejszych środków treningowych mających na celu poprawę szybkości. Ćwiczenia te charakteryzują się fazą rozciąganie-skurcz mięśnia i obejmują ćwiczenia unilateralne i bilateralne, takie jak wieloskoki, skoki w głąb, hopy, wieloboje piłkami lekarskimi itd.

(Wathen i wsp. 1993). Trening plyometryczny jest zwykle wykonywany z niewielkim oporem zewnętrznym i maksymalnym przyspieszeniem, co pozwala na poprawę mocy podczas ruchów specyficznych dla danej dyscypliny sportowej (Cormie i wsp. 2011, Sáez de Villarreal i wsp. 2012). Im bardziej zbliżone jest ćwiczenie plyometryczne do specyfiki danej dyscypliny lub konkurencji, tym jest lepszy efekt treningowy. Sprinterzy realizują ćwiczenia o wysokiej intensywności (wieloskoki, skippingi, hopy, podskoki), które mają na celu generowanie mocy w kierunku horyzontalnym (Cormie i wsp. 2011, Sáez de Villarreal i wsp. 2012).

Kolejną zmienną determinującą szybkość jest technika biegu. W literaturze naukowej autorzy podkreślają znaczenie techniki w efektywności biegu sprinterskiego (Mero i wsp. 1992, Morin i wsp. 2011, Rabita i wsp. 2015, Haugen i wsp. 2018, Colyer i wsp. 2018, Bezodis i wsp. 2019, Haugen i wsp. 2019). W każdej jednostce treningowej ukierunkowanej na sprint znajdują się aspekty techniczne. Ćwiczenia sprinterskie są powszechnie stosowane przez trenerów w celu, nie tylko poprawy mechaniki biegu, ale służą doskonaleniu propriocepcji i wyizolowaniu poszczególnych faz sprintu (Banta i wsp. 2017, Carlo Vittori 2019, Dan Paff 2019, Francis 2019a, Francis 2019b, Lee i wsp. 2019, Loren Seagrave 2019, United Kingdom Athletics 2019a, United Kingdom Athletics 2019b). Należą do nich ćwiczenia na płótkach – wysokich i niskich, marsze o wysokich kolanach, biegi o wysokich kolanach, skipy, biegi o prostych nogach, z uwzględnieniem prawidłowej postawy, „wysokich” bioder, lądowanie na przednią część stopy, prawidłowego odbicia i lądowania.

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

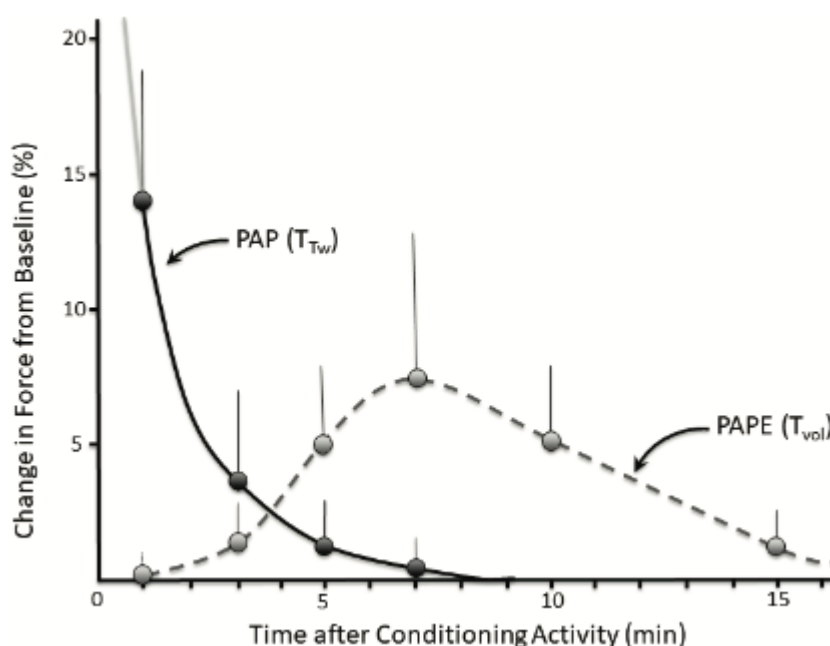
Trening kompleksowy oraz zjawisko wzmocnienia poaktywacyjnego (PAP) oraz czynniki determinujące PAP ze szczególnym uwzględnieniem sprintu lekkoatletycznego

Pierwsze doniesienia dotyczące wzmocnienia poaktywacyjnego pochodzą z lat czterdziestych XX wieku, kiedy to oceniano laboratoryjnie skurcze tężcowe po stymulacji elektrycznej (Ramsey i wsp. 1941). W początkowych badaniach efekt pobudzenia oceniano głównie w oparciu o wzrost siły izometrycznego skurczu mięśnia. Mając na uwadze właściwości bioelektryczne mięśni szkieletowych trenerzy wykorzystywali efekt wzmożonej kurczliwości mięśni po wstępnej aktywacji już w latach 60 i 70 poprzedniego wieku, stosując napięcia izometryczne lub inne ćwiczenia oporowe przed klasycznymi formami czynności eksplozywnych, takimi jak skok, rzut lub sprint (Ebben 1997, Ebben 2002). Trening oparty na wyżej wymienionych przesłankach został nazwany kompleksowym i

prawdopodobnie, jako pierwsi Verkhoshansky i Tetyan (1973) opisali metodykę tego treningu. W tamtych czasach mechanizmy fizjologiczne wzmocnienia poaktywacyjnego nie były w pełni poznane i wykorzystywane. Trudno jest jednoznacznie określić moment wprowadzenia pojęcia PAP (Post-activation-potentiation), czyli wzmocnienia poaktywacyjnego, jednakże wydaje się, że jako pierwszy Burke i wsp. (1976) wprowadzili to pojęcie w celu odróżnienia wolicjonalnego submaksymalnego skurczu mięśniowego od skurczu tężcowego wywołanego pobudzeniem elektrycznym. Zjawisko PAP zostało spopularyzowane w latach 80-siątych XX wieku, kiedy to kilku autorów potwierdziło w badaniach eksperymentalnych wzrost mocy i siły eksplozywnej po krótkotrwałym maksymalnym lub submaksymalnym wolicjonalnym skurczu (MVC- Belanger i Qinan 1982, Belanger i wsp. 1983, Vandervoort 1983). W badaniach tych autorzy wykazali, że PAP był uzależniony od siły i czasu trwania bodźca aktywizującego oraz od długości mięśnia, czyli jego stopnia rozciągnięcia.

W pierwszych eksperymentach stwierdzono, iż optymalizacja PAP występuje po około 10s submaksymalnego napięcia izometrycznego, natomiast dłuższe bodźce aktywizujące wywołują zmęczenie i brak efektu wzmocnienia. Początkowo obserwowano drastyczny wzrost siły skurczu po uprzedniej aktywacji skurczem wolicjonalnym, jednakże efekt ten ustępował po 20-30s i pojawiał się ponownie po kilku minutach (Vandervoort i wsp. 1983). W pierwotnych badaniach sugerowano mechanizm wzmożonej fosforylacji lekkich łańcuchów miozyny we włóknach szybkokurczliwych typu FTx (Perrie i wsp. 1973). Kolejne badania wykazały, iż efekt PAP utrzymuje się tak długo jak lekki łańcuch miozyny był fosforylowany (Manning and Stull 1979). W dalszych eksperymentach stwierdzono, iż fosforylacja lekkich łańcuchów miozyny zwiększa wrażliwość kompleksu aktyna-miozyna na jony (C⁺⁺) (Persechini i wsp. 1985), czego konsekwencją był wzrost tempa tworzenia się mostów aktyno-miozynowych, co z kolei przekłada się na większe tempo narastania siły (RFD), (Sweeny i Stull 1990). W ostatnich latach wielu badaczy poddało weryfikacji efekt PAP przy wykorzystaniu submaksymalnych bodźców aktywizujących w odniesieniu od różnych eksplozywnych czynności ruchowych wykorzystywanych w sporcie takich jak: wyskok dosiężny – (Gulich i Schmidtbleicher 1996, Gossen i Sale 2000, Frech i wsp. 2003), sprint biegowy (McBride i wsp. 2005, Yeter i Moir 2008, Winwood i wsp. 2016), kolarski (Munro i wsp. 2017) i pływakowski (Hancock i wsp. 2015). Mając na uwadze wyżej przedstawione mechanizmy, sensowne wydawałoby się wystąpienie wzmocnienia poaktywacyjnego tylko w określonych fazach ruchów takich jak skok, krok biegowy lub

pływacki. W ostatnich latach przeprowadzono szereg eksperymentów z wykorzystaniem różnych wolicjonalnych bodźców aktywujących, które powodowały wzrost sprawności w eksplozywnych czynnościach ruchowych w okresie kilku lub nawet kilkunastu minut po aktywacji, a więc teoretycznie po wygaśnięciu zjawiska PAP (Folland i wsp. 2008, Blazevich i Babault 2019). 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.



Ryc. 1. Czasowe zmiany aktywacji po stymulacji elektrycznej (PAP) oraz zmiany siły mięśniowej wywołane wolicjonalnym skurczem mięśniowym o wysokiej intensywności (PAPE) (według Blazevich i Babault 2019).

Klasyczny efekt PAP obserwowany prawie natychmiast po elektrycznej stymulacji mięśnia przejawia się w postaci wzrostu szczytowego napięcia lub też tempa narastania siły

(RFD). Najczęściej przypisywanym mechanizmem warunkującym PAP jest wzrost wrażliwości (C++) kompleksu aktyno-miozynowego spowodowanej fosforylacją. Potwierdzeniem skuteczności tego mechanizmu jest wysoka zależność pomiędzy wzrostem siły skurczu a wzrostem fosforylacji łańcucha regulatorowego miozyny (MRLC) - (Manning i Stull 1982, More i Stull 1984, Vandenoob 2017). Warto wspomnieć, że szczytowa wartość skurczu izometrycznego nie może ulec zwiększeniu, kiedy mięsień jest w pełni pobudzony, gdyż maksymalna ilość możliwych połączeń aktyno-miozynowych już występuje (Metzger i wsp. 1989), jednakże zjawisko to może mieć miejsce podczas maksymalnych skurczów ekscentrycznych (Brown i Loeb 1999). Jest to szczególnie widoczne we włóknach typu II, które mają niższą wrażliwość wyjściową (C++) i większą aktywność kinazy lekkich łańcuchów miozyny (MLCK) niż włókna mięśniowe typu I (Metzger i Moss 1990). Dlatego też włókna typu IIa i IIx są szczególnie podatne na bodźce zwiększające wrażliwość na (C++) (Grange i wsp. 1993). Zjawisko to ma istotne implikacje praktyczne, a mianowicie osoby z przewagą włókien szybko-kurczliwych osiągają większą efektywność PAP (wyższa siła skurczu, Harmada i wsp. 2000) oraz wzmożony efekt PAPE przejawiający się wyższym wzrostem sprawności siłowej (Seitz i wsp. 2016). Pomimo, iż czasowy przebieg krzywej fosforylacji MRLC przebiega podobnie do krzywej PAP po stymulacji elektrycznej osiągając szczyt RFD po 20-30s, efekt wzmożonej sprawności siłowej (PAPE) w eksplozywnych czynnościach ruchowych występuje dopiero po 6-8 minutach i utrzymuje się przez kilkanaście minut, co przedstawiono na ryc. nr 1. Prawdopodobnie fosforylacja MRLC nie jest głównym mechanizmem stymulującym wzrost sprawności siłowej po wolicjonalnej aktywacji ćwiczeniami oporowymi (Wilson et al. 2013, Blazevich i Babault 2019). Innym czynnikiem, który może wpływać na siłę skurczu po aktywacji mięśnia może być jego temperatura wewnętrzna. Jednakże zmiany wywołane skurczami tężcowymi po stymulacji elektrycznej mięśnia nie odpowiadają zmianom sile skurczu w procedurach PAP. Inaczej przedstawia się sytuacja w skurczach wolicjonalnych, gdzie kilkuminutowa aktywność mięśniowa powoduje okluzję oraz wzrost tempa metabolizmu, co objawia się zwiększeniem temperatury mięśnia sprzyjając sprawności siłowej (PAPE). Gonzalez-Alonso i wsp. (2000) zaobserwowali wzrost temperatury mięśni wahający się od 0,3 do 0,9°C po krótkotrwałych (3min) dynamicznych ćwiczeniach oporowych. Inne badania potwierdziły, iż temperatura mięśni związana jest z tempem narastania siły oraz z prędkością skracania mięśni (Ranatunga 1982, Stein i wsp. 1982, Elmubarak i Ranatunga 1984). Temperatura mięśni jest także związana z tempem tworzenia mostów aktyno-miozynowych i wrażliwością ATP-azy miozynowej (Brenner i Eisenberg 1986). Mając na uwadze zakres zmian temperatury ciała i

jej przebieg w czasie należy wskazać na istotny jej wpływ na efektywność wykonania eksplozywnych czynności ruchowych (PAPE). W badaniach, które wykazywały poprawę sprawności na skutek stymulacji ćwiczeniami oporowymi w przedziale 1-5% wzrost temperatury mięśni mógł tłumaczyć większość przyrostu sprawności (Yetter i Moir 2008, Wyland i wsp. 2015, Krampatsos i wsp. 2017). W eksperymentach, w których wykazano znaczącą poprawę sprawności (5-10%) tylko część poprawy należało przypisać wzrostowi temperatury mięśni (Mina i wsp. 2014, Kummel i wsp. 2016, Bogdanis i wsp. 2017).

Wrażliwość (C++) objawiająca się zwiększonym tempem tworzenia mostów aktywno-miozynowych i w konsekwencji zwiększoną siłą skurczu może być także spowodowana czynnikami poza fosforylacją MRLC. Wzrost temperatury posiada zróżnicowany wpływ na drażliwość (C++), jednakże z reguły wzrostowi temperatury towarzyszy spadek drażliwości (C++) (Stephenson i Williams 1985). Zatem zmiany temperatury mięśni, powodujące poprawę funkcji mięśni szkieletowych nie są związane z drażliwością (C++) i nie mogą tłumaczyć zjawiska PAP i PAPE. Innym czynnikiem modyfikującym PAP i PAPE poprzez negatywny wpływ na drażliwość (C++) jest pH mięśni (Martyn i Gordon 1988). Zatem zmiany w pH mięśni wywołane pobudzeniem siłowym nie wpływają istotnie na drażliwość (C++), jednakże można rozważyć stosowanie środków buforujących, które poprzez wzrost spoczynkowego pH krwi i mięśni wypłyną korzystnie na PAP i PAPE. Kolejnym czynnikiem rozpatrywanym w kontekście PAP i PAPE jest zwiększony przepływ krwi i wzrost zawartości wody w komórkach mięśniowych na skutek ćwiczeń oporowych. Zmiany te mają podobny przebieg do wzrostu temperatury mięśni i raczej nie wpływają na drażliwość (C++), lecz mogą jedynie zwiększać sztywność mięśni. Efekt ten występuje zatem z pewnym opóźnieniem, więc nie może tłumaczyć zjawiska PAP, lecz podobnie jak specyficzna rozgrzewka będzie wpływał na PAPE (Sugi i wsp. 2013, 2015). Inne teorie, częściowo potwierdzone empirycznie mówią, iż intensywne ćwiczenia oporowe zwiększają pobudzenie nerwowo-mięśniowe i selektywnie aktywują jednostki szybko kurczliwe, co powoduje wzrost siły skurczu mięśnia (Heckman i Enoka 2012). Nuzo i wsp. (2016) stwierdzili zwiększoną pobudliwość układu nerwowego natychmiast po kilku intensywnych skurczach mięśniowych, która zanikała po około 20 minutach. Szereg badaczy zaobserwowało zwiększone torowanie nerwowomięśniowe na skutek intensywnych skurczów niezależne od pobudzenia emocjonalnego i motywacji (Enoka i wsp.; 1980, Trimble i Harp 1998, Folland i wsp. 2008). W modelach zwierzęcych i ludzkich in vivo zaobserwowano wzmożone odruchy na rozciąganie ze ścięgien na skutek intensywnej aktywności mięśniowej.

Wskazuje to na obniżenie presynaptycznego hamowania lub zwiększenia pobudliwości motoneuronów, co sprzyja sile skurczu mięśnia (Tucker i wsp. 2005). Wiele badań wskazuje na to, iż sztywność kompleksu mięsień – ścięgno sprzyja zarówno sile skurczów tężcowych jak i tempu narastania siły w skurczach wolicjonalnych (Josephson i Edman 1998, Edman i Josephson 2007). Wynika to z faktu, iż praca wykonana przez mostki aktyno-miozynowe będzie absorbowana przez komponenty elastyczne podczas rozciągania, gromadząc w ten sposób energię elastyczną. W ostatnich latach podjęto także próby tłumaczenia wpływu sztywności mięśnia na PAP i PAPE poprzez mechanizmy związane z tytyną, która oplata filamenty aktyny i sama zwiększa swoją sztywność podczas aktywacji sarkomerów (Nishikawa i wsp. 2012, Hessel i wsp. 2017).

Czynniki determinujące efektywność PAP i PAPE

Powyżej omówiono mechanizmy odpowiedzialne za występowanie zjawiska wzmocnienia poaktywacyjnego, jednakże efektywność PAP i PAPE zależy od wielu elementów metodyki treningu kompleksowego, które przedstawiono na ryc. nr 2.

Efekt wzmocnienia poaktywacyjnego 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). Inną niezwykle istotną zmienną jest intensywność i objętość ćwiczeń aktywujących. Sugeruje się, iż optymalny przedział intensywności ćwiczeń aktywujących oporowych mieści się w przedziale 70-85%, jednakże istnieją doniesienia sugerujące wysoką skuteczność obciążeń supramaksymalnych (110-130% 1RM) realizowanych w formie pracy ekscentrycznej (Krzysztofik i wsp. 2020). Objętość ćwiczeń aktywujących związana jest bezpośrednio z ich intensywnością, gdyż PAP i PAPE jest kompromisem pomiędzy pobudzeniem a zmęczeniem (Sale 2002). Objętość i intensywność ćwiczeń aktywujących jest także związana z poziomem wytrenowania zawodnika i jego charakterystyką morfologiczną. Istnieją badania, które potwierdzają, iż osoby o wysokim poziomie siły mięśniowej i przewodze włókien szybko kurczliwych FTx lepiej reagują na bodźce o wysokiej intensywności (Chiu i wsp. 2003, Docherty i Hodgson 2007).



Ryc. 2. Czynniki modyfikujące zjawisko PAP i PAPE i ich wpływ na wynik eksplozywnych czynności ruchowych.

Jednym z ważniejszych elementów metodyki treningu kompleksowego jest długość przerwy wypoczynkowej pomiędzy ćwiczeniem aktywującym a eksplozywnym. Czas przerwy wypoczynkowej wydaje się ściśle powiązany z intensywnością i objętością ćwiczenia aktywującego (Nibali i wsp. 2015). Innym elementem ściśle powiązany ze strukturą czynności aktywującej jest zakres ruchu, który może mieć istotne znaczenie dla stopnia PAP i PAPE. Wydaje się, że płeć nie ma większego wpływu na wykorzystanie mechanizmów PAP jednakże badania na kobietach są znacznie mniej liczne niż na mężczyznach (DeRenne 2010, Evetovich i wsp. 2015). W tradycyjnej formie treningu kompleksowego poszukiwano zbliżonych pod względem biomechanicznym ćwiczeń, które mogły być wykonane w pierwszej kolejności z dużym oporem a następnie po uzyskaniu efektu wzmożonego pobudzenia w formie eksplozywnej. Klasycznym przykładem tego rozwiązania jest wyskok dosiężny poprzedzony półprzysiadem z obciążeniem 70-85% 1RM.

Współcześnie coraz więcej podejmowanych jest badań dotyczących wpływu różnych ćwiczeń oporowych i plajometrycznych na szybkość biegową na różnych dystansach i w różnych dyscyplinach sportu (Bevan i wsp. 2010, Chatzopoulos i wsp. 2007, Guggenheimer i wsp. 2009, Lim i Kong 2013).

2. PRZEDMIOT ROZPRAWY

2.1. 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. Efektywność PAP została potwierdzona w wielu czynnościach ruchowych takich jak skoki poziome i pionowe (Scott i Docherty 2004, Suchomel i wsp. 2016, Tillin i Bishop 2009), sprinty (Seitz i Haff 2015, Turner i wsp. 2015) oraz rzuty i inne eksplozywne czynności ruchowe kończyn górnych (Gołaś i wsp. 2016, Markovic i wsp. 2008, Bodden i wsp. 2019). Mając na uwadze charakter czynności ruchowych, które istotnie wspomaga PAP, różne formy aktywacji wdrażano u zawodników uprawiających koszykówkę, piłkę nożną, siatkówkę, bejsbol, futbol Amerykański, skoki narciarskie oraz skoki i rzuty lekkoatletyczne (Bielitzki i wsp. 2021). Zjawisko PAP i PAPE tłumaczone jest kilkoma mechanizmami, które zostały opisane szczegółowo wcześniej, niemniej jednak istotą poaktywacyjnego wzmocnienia jest uzyskanie natychmiastowego wzrostu sprawności fizycznej w eksplozywnych czynnościach ruchowych, zarówno w trakcie zajęć treningowych jak i podczas zawodów. 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).

Jednym z ważniejszych aspektów PAP jest indywidualna reaktywność zawodników na określone bodźce aktywujące. Istnieją dowody, iż zawodnicy o wyższym poziomie siły mięśniowej i dłuższym stażu treningowym osiągają lepsze efekty PAP (Seitz i wsp. 2014). Są także badania, z których wynika, iż aspekty morfologiczne, takie jak skład włókien

mięśniowych oraz długość ścięgien i proporcje poszczególnych części ciała także modyfikują efektywność PAP (Seitz i Haff 2016). Mając powyższe na uwadze wielu autorów wskazuje na dużą zmienność międzyosobniczą w reakcjach na bodźce aktywujące, twierdząc, iż badania efektywności różnych ćwiczeń stosowanych w protokołach PAP powinny być rozpatrywane indywidualnie a nie populacyjnie (Lim i Kong 2013). Wyróżnia się, zatem osoby o dodatniej (positive responders) i ujemnej reaktywności (negative responders) na bodźce aktywujące oraz tak zwanych nonresponders, czyli osoby, u których nie obserwujemy poprawy ani pogorszenia wyników (Healy i Comyns 2017).

Kluczowym aspektem badań związanych z efektywnością wzmocnienia poaktywacyjnego wydaje się być charakter ćwiczenia aktywującego oraz jego intensywność, objętość oraz czas przerwy wypoczynkowej pomiędzy aktywacją a eksplozywną czynnością ruchową. W odniesieniu do szybkości biegowej istnieje bardzo duża ilość badań eksperymentalnych z wykorzystaniem zjawiska PAP, jednakże większość z nich dotyczy szybkości w grach zespołowych (McBride i wsp. 2005, Comyns i wsp. 2010, Chatzopoulos i wsp. 2007, Brink i wsp. 2021). 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. Duża część badań dotyczy aktywacji poprzez klasyczne ćwiczenia ciężkoatletyczne, takie jak rwanie i podrzut sztangi, natomiast równie liczne są badania wykorzystujące ćwiczenia plajometryczne w fazie aktywacji. Zdecydowanie mniej doniesień o efektywności PAP dotyczy biegu z oporem. Aktywacja poprzez przysiad ze sztangą była rozpatrywana przy użyciu wysokiej intensywności wysiłku (70-100% 1RM) i małej objętości (1 do 5-6 pow.), a efekt w odniesieniu do szybkości biegowej mierzony był na dystansach od 5 do 100m. W większości badań wykazano poprawę wyników (Chatzopoulos i wsp. 2007, Linder i wsp. 2010, Wyland i wsp. 2015), jednakże są doniesienia o negatywnym wpływie tej formy aktywacji (Crewther i wsp. 2011) oraz badania, których wyniki są niejednoznaczne (Bevan i wsp. 2010, Comyns i wsp. 2011). Stosując rzut sztangi o wysokiej intensywności (90% 1RM), jako ćwiczenie aktywujące jeden autor wykazał brak poprawy wyników w biegu sprinterskim (Guggenheimer i wsp. 2009), podczas gdy w innych badaniach (Seitz i wsp. 2014) osiągnięto istotną poprawę wyników na dystansie 20m. Czynnikiem różnicującym te badania był czas przerwy wypoczynkowej pomiędzy ćwiczeniem aktywującym a biegiem sprinterskim, który wynosił odpowiednio 3 i 7 min. Z powyższego wynika, iż niezwykle ważnym aspektem wystąpienia efektu PAP jest odpowiednio długa indywidualna przerwa

wypoczynkowa, podczas której dochodzi do przewyższenia stanu pobudzenia nad zmęczeniem. Badania wykorzystujące ćwiczenia plajometryczne w protokołach aktywujących najczęściej wykazują poprawę wyników w biegach sprinterskich na różnych dystansach. Wielu autorów argumentuje to podobną strukturą czynności ruchowych występujących w ćwiczeniach plajometrycznych (wieloskoki, wyskoki naprzemianstronne, skipy itp.) oraz zbliżonym czasem kontaktu stopy z podłożem podczas fazy odbicia. Wysoką efektywnością charakteryzują się badania, w których zastosowano tak zwane „skoki w głąb” zarówno jedno- jak i obunóż. W przypadku ćwiczeń plajometrycznych istnieją badania, w których uczestniczyli zawodnicy gier zespołowych, jak również klasyczni sprinterzy (Bonfim Lima i wsp. 2011, Till i Cooke 2009, Seitz i Haff 2015). Niektóre badania z wykorzystaniem ćwiczeń plajometrycznych potwierdzają, iż efekt PAP można uzyskać w zdecydowanie krótszym czasie po aktywacji niż w przypadku klasycznych ćwiczeń oporowych z dużym obciążeniem zewnętrznym (Seitz i Haff 2015). 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). Wielkość aplikowanego oporu zewnętrznego stosowanego w dotychczasowych badaniach jest także mocno zróżnicowana, od 25-30% masy ciała w pracy Whelana i wsp. (2014) do 75 i 150% w badaniach Winwooda i wsp. (2016). W obu przypadkach testowano efekty aktywacji na krótkich odcinkach biegowych (5-15m) uzyskując brak lub nieznaczną poprawę wyników.

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.

2.2. 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 wzrost natychmiastowej szybkości biegowej.

2.3. Osiągnięcie Naukowe

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest osiągnięcie naukowe przedstawione w postaci trzech monotematycznych prac opublikowanych w czasopismach znajdujących się na liście FJCR 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 nowoczesne 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 odciążeniem 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 obuwiu specjalistycznym (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). 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]. 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 zostały 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 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 wspomagania.

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 wyższe wartości. 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 poprawiła 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 wspomaganiami z wykorzystaniem prędkości supramaksymalnych nie wpłynęła na poprawę prędkości startowej na dystansie 10m jak i maksymalnej na dystansie 50m. Prawdopodobnie siła ciągu wyzwalająca 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).

2.4. 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 - Optimizing 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).



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

OPEN ACCESS

Edited by:

Beat Knechtle,
 Universitätsklinikum Zürich,
 Switzerland

Reviewed by:

Souhail Hermassi,
 Qatar University, Qatar
 Beatriz Bachero-Mena,
 Universidad Pablo de Olavide, Spain
 Gertjan Ettema,
 Norwegian University of Science
 and Technology, Norway
 Roland Van Den Tillaar,
 Nord University, Norway
 Mitsuo Otsuka,
 Ritsumeikan University, Japan
 Liam Patrick Kilduff,
 Swansea University, United Kingdom
 Tomás T. Freitas,
 Catholic University of Murcia, Spain
 Saulo Gil,
 University of São Paulo, Brazil

*Correspondence:

Michał Krzysztofik
 m.krzysztofik@awf.katowice.pl

Specialty section:

This article was submitted to
 Exercise Physiology,
 a section of the journal
 Frontiers in Physiology

Received: 10 January 2021

Accepted: 04 February 2021

Published: 05 March 2021

Citation:

Matusiński A, Pietraszewski P,
 Krzysztofik M and Gołaś A (2021) The
 Effects of Resisted Post-Activation
 Sprint Performance Enhancement
 in Elite Female Sprinters.
 Front. Physiol. 12:651659.
 doi: 10.3389/fphys.2021.651659

Aleksander Matusiński¹, Przemysław Pietraszewski², Michał Krzysztofik^{2*} and Artur Gołaś²

¹ Department of Exercise and Sport Performance, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Katowice, Poland, ² Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Katowice, Poland

Considering the effectiveness of resisted sprint training, and the acute enhancement of sprinting performance through locomotor post-activation performance enhancement, the main objective of the research was to determine the acute effects of resisted activation with loads of 5, 10, and 15% body mass on sprint and flying start sprint performance in elite female sprinters using resisted drag technology system. Ten elite female sprinters (age: 23.2 ± 5.4 years, body mass: 54.2 ± 6.1 kg, height: 167.4 ± 7.3 cm, personal best for 100 m: 12.05 ± 0.56 s, and for 400 m: 53.17 ± 2.76 s) performed two unresisted 20-m sprints (from a crouched and flying start) before and after a single resisted sprint loaded with 5, 10, or 15% body mass to verify the effectiveness of the activation stimulus. Compared with pre-activation, Friedman tests showed that peak velocity increased by $1.6 \pm 2.2\%$ [effect size (ES) = 0.66], $2.3 \pm 1.5\%$ (ES = 1.33), and $0.2 \pm 1\%$ (ES = 0.09), as well as peak force by $2.8 \pm 2.1\%$ (ES = 0.49), $3.5 \pm 2.3\%$ (ES = 1), and $0.5 \pm 2.4\%$ (ES = 0.14), concomitant with a significant decreased in sprint time by $-0.5 \pm 1.2\%$ (ES = -0.07), $-2.5 \pm 1.3\%$ (ES = -0.64), and $-1 \pm 1.4\%$ (ES = -0.36) for the 5, 10, and 15% body mass post-activation, respectively ($p < 0.001$; for all). Furthermore, the ANOVA showed that peak power increased by $2.9 \pm 2.3\%$ (ES = 0.61), $3.8 \pm 2.2\%$ (ES = 1.05), and $2 \pm 7.1\%$ (ES = 0.22) for the 5, 10, and 15% body mass resisted-conditioning activity, respectively, with no difference between the three conditions ($p = 0.003$ main effect time, no interaction). Moreover, compared with the 5 and 15% body mass trials [$-1.5 \pm 2\%$ (ES = -0.44), $-0.8 \pm 0.8\%$ (ES = -0.44), respectively], the ANOVA showed that flying start sprint time significantly decreased by $-4.3 \pm 1.1\%$ (ES = -1.25) ($p < 0.001$, interaction effect) after a 10% body mass resisted-conditioning activity. The results of this study indicated that resisted sprints acutely enhance sprint performance; however, their effectiveness depends on the applied load. A single resisted sprint using 10% body

mass is effective at inducing a potentiating effect on subsequent 20-m flying start sprint performance in elite female sprinters. Therefore, keeping in mind the optimal load, it is recommended to perform resisted sprints as a conditioning activation when seeking to acutely enhance 20-m flying start sprint performance in these athletes.

Keywords: sprinting, post-activation performance enhancement, post-activation potentiation (PAP), sprint training, training and development, resisted sprint training, resisted sprint

INTRODUCTION

Sprinting as a key motor ability in numerous sport disciplines has been studied extensively from many different perspectives. Sprinters are often included in scientific investigations, which most often include acute studies of exercise metabolism (Ross and Leveritt, 2001; Gorostiaga et al., 2010), biomechanical analysis of high-velocity running (Cronin et al., 2008; Čoh and Mackala, 2013; Mackala and Mero, 2013), and alterations in stride length and stride frequency due to different training interventions (Bushnell and Hunter, 2007; Hanon and Gajer, 2009). A wide range of training interventions are used, and one of them is resistance exercise, which has been shown to be effective in both acute and chronic improvement of sprint performance (Seitz et al., 2014b; Bolger et al., 2015; Haugen et al., 2019). Resistance exercises directed at improving sprinting speed include locomotor activities and fixed plane resistance exercises, such as jump squats and different variations of the clean and jerk and the snatch (Harris et al., 2008; Bolger et al., 2015). The locomotor form of resistance sprint training includes towing a weighted sled, tire, or runs with a parachute, or some other devices that offer resistance (Upton, 2011). However, sled towing has been investigated the most (Petraikos et al., 2016). Resisted sprint training may involve towing a sled, which provides an overload through the friction between the sled and ground surface, or a modern advanced training device, which uses drag technology to provide fully controlled resistance during the movement, such as the 1,080 Sprint (Cross et al., 2018; Mangine et al., 2018; Gepfert et al., 2020).

Resisted sprint training can be considered from the standpoint of acute as well as chronic adaptive changes within the muscles, tendons, and the central nervous system (CNS). Chronic changes in trained athletes occur following several weeks of progressive training, while acute changes relate to a single training session, where the objective is to enhance performance by additional activation through a resistance exercise. Performing a resistance exercise causes contractile stimulation, followed by fatigue and potentiation (Seitz and Haff, 2016). The force that a muscle or groups of muscles produce after contractile activity is a result of the balance between fatigue and potentiation (Docherty and Hodgson, 2007). The desired state for a sprinter following a contractile stimulation is called post-activation potentiation (PAP), which enhances muscular performance (Hodgson et al., 2005; Golaś et al., 2016). Several mechanisms have been proposed to explain the PAP phenomenon. They include phosphorylation of myosin regulatory light chains, increased recruitment of higher-order motor units, and changes in pennation angle (Sale, 2002; Robbins, 2005). However, it has been suggested that

when a performance-related PAP approach is used instead of a mechanistic one, the concept of post-activation performance enhancement (PAPE) should be used (Blazevich and Babault, 2019; Prieske et al., 2020). With respect to that, we decided that the term PAPE would be appropriate for this study.

Resisted sprint training has a strong transfer between training and performance, which in addition creates appropriate conditions for using the PAPE effect. In training, this phenomenon is achieved by using a complex training set consisting of a loaded conditioning activity, followed by an explosive post-activation exercise with a similar movement pattern (Golaś et al., 2016). Previous studies have shown a beneficial effect of prior conditioning activity on performance during throwing and jumping movements (Dello Iacono et al., 2020; Krzysztofik et al., 2020a,b). In relation to sprints, the use of towing as a conditioning activity has been shown to be effective in acute enhancement of sprint sessions (Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; van den Tillaar and von Heimburg, 2017; Wong et al., 2017; Mangine et al., 2018). The protocols of the above-mentioned studies analyzed a very wide range of loads applied during conditioning activity, from 5 to even 150% of body mass. Winwood et al. (2016) found a non-significant improvement in 5-, 10-, and 15-m sprint times at 8 and 12 min after 75% but not after 150% of body mass sled pull (by ~ 1.6 , ~ 1.8 , and $\sim 0.8\%$ decrease in sprint time). Similarly, Seitz et al. (2017) reported a significantly faster 20-m sprint time (by $\sim 1.8\%$) following sled pulls with a load of 75% but not after 125% of body mass in male rugby players. Interestingly, van den Tillaar and von Heimburg (2017) have indicated similar improvements in 20-m sprint time (by $\sim 2\%$) among experienced female handball players using resisted sprints with only an absolute load of 5 kg, which corresponded to $\sim 7.3\%$ of average participant's body mass. Nevertheless, the authors investigated the effectiveness of a single-load activation, and it is not certain whether a slightly lower or higher load will prove even more effective. Additionally, in each of these studies, the authors assessed the impact of the PAPE effect on the time of sprint performed from standing or crouching start, at a distance not exceeding 20 m. Only the study by van den Tillaar et al. (2018) investigated the acute effect of resisted sprints with 10% body mass upon 60-m sprint performance. Contrary to previous studies, the authors found an increase in the sprint times on average over 4.45%. As the resisted sprints were also performed at a distance of 60 m, it probably led to excessive fatigue. In studies that showed a positive effect of resisted sprints on the acute improvements of sprint performance, they were performed over a short distance, around 15–20 m (Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; van den Tillaar and von Heimburg, 2017). Therefore, it is still uncertain whether

the performance enhancement might be also noticed on longer distances or different phases of the sprint.

Despite wide evidence supporting the effectiveness of PAPE protocols for acute improvements in sports performance, there is still a need for studies in groups of female participants. The vast majority of investigations were performed on male participants (Whelan et al., 2014; Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; Wong et al., 2017; Krzysztofik et al., 2020a,b, 2021), whereas little scientific data are available regarding the use of the PAPE effect in female participants (van den Tillaar and von Heimburg, 2017; Pajerska et al., 2020). Although some facts might predispose males to experience a greater PAPE effect than females, such as greater number of type II fibers or greater muscle strength (Hicks et al., 2001; Trappe et al., 2003; Seitz et al., 2014a), it was not proven in the literature. A meta-analysis conducted by Wilson et al. (2013) showed that the PAPE effect occurs independently of gender, which was also confirmed by subsequent studies (Ah Sue et al., 2016; Simpson et al., 2018; Harat et al., 2020). Nevertheless, there are definitely fewer studies on PAPE among women, so it is still warranted to assess within females as well as a comparison between genders.

Considering the effectiveness of resisted sprint training, and the acute enhancement of sprinting performance through locomotor PAPE, we decided to evaluate the optimal loading for the engine assisted drag technology system 1,080 Sprint. To provide a targeted and uniform stimulus for each participant, we decided to choose relative loads instead of absolute. Since the literature prescribes loads below 15% of body mass to not impair the sprint technique (Lockie et al., 2003; Alcaraz et al., 2008, 2009; Behrens and Simonson, 2011), and training loads for improvements in acceleration and maximum phase of sprint differ (Alcaraz et al., 2009), we decided to verify the acute effects of resisted activation with a load of 5, 10, and 15% body mass on the 20-m sprint and 20-m flying start sprint in elite female sprinters. Based on previous research (Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; van den Tillaar and von Heimburg, 2017), we hypothesized that a resisted sprint with 10 and 15% body mass will improve the performance of the subsequent 20-m sprint from crouched and flying start, while a 5% body mass will have no effect.

MATERIALS AND METHODS

Participants

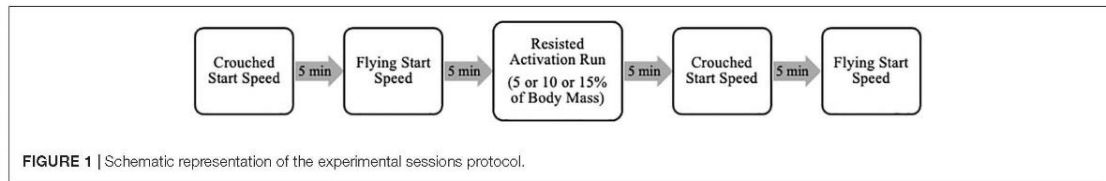
Ten female sprinters (from 100 to 400 m), members of the national team, participated in the study. The research was carried out during a 10-day camp in the Olympic Training Center. Their average personal best for 100 and 400 m, age, body mass, and body height were 12.05 ± 0.56 s, 53.17 ± 2.76 s, 23.2 ± 5.4 years, 54.2 ± 6.1 kg, and 167.4 ± 7.3 cm, respectively. The participants were in the preparation phase to the season, in the initial mesocycle focused on short sprints and strength-power training. All of the participants declared that they were in the luteal phase of their menstrual cycle during the experiment. All of the athletes who participated in the study met the following criteria of inclusion: they had been national team members for

at least 2 years; they had competed at national and international levels in the last year; they had a previous experience with resisted sprint training; and they were free from any medical problems. The participants were informed verbally and in writing about the procedures, and possible risks and benefits of the study, and they provided written consent before the commencement of the study. Moreover, they were asked to maintain their normal dietary and sleep habits throughout the study and not to use any supplements or stimulants for 24 h prior to the sessions. The study received the approval of the Bioethical Committee of the Academy of Physical Education in Katowice (10/2018) and performed according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki, 2013. To calculate the sample size, statistical software (G*Power, Dusseldorf, Germany) was used. Given the study two-way ANOVA (three loads and two repeated measures), a moderate overall effect size (ES) = 0.7, an alpha error <0.05, and the desired power ($1 - \beta$ error) = 0.8, the total sample size resulted in nine participants.

Procedures

During particular trials, the 1,080 Sprint engine assisted measuring system (1,080 Motion AB, Stockholm, Sweden) was used for the precise selection of loads and variables, adapted to the diagnostics of sports training and performance (Gepfert et al., 2020). The system uses changing intelligent drag technology to provide fully controlled resistance in the resisted and assisted phases of the movement. The device can record running time with an accuracy of 0.01 s and the average and peak values of such variables as force (N), power (W), and velocity (m/s). According to the data reported by the manufacturer, the system shows high repeatability and accuracy for measuring position ($\pm 0.5\%$), velocity ($\pm 0.5\%$), and force (± 4.8 N) (Bergkvist et al., 2015).

The evaluations were carried out over 7 days, on Monday, Wednesday, Friday, and Sunday, with a day of rest separating the test protocols to avoid accumulation of fatigue. To prevent the influence of weather conditions (wind, temperature, etc.) on performance, the tests were performed on an indoor synthetic track. All activation, familiarization, and testing sessions were performed at the same time of the day, between 10:00 a.m. and 12:00 p.m., to avoid the influence of circadian rhythm on performance. On Monday, the participants were familiarized with the experimental loaded sprints procedure with 5, 10, and 15% body mass and were subjected to anthropometric measurements (height and weight). The participants used their track spikes during the activation protocol and during the sprint evaluations. The research protocol was always preceded by a standardized, sprint specific warm-up that was consistent with participants' normal training habits. The test protocol for each day was identical, except for the resistance used during the activation protocol as shown in **Figure 1**. It consisted of two pre-activation runs from a crouched and flying start, followed by a resisted activation run with chosen load (5, 10, or 15% body mass in random order); next, the same two post-conditioning activity test trials from a crouched and flying start were performed, which were used to verify the effectiveness of the activation stimulus. Five-minute rest intervals were used between each run. This recovery interval was chosen because the participants in



the current study were well-trained and the loads used during conditioning activity were likely to be low. In such situations, the evidence indicates that a 5-min post-conditioning activity recovery interval is sufficient to elicit a meaningful improvement in sprint performance (Seitz and Haff, 2016; van den Tillaar and von Heimburg, 2017). Each activation run with different resistance was performed on separate days (Wednesday, Friday, and Sunday), including a day of recovery in between. Only a single run was performed as an activation because previous studies have shown that it is sufficient to immediately improve sprint performance (Seitz et al., 2017; Mangine et al., 2018) and to focus on the effect of the load instead of volume on the results obtained. Participants started from a standing position over a distance of 20 m, and maximum acceleration throughout the entire distance is required from the participants. The participants were attached to the measuring device in the same way as during the crouched start.

The crouched start trial evaluated sprint performance and consisted of running 20 m with maximum effort, with minimal resistance (1 kg). After receiving a verbal signal, the participants started. During the test, the participants were connected to the 1,080 Sprint measuring device with a light belt fastened around the hips, so that their movements were not restricted in any way, as shown in **Figure 2**. The 1,080 Sprint was firmly attached to the ground. During the 20-m sprint trial, the time (s) and the following variables were recorded in peak values: power (W), force (N), and velocity (m/s). These values were measured since the evidence suggests that sprint performance is reliant on the expression of the absolute level and balance of power, force, and velocity (Morin et al., 2011; Samozino et al., 2012). The velocity is determined through a high-resolution optical encoder measuring the position of the motor axis, which is used to calculate velocity and acceleration through differentiation of position with regard to time. The sampling frequency of position data is 333 Hz. The force is determined based on the amount of current and voltage sent to the motor by the servo drive. The actual torque of the motor shaft can then be determined, and power measures were ultimately calculated using the product of velocity and force (Bergkvist et al., 2015). However, it should be noted that the device takes into account only the force of the cord without the ground reaction force, which means that it is not the total power generated during the start of a sprint by an athlete. Based on sprint trials from the familiarization session, the intraclass correlation coefficients were 0.971 for 20-m sprint time, 0.905 for velocity, 0.931 for force, and 0.895 for power. The flying start trial was performed after a 5-min rest interval from a crouched start. This trial assessed flying start sprint time (s), a start to a time trial in which the participants are already running with maximum

effort in a 20-m distance and passes the starting line, and the measurement is performed for the next 20 m. The time of the 20-m flying start sprint was recorded with a set of photocells (Witty, Microgate, Bolzano, Italy). The intraclass correlation coefficient was 0.940 for 20-m flying start sprint time.

Statistical Analysis

All analyses were performed using SPSS (version 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, United States) and were expressed as means with standard deviations (\pm SD). Statistical significance was set at $p < 0.05$. The Shapiro–Wilk tests were used in order to verify the normality of the sample's data. Two-way repeated-measures ANOVA were used to compare changes in the variables pre- and post-conditioning activity under the three loaded conditions (5, 10, and 15% of body mass). ESs for main effects and interaction were estimated by calculating partial eta squared values (η^2). Partial eta squared (η^2) values were classified as small (0.010–0.059), moderate (0.060–0.137), and large (>0.137) (Cohen, 2013). Mauchly's tests were conducted to test for sphericity of data; and if violated ($p < 0.05$), the Greenhouse–Geisser adjustment value was used. In the event of a significant main effect, *post hoc* comparisons were conducted using the Bonferroni tests. ES was determined for pairwise comparisons using Cohen's d , and 95% confidence intervals were also calculated. ESs were defined as trivial ($d < 0.20$), small (d between 0.20 and 0.49), moderate (d between 0.50 and 0.79), and large ($d > 0.80$) (Cohen, 2013). However, when the normality was not confirmed, related-samples Friedman's two-way ANOVA by ranks were used; ESs were estimated by Kendall's coefficient of concordance. When significant, pairwise comparisons were also conducted using a Bonferroni test.

RESULTS

The Shapiro–Wilk tests indicated that the normality of the data was violated for sprint time, peak velocity, and peak force. Friedman's test showed differences in pre- and post-conditioning activity values for sprint time (test = 23.96; $p < 0.001$; Kendall's $W = 0.479$), peak velocity (test = 22.49; $p < 0.001$; Kendall's $W = 0.450$), and peak force (test = 24.61; $p < 0.001$; Kendall's $W = 0.492$). Pairwise comparisons demonstrated a decrease of sprint time and increase in peak velocity values after the 10% body mass resisted-conditioning activity when compared with pre-conditioning activity values ($p = 0.006$ and $p = 0.035$, respectively) (**Table 1**).

The two-way repeated-measures ANOVA indicated no interaction effect for peak power ($p = 0.625$, $\eta^2 = 0.051$). However,



FIGURE 2 | Participant Connection to the SPRINT 1080 device.

TABLE 1 | Pre- and post-conditioning activity sprint results at 20 m.

Time (s)	Baseline (95% CI)	PAPE (95% CI)	ES (95% CI)	Relative effects (%)
Load (% of body mass)				
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
Peak Velocity (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
Peak force (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
Peak power (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

*Indicates a significant difference between pre- and post-conditioning activity (<0.05). PAPE, post-activation performance enhancement; ES, effect size; CI, confidence interval.

there was a main effect of time for peak power ($p = 0.004$, $\eta^2 = 0.624$). Therefore, an increase of peak power values was registered after 5 and 10% when compared with pre-conditioning activity values ($p = 0.003$ and $p < 0.001$, respectively) but not after 15% body mass resisted-conditioning activity ($p = 0.421$). Moreover, the two-way repeated-measures ANOVA indicated an interaction effect for flying start sprint ($p < 0.001$, $\eta^2 = 0.66$). The *post hoc* comparisons showed a significant decrease of flying start sprint time after all analyzed loads—5, 10, and 15% body mass resisted-conditioning activity—when compared with pre-conditioning activity values ($p = 0.043$, $p < 0.001$, and $p = 0.012$, respectively) (Table 2).

DISCUSSION

The aim of the present study was to examine if 20-m sprint performance could be enhanced by the resisted 20-m sprints as a prior conditioning activity and which load produced the highest benefits. The primary finding of this study was that in comparison with the 5 and 15% of body mass trials, the 10% body mass resisted-conditioning activity most improved flying start sprint time during subsequent 20-m sprints by $\sim 4.3\%$. Moreover, an increase in peak velocity, peak force, and peak power was found, concomitant with a reduction in 20-m sprint time in comparison with pre-activation values, with no significant difference between the three conditions. The obtained data can provide meaningful knowledge for future research and training guidance for trainers and practitioners. First, athletes and coaches could be interested to include a single resisted sprint in the warm-up or prior to competition to enhance sprinting performance afterward. Second, the potentiating effect depends on the applied load, so if coaches and athletes decide to implement this training practice, based on the results obtained in this study, it is recommended to use 10% body mass for elite female sprinters.

The vast majority of studies have focused on chronic adaptations to resisted sprint training (West et al., 2013; Petrakos et al., 2016; Alcaraz et al., 2018; Gil et al., 2018), and only a few have assessed the acute effects of resisted sprints on subsequent sprint performance (Whelan et al., 2014; Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; van den Tillaar and von Heimburg, 2017; Wong et al., 2017; Mangine et al., 2018; van den Tillaar et al., 2018; Thompson et al., 2021). In addition, those that were conducted analyzed the effectiveness of a single or two very high loads (75–150% of body mass) on inducing the potentiating effect

(Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017). Moreover, they are mainly limited to the use of sleds (Whelan et al., 2014; Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; van den Tillaar and von Heimburg, 2017; Wong et al., 2017; van den Tillaar et al., 2018). When using a cable resistance device, the load is the same for an entire movement. While in the case of resisted sprint training with the use of the sled, the greatest resistance occurs at the beginning of the movement due to the force needed to overcome the static friction and then slightly decreases as force is required to continue the movement. To the best of the authors' knowledge, only two studies to date assessed the acute effects of resisted sprints using a cable resistance device (Mangine et al., 2018). The study by Mangine et al. (2018) found no improvement in the 20-m sprint time after resisted sprints with a load equal to 5% of body mass. Moreover, Thompson et al. (2021) compared the potentiation effect of resisted sprints with a load of $\sim 16\%$ of body mass ($\sim 45\%$ body mass sled equivalent load, as the cable device, is not dependent on sprint surface coefficient of friction) with unresisted sprints on subsequent 5- and 20-m sprint performance in varsity-level sprinters. The authors found that resisted and unresisted sprints are ineffective in inducing acute sprint performance enhancement. Nevertheless, the authors examined the activation effectiveness of a single load and 3-min (Mangine et al., 2018) or 5-min (Thompson et al., 2021) rest intervals between sprints. Our study showed the greatest improvement in sprint evaluated at 20 m, after applying a load equal to 10% of body mass ($\sim 2.5\%$ decrease in sprint time). Similar to Mangine et al. (2018) and Thompson et al. (2021), the results of this study also showed that the load equal to 5 and 15% of body mass did not significantly enhance 20-m sprint time (an improvement of ~ 0.5 and -1% , respectively). This may indicate that, in the case of cable resisted sprints, a load equal to 5 and 15% of body mass is ineffective to elicit the meaningful PAPE effect. However, it cannot be ruled out that with the length of the rest intervals used between the conditioning activity and the sprint other than those used in this study, e.g., shorter for 5% and longer for 15%, these loads might reveal different findings.

Another explanation of the results obtained may be related to the change in the muscle activation pattern between the loads applied during conditioning activity. Studies by van den Tillaar (2020) and Zabaloy et al. (2020) showed that heavier loads led to decrease calf and hamstring muscle activity, while quadriceps muscle activity increased. Thus, it is possible that a particular sprint distance or phase requires a different load

TABLE 2 | Pre- and post-conditioning activity flying start sprint results at 20-m sprint.

Load (% of body mass)	Baseline (95% CI)	PAPE (95% CI)	ES (95% CI)	Relative effects (%)
5%	2.42 ± 0.08 (2.36 to 2.48)	2.38 ± 0.1* (2.31 to 2.45)	-0.44 (-1.31 to 0.46)	-1.5 ± 2
10%	2.41 ± 0.08 (2.35 to 2.47)	2.31 ± 0.08* (2.25 to 2.36)	-1.25 (-2.15 to -0.25)	-4.3 ± 1.1
15%	2.39 ± 0.05 (2.36 to 2.42)	2.37 ± 0.04* (2.34 to 2.4)	-0.44 (-1.31 to 0.46)	-0.8 ± 0.8

*Indicates a significant difference between pre- and post-conditioning activity (< 0.05). PAPE, post-activation performance enhancement; ES, effect size; CI, confidence interval.

during conditioning activity. For example, Wong et al. (2017) showed that sled towing with 30% of body mass led to an improvement of sprint time by $\sim 4.4\%$ in the acceleration phase over the first 5 m, but not in other split times (5-10, 10-20, and 20-30 m). In turn, the results of our study showed that even greater improvements in flying start sprint were registered after activation with a load equal to 10% body mass (by $\sim 4.3\%$). Therefore, the future research should assess whether the acute improvements will also contribute to the long-term adaptations as previously indicated that heavy-loaded resisted sled training is an effective method to improve sprint performance, specifically in the early acceleration phase (e.g., 0–5 m) (Petrakos et al., 2016; Alcaraz et al., 2018), while light loads may have a greater potential to enhance maximum velocity.

It is worth noting that another novel value of this study was the group of elite female sprinters. Studies assessing the acute impact of resisted sprints on eliciting the PAPE effect in a subsequent sprint were carried out on mixed-gender (Mangine et al., 2018) or male groups (Whelan et al., 2014; Winwood et al., 2016; Seitz et al., 2017; Wong et al., 2017), with only a single study on females (van den Tillaar and von Heimburg, 2017). A study by van den Tillaar and von Heimburg (2017) indicated that resisted sprints with an absolute load of 5 kg (the effectiveness of only this load was assessed for sprints with resistance), which corresponded to $\sim 7.3\%$ of average participant's body mass, resulted in $\sim 2\%$ decrease in the 20-m sprint time among experienced female handball players. Slightly greater improvement ($\sim 2.5\%$) was achieved in this study using a resisted sprint of 10% of body mass. Therefore, it seems that resisted sprint with a load of approximately 10% of body mass is a suitable conditioning activity for inducing PAPE during the 20-m sprints in well-trained females. Despite the fact that previous studies have indicated that the PAPE effect is not affected by gender (Wilson et al., 2013; Ah Sue et al., 2016; Simpson et al., 2018; Harat et al., 2020), it cannot be excluded that slightly different parameters should be used when women are trained. Bearing in mind the current findings by van den Tillaar (2020) that women should sprint with approximately 10% less loads than men during resisted sprints to have equal step and joint kinematics development, it can be speculated that also a lower load to induce PAPE might be recommended for women. Nevertheless, it requires confirmation by further studies.

The present study has several limitations that should be addressed. The first limitation of the study is that the current protocol only compares the effect of different loads during conditioning activity because the control group was not included. Moreover, the assessment of performance was based only on a single running distance (20 m), as well as a single run of the resisted-conditioning activity. Therefore, the results of the presented study do not translate to other distances. Furthermore, a constant rest interval between the conditioning activity and the subsequent sprint for all participants could have affected the results. Although the results showed a decrease in flying start sprint time, following the 10% body mass resisted-conditioning activity, the mechanistic approaches cannot be directly determined and explained. Moreover, the influence of the analyzed resistances on changes in the mechanics of the run

was also not assessed. It should also be noted that the speed and time in the runs before and after activation could have been affected by the load applied during these runs, the minimum necessary (1 kg) to maintain the tension of the cord and thus to perform the measurements by the device. Furthermore, the device takes into account only the force of the cord without the ground reaction force, which means that it is not the total power generated during the start of a sprint by an athlete. Future research should also directly compare the effectiveness of resisted and assisted conditioning activity with various resistance and whether the reported acute sprint enhancement will translate into chronic performance improvement. Taking into account that the training experience and gender have a significant impact on the PAPE effect, the protocol of this study should be replicated in male sprinters and with youth female athletes with lower training experience.

CONCLUSION

Findings of the current study show that a resisted-conditioning activity (10% of body mass) effectively enhances 20-m flying start sprint performance among elite female sprinters. Nevertheless, we cannot be assured that this short-term improvement will contribute to chronic adaptations. However, the employment of resisted-conditioning activity may be effective in acute sprint performance enhancement (e.g., during the warm-up prior to competition) and introduce a new training stimulus for elite sprinters.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

ETHICS STATEMENT

The studies involving human participants were reviewed and approved by The Bioethical Committee of the Academy of Physical Education in Katowice (10/2018). The patients/participants provided their written informed consent to participate in this study.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

AM and PP: conceptualization. AG and PP: data curation and formal analysis. AM, PP, and AG: investigation. MK: writing – original draft. MK: writing – review and edited. All authors contributed to the article and approved the submitted version.

FUNDING

The study was supported and funded by the statutory research of the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland.

REFERENCES

- Ah Sue, R., Adams, K., and DeBeliso, M. (2016). Optimal timing for post-activation potentiation in women collegiate volleyball players. *Sports* 4:27. doi: 10.3390/sports4020027
- Alcaraz, P. E., Carlos-Vivas, J., Oponjuru, B. O., and Martínez-Rodríguez, A. (2018). The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 48, 2143–2165. doi: 10.1007/s40279-018-0947-8
- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., and Elvira, J. L. L. (2009). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *J. Strength Cond. Res.* 23, 480–485. doi: 10.1519/JSC.0b013e318198f92c
- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L., and Linthorne, N. P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J. Strength Cond. Res.* 22, 890–897. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816611ea
- Behrens, M. J., and Simonson, S. R. (2011). A comparison of the various methods used to enhance sprint speed. *Strength Cond. J.* 33, 64–71. doi: 10.1519/SSC.0b013e318210174d
- Bergkvist, C., Svensson, M., and Eriksrud, O. (2015). *Validation of 1080 Sprint and 1080 Quantum*. Stockholm: 1080 Motion, 1–16.
- Blazevich, A. J., and Babault, N. (2019). Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Front. Physiol.* 10:1359. doi: 10.3389/fphys.2019.01359
- Bolger, R., Lyons, M., Harrison, A. J., and Kenny, I. C. (2015). Sprinting performance and resistance-based training interventions: a systematic review. *J. Strength Cond. Res.* 29, 1146–1156. doi: 10.1519/JSC.0000000000000720
- Bushnell, T., and Hunter, I. (2007). Differences in technique between sprinters and distance runners at equal and maximal speeds. *Sports Biomech.* 6, 261–268. doi: 10.1080/14763140701489728
- Čoh, M., and Mackala, K. (2013). Differences between the elite and subelite sprinters in kinematic and dynamic determinations of countermovement jump and drop jump. *J. Strength Cond. Res.* 27, 3021–3027. doi: 10.1519/JSC.0b013e31828c14d8
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd Edn. New York, NY: Routledge. doi: 10.4324/9780203771587
- Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., and Mcnair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomech.* 7, 160–172. doi: 10.1080/14763140701841381
- Cross, M. R., Lahti, J., Brown, S. R., Chedati, M., Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., et al. (2018). Training at maximal power in resisted sprinting: optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PLoS One* 13:e0195477. doi: 10.1371/journal.pone.0195477
- Dello Iacono, A., Beato, M., and Halperin, I. (2020). The effects of cluster-set and traditional-set postactivation potentiation protocols on vertical jump performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 15, 464–469. doi: 10.1123/ijspp.2019-0186
- Docherty, D., and Hodgson, M. J. (2007). The application of postactivation potentiation to elite sport. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2, 439–444. doi: 10.1123/ijspp.2.4.439
- Gepfert, M., Golas, A., Zajac, T., and Krzysztofik, M. (2020). 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* 17:5057. doi: 10.3390/ijerph17145057
- Gil, S., Barroso, R., Crivoi do Carmo, E., Loturco, I., Kobal, R., Tricoli, V., et al. (2018). Effects of resisted sprint training on sprinting ability and change of direction speed in professional soccer players. *J. Sports Sci.* 36, 1923–1929. doi: 10.1080/02640414.2018.1426346
- Golas, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., and Stastny, P. (2016). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J. Hum. Kinet.* 52, 95–106. doi: 10.1515/hukin-2015-0197
- Gorostiaga, E. M., Asiain, X., Izquierdo, M., Postigo, A., Aguado, R., Alonso, J. M., et al. (2010). Vertical jump performance and blood ammonia and lactate levels during typical training sessions in elite 400-m runners. *J. Strength Cond. Res.* 24, 1138–1149. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cf769f
- Hanon, C., and Gajer, B. (2009). Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *J. Strength Cond. Res.* 23, 524–531. doi: 10.1519/JSC.0b013e318194e071
- Harat, I., Clark, N. W., Boffey, D., Herring, C. H., Goldstein, E. R., Redd, M. J., et al. (2020). Dynamic post-activation potentiation protocol improves rowing performance in experienced female rowers. *J. Sports Sci.* 38, 1615–1623. doi: 10.1080/02640414.2020.1754110
- Harris, N. K., Cronin, J. B., Hopkins, W. G., and Hansen, K. T. (2008). Relationship between sprint times and the strength/power outputs of a machine squat jump. *J. Strength Cond. Res.* 22, 691–698. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816d8d80
- Haugen, T., Seiler, S., Sandbakk, Ø., and Tønnessen, E. (2019). The training and development of elite sprint performance: an integration of scientific and best practice literature. *Sports Med. Open* 5:44. doi: 10.1186/s40798-019-0221-0
- Hicks, A. L., Kent-Braun, J., and Ditor, D. S. (2001). Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 29, 109–112. doi: 10.1097/00036777-200107000-00004
- Hodgson, M., Docherty, D., and Robbins, D. (2005). Post-Activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Med.* 35, 585–595. doi: 10.2165/00007256-200535070-00004
- Krzysztofik, M., Wilk, M., Golas, A., Lockie, R. G., Maszczyk, A., and Zajac, A. (2020a). Does eccentric-only and concentric-only activation increase power output? *Med. Sci. Sports Exerc.* 52, 484–489. doi: 10.1249/MSS.0000000000002131
- Krzysztofik, M., Wilk, M., Lockie, R. G., Golas, A., Zajac, A., and Bogdanis, G. C. (2020b). Postactivation performance enhancement of concentric bench press throw after eccentric-only conditioning exercise. *J. Strength Cond. Res.* doi: 10.1519/JSC.0000000000003802 [Online ahead of print].
- Krzysztofik, M., Wilk, M., Stastny, P., and Golas, A. (2021). Post-activation performance enhancement in the bench press throw: a systematic review and meta-analysis. *Front. Physiol.* 11:598628. doi: 10.3389/fphys.2020.598628
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., and Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *J. Strength Cond. Res.* 17, 760–767. doi: 10.1519/1533-42872003017<0760:eorsto>2.0.co;2
- Mackala, K., and Mero, A. (2013). A kinematics analysis of three best 100 m performances ever. *J. Hum. Kinet.* 36, 149–160. doi: 10.2478/hukin-2013-0015
- Mangine, G. T., Huet, K., Williamson, C., Bechke, E., Serafini, P., Bender, D., et al. (2018). A resisted sprint improves rate of force development during a 20-m sprint in athletes. *J. Strength Cond. Res.* 32, 1531–1537. doi: 10.1519/JSC.0000000000002030
- Morin, J.-B., Edouard, P., and Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43, 1680–1688. doi: 10.1249/MSS.0b013e318216ea57
- Pajerska, K., Zajac, T., Mostowik, A., Mrzygłód, S., and Golas, A. (2020). Post activation potentiation (PAP) and its application in the development of speed and explosive strength in female soccer players: a review. *J. Hum. Sport Exerc.* 16, 122–135. doi: 10.14198/jhse.2021.161.11
- Petrakos, G., Morin, J.-B., and Egan, B. (2016). Resisted sled sprint training to improve sprint performance: a systematic review. *Sports Med.* 46, 381–400. doi: 10.1007/s40279-015-0422-8
- Prieske, O., Behrens, M., Chaabene, H., Granacher, U., and Maffiuletti, N. A. (2020). Time to differentiate postactivation “Potentiation” from “Performance Enhancement” in the strength and conditioning community. *Sports Med.* 50, 1559–1565. doi: 10.1007/s40279-020-01300-0
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *J. Strength Cond. Res.* 19:453. doi: 10.1519/R-14653.1
- Ross, A., and Leveritt, M. (2001). Long-Term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Med.* 31, 1063–1082. doi: 10.2165/00007256-200131150-00003
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 30, 138–143. doi: 10.1097/00036777-200207000-00008
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., and Morin, J.-B. (2012). Optimal force–velocity profile in ballistic movements—altius. *Med. Sci. Sports Exerc.* 44, 313–322. doi: 10.1249/MSS.0b013e31822d757a
- Seitz, L. B., de Villarreal, E. S., and Haff, G. G. (2014a). The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *J. Strength Cond. Res.* 28, 706–715. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182a73ea3
- Seitz, L. B., and Haff, G. G. (2016). Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: a systematic

- review with meta-analysis. *Sports Med.* 46, 231–240. doi: 10.1007/s40279-015-0415-7
- Seitz, L. B., Mina, M. A., and Haff, G. G. (2017). A sled push stimulus potentiates subsequent 20-m sprint performance. *J. Sci. Med. Sport* 20, 781–785. doi: 10.1016/j.jsams.2016.12.074
- Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., Saez de Villarreal, E., and Haff, G. G. (2014b). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med.* 44, 1693–1702. doi: 10.1007/s40279-014-0227-1
- Simpson, C. L., Flatman, M. M., Kim, B. D. H., Bouwmeester, N. M., and Jakobi, J. M. (2018). Increase in post activation potentiation in females following a cycling warmup. *Hum. Mov. Sci.* 57, 171–177. doi: 10.1016/j.humov.2017.12.003
- Thompson, K. M. A., Whinton, A. K., Ferth, S., Spriet, L. L., and Burr, J. F. (2021). Moderate load resisted sprints do not improve subsequent sprint performance in varsity-level sprinters. *J. Strength Cond. Res.* 35, 72–77. doi: 10.1519/JSC.0000000000002524
- Trappe, S., Gallagher, P., Harber, M., Carrithers, J., Fluckey, J., and Trappe, T. (2003). Single muscle fibre contractile properties in young and old men and women. *J. Physiol.* 552, 47–58. doi: 10.1113/jphysiol.2003.044966
- Upton, D. E. (2011). The effect of assisted and resisted sprint training on acceleration and velocity in division ia female soccer athletes. *J. Strength Cond. Res.* 25, 2645–2652. doi: 10.1519/JSC.0b013e318201be16
- van den Tillaar, R. (2020). Effect of active resisted 30 m sprints upon step and joint kinematics and muscle activity in experienced male and female sprinters. *J. Sports Sci.* 1–10. doi: 10.1080/02640414.2020.1856463 [Epub ahead of print].
- van den Tillaar, R., Teixeira, A., and Marinho, D. (2018). Acute effect of resisted sprinting upon regular sprint performance. *Acta Kinesiol. Univ. Tartu.* 23, 19–33. doi: 10.12697/akut.2017.23.02
- van den Tillaar, R., and von Heimburg, E. (2017). Comparison of different sprint training sessions with assisted and resisted running: effects on performance and kinematics in 20-m sprints. *Hum. Mov.* 18, 21–29. doi: 10.1515/humo-2017-0013
- West, D. J., Cunningham, D. J., Bracken, R. M., Bevan, H. R., Crewther, B. T., Cook, C. J., et al. (2013). Effects of resisted sprint training on acceleration in professional rugby union players: *J. Strength Cond. Res.* 27, 1014–1018. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182606c1f
- Whelan, N., O'Regan, C., and Harrison, A. J. (2014). Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance. *J. Strength Cond. Res.* 28, 1858–1866. doi: 10.1519/JSC.0000000000000357
- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M. C., et al. (2013). Meta-Analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J. Strength Cond. Res.* 27, 854–859. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb
- Winwood, P. W., Posthumus, L. R., Cronin, J. B., and Keogh, J. W. L. (2016). The acute potentiating effects of heavy sled pulls on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.* 30, 1248–1254. doi: 10.1519/JSC.0000000000001227
- Wong, M. A., Dobbs, I. J., Watkins, C. M., Barillas, S. R., Lin, A., Archer, D. C., et al. (2017). Sled towing acutely decreases acceleration sprint time. *J. Strength Cond. Res.* 31, 3046–3051. doi: 10.1519/JSC.0000000000002123
- Zabaloy, S., Carlos-Vivas, J., Freitas, T. T., Pareja-Blanco, F., Loturco, I., Comyns, T., et al. (2020). Muscle activity, leg stiffness, and kinematics during unresisted and resisted sprinting conditions. *J. Strength Cond. Res.* doi: 10.1519/JSC.0000000000003723 [Online ahead of print].

Conflict of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2021 Matusiński, Pietraszewski, Krzysztofik and Gołaś. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.



Optimizing the load for peak power and peak velocity development during resisted sprinting

Aleksander Matusiński ^{1ABCD}, Artur Gołaś ^{2ABD}, Adam Zajac ^{2ABDE},
Magdalena Nitychoruk ^{1ABCD}, Adam Maszczyk ^{2ABDE}

¹ Department of Sport Theory, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland

² Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland

Authors' Contribution: A – Study Design, B – Data Collection, C – Statistical Analysis, D – Manuscript Preparation, E – Funds Collection

Abstract

Introduction: Resistance towing is perhaps the most specific form of developing strength and power in muscles involved directly during the start, acceleration and at maximum speed. Resisted sprint training may involve towing a sled which provides an overload through the friction between the sled and ground surface or a modern advanced training device which uses drag technology to provide fully controlled resistance during the movement, such as the 1080 Sprint. The main objective of the study was to evaluate the optimal loading for the development of power in the engine assisted drag technology system SPRINT 1080. **Material and methods:** We evaluated the changes in running velocity and the generated force and power during resisted sprints over 30m with a load of 1, 3, 6, 9, 12 and 15 kg. Seven male sprinters with national and international experience participated in the study. Their average age, body mass and body height were 22.2 ± 2.4 years, 77.43 ± 4.63 kg, and 178.6 ± 3.2 cm, respectively. All athletes performed six 30 m sprints with 5 min rest intervals in between. The first sprint was performed without additional resistance, while the remaining 5 were performed in an random order with additional resistance of 3, 6, 9, 12 and 15 kg. After receiving a verbal signal, the participant started at will from a semi crouched position. During the resisted sprint trials, the time [s] and the following variables were recorded in peak values: power output [W], generated force [N], and sprinting velocity [m/s]. **Results:** Our results show that loading with 6 kg decreased sprinting velocity by 9.37% while the generated horizontal power increased by 31,32%. The 6 kg loading on the Sprint 1080 device corresponded to 8% body mass, yet as mentioned before the baseline results were not fully free sprinting as the tested athletes reached velocities 0.5-0.6 m/s greater without the harness. **Conclusion:** Taking into account this fact, our results seem to confirm previous findings, that external loads between 8 and 13% may be optimal for improving power and sprinting speed at the same time.

Keywords: developing strength, muscle power, sprint training, sprinting speed

Address for correspondence: Magdalena Nitychoruk - The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland. Institute of Sport Sciences, e-mail: magda.aneta.krawczyk@gmail.com

Received: 16.03.2021; Accepted: 29.03.2021; Published online: 30.06.2021

Cite this article as: Matusinski A, Golas A, Zajac A, Nitychoruk M, Maszczyk A. Optimizing the load for peak power and peak velocity development during resisted sprinting. Phys Activ Rev 2021; 9(1): 128-134. doi: 10.16926/par.2021.09.15

INTRODUCTION

Considering the available training interventions for sprinters, resistance exercises seem to be most effective in inducing both, acute and chronic enhancement of sprinting performance. Resistance exercises programed for improving sprinting speed include locomotor activities and fixed plane resistance exercises, such as jump squats and different variations of the clean and jerk and the snatch [1,2]. Examples of resisted sprint training include towing, weighted vests, uphill sprinting, and sprinting in sand or water [3]. However the most often used, and most effective form of resistance sprint training includes towing [4]. Resisted towing has proven effective in improving both acceleration and maximum sprint speed. It is assumed that resisted sprint training allows more muscle fibers to be recruited via greater neural activation and results in improved stride length [5]. Resistance towing is perhaps the most specific form of developing strength and power in muscles involved directly during the start, acceleration and at maximum speed. Resisted sprint training may involve towing a sled which provides an overload through the friction between the sled and ground surface or a modern advanced training device which uses drag technology to provide fully controlled resistance during the movement, such as the 1080 Sprint [6-8]. Acute sprint sessions have shown the effectiveness of towing in enhancing physical output and sprinting efficiency compared to unresisted sprinting [7,9-10]. From a practical point of view, the main objective for scientists and coaches is to determine the optimal load for each athlete during resisted towing. The objective is to find such a load for towing that allows to generate the greatest power output without compromising running velocity and sprinting mechanics. Resisted sprint training with sled loads ranging from 12 to 43% body mass have been shown to be effective in improving sprint performance in trained individuals [11]. Using very low loads (5 kg) during towing results in the generation of low values of power, and insignificant improvements in acceleration [12], while excessive loading may alter sprint kinematics by increasing ground contact, decreasing stride length and limiting hip extension [5,13]. Towing may have a greater impact on starting speed and acceleration than on maximum sprint speed, yet sprint adaptations may be velocity specific [11,14]. It seems that heavy sled loads ($\geq 20\%$ BM) enhance initial acceleration where velocity is low and resistance forces are high. On the other hand, light sled loads ($\leq 10\%$ BM) may improve maximum running speed, where velocity is very high and resistance forces are low [11]. Considering the above, sprinters should experiment with different loading during towing, to enhance power development, the acceleration phase as well as the maximum velocity phase. It seems that loading should be individualized, depending on the strength potential of the athlete, while towing distance should vary from 10m to 40-50 m depending on the training objective [4].

Considering the effectiveness of resisted sprint training, and the acute enhancement of sprinting performance through locomotor exercises, we decided to evaluate the optimal loading for the development of power in the engine assisted drag technology system SPRINT 1080. We evaluated the changes in running velocity and the generated force and power during resisted sprints over 30m with a load of 1, 3, 6, 9, 1 and 15 kg. The main objective of the study was to evaluate the optimal loading for the development of power in the engine assisted drag technology system SPRINT 1080.

MATERIAL AND METHODS

Participants

Seven male sprinters, members of an academic sports club participated in the study. The research was carried out on an indoor synthetic track to avoid the influence of weather on results. The participants were experienced sprinters (7.2 ± 1.4 years training experience) that competed at the national and international level at distances from 100 to 400 m. Their average age, body mass and body height were 22.2 ± 2.4 years, 77.43 ± 4.63 kg, and 178.6 ± 3.2 cm, respectively. The participants did not perform any strenuous exercise 48 hours prior to testing to avoid fatigue. The participants were informed verbally and in writing about the procedures, possible risks and benefits of the study, and provided written consent before the commencement of the study. Moreover, they were asked to maintain their normal dietary and sleep habits throughout the study and not to use any supplements or stimulants for 24 h prior to testing. The study received the approval of the Bioethical Committee of

the Academy of Physical Education in Katowice (10/2018), and was performed according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki.

Procedures

During particular sprints, the SPRINT 1080 engine assisted measuring system (1080 Motion AB, Stockholm, Sweden) was used for the precise selection of loads and variables, adapted to the diagnostics of sports training and performance [8]. The system uses changing intelligent drag technology to provide fully controlled resistance in the resisted and assisted phases of the movement. The device can record running time with an accuracy of 0.01s and the average and peak values of such variables as force [N], power output [W] and velocity of a moving athlete [m/s]. The device has the option of changing setting of the resistance expressed in [kg] in all phases of the sprint. According to the data reported by the manufacturer, the system shows high repeatability and accuracy for measuring position ($\leq 0.5\%$), velocity ($\leq 0.5\%$), and force (≤ 4.8 N) [15].

The evaluations were carried out in an indoor athletics facility on Monday, following two days of rest to ensure maximum effort from the athletes. To avoid the influence of weather conditions (wind, temperature etc.) on performance, the tests were performed on an indoor synthetic track. All evaluations were performed at the same time of the day, between 10:00 and 12:00 am. to avoid the influence of circadian rhythm on performance. Three days before the main testing the athletes were familiarized with the experimental protocol, and performed 3-4 loaded sprints with the resistance ranging from 1 to 20% body mass. On the same day they were subjected to anthropometric measurements (height and body mass). The participants used their track spikes during the resisted sprint exercise protocol. The research protocol was preceded by a standardized, sprint specific warm-up (30-35 min) that was consistent with participants normal training habits. All athletes performed six 30m sprints with 5 min rest intervals in between. The first sprint was performed without additional resistance, while the remaining 5 were performed in a random order with additional resistance of 3, 6, 9, 12 and 15 kg. After receiving a verbal signal, the participant started at will from a semi crouched position. During the test, the participants were connected to the SPRINT 1080 measuring device with a light belt fastened around the hips, so that their movements were not restricted in any way. The SPRINT 1080 was placed and firmly attached to the ground approximately 2m behind the starting line. The method of mounting the device and the connection with the tested participant through the harness and cable caused that the vector of the drag force was directed exactly parallel to the ground and opposite to the running direction. During the resisted sprint trials, the time [s] and the following variables were recorded in peak values: power output [W], generated force [N], and sprinting velocity [m/s]. Despite no additional load the free sprint had an resistance of approximately 1 kg, considering the weight of the belt the athletes were fastened with, and the cord, through which the resistance was provided.

Statistical analysis

All variables were expressed as mean or median \pm standard deviation (SD). Before using a parametric test, the assumption of normality was verified using the Kolmogorov-Smirnov test. The distributions of all variables were normal or close to normal. The numbers of quality data for analyzing groups were obtained using analysis of contingency table.

The one-way ANOVA was used with significance set at $p < 0.05$, to determine differences between loads, velocity and power variables. When appropriate, a Tukey post hoc test was used to compare selected data, and the effect of each test was calculated to determine the significance of the results. The relative single-base and chain increments were determined on the basis of time series. The remaining analyses were performed using STATISTICA (Stat Soft, Inc. version 12).

RESULTS

Table 1 contains results of post hoc tests for one-way ANOVA between loads and sprinting velocity, while table 2 between resistance loads and generated power. One-way ANOVA showed a statistically significant change in speed with an external load of 6, 9, 12 and 15 kg. There was no statistically significant change in sprint speed with a particular loads of 3 kg and the base sprint.

Table 1. Statistically significant differences between particular loads and running velocity after post hoc tests.

Load	1kg	3kg	6kg	9kg	12kg	15kg
1kg	-	0.998	0.001	0.001	0.001	0.001
3kg	0.998	-	0.001	0.001	0.001	0.001
6kg	0.001	0.001	-	0.025	0.001	0.001
9kg	0.001	0.001	0.025	-	0.019	0.001
12kg	0.001	0.001	0.001	0.019	-	0.010
15kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.010	-

Table 2. Statistically significant differences between resistance loads and generated power after post hoc tests.

Load	1kg	3kg	6kg	9kg	12kg	15kg
1kg	-	0.478	0.001	0.001	0.001	0.001
3kg	0.478	-	0.000	0.001	0.001	0.001
6kg	0.001	0.001	-	0.001	0.001	0.001
9kg	0.001	0.001	0.001	-	0.001	0.001
12kg	0.001	0.001	0.001	0.001	-	0.067
15kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.067	-

Table 3. Comparison between sprinting velocity and power in relative single-base increments using the time series in relation to the applied loads.

Loads	Velocity raw data [m/s]	Single-base increments Velocity [%]	Power raw data [W]	Single-base increments Power [%]
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

Table 4. A comparison between sprinting velocity and generated power in relative chain increments using the time series in relation to the applied loads.

Loads	Velocity raw data [m/s]	Chain increments Velocity [%]	Power raw data [W]	Chain increments Power [%]
1kg	9.09	0	705.29	0
3kg	8.99	-1.04	756.86	7.31
6kg	8.24	-7.38	926.14	15.06
9kg	7.69	1.72	1143.86	1.14
12kg	7.12	-0.72	1309.00	-9.07
15kg	6.51	-7.92	1399.57	7.92

One-way ANOVA showed a statistically significant change in the generated horizontal power with an external load of 6, 9, 12 and 15 kg. There was no statistically significant change in the generated horizontal power with an external load of 3 kg and the base sprint. Tables 3 and 4 present the comparison between speed and power in relative single-base increments and chain increments using the time series in the aspects of loads. Results show that loading with 6kg decreased sprinting velocity by 9.37% while the generated horizontal power increased by 31,32%. Loading with 15 kg decreased sprinting velocity by 28.40% while the generated horizontal power increased by 98.44 %.

Results show that the 9 kg external load caused a drastic drop in sprinting velocity with a very significant increase in power compared to 6 kg loading (218 W). The 12 kg loading increased the power by 165 W, yet caused a minor decrease in sprinting velocity.

DISCUSSION

During initial stages of sprint training, free sprinting, or training without the use of any external equipment forms the basis of most training programs. As the athletes progress in sports level, they require new forms and methods of training to stimulate additional adaptive changes in the neuro-muscular system [16,17]. To continue improving the physical, metabolic and neurological components essential for increasing sprinting speed, one must use various training methods to improve stride length, stride frequency and reaction time [13]. These modalities may include high speed treadmill sprinting, elastic cord towing, downhill sprinting as examples of overspeed training to increase stride frequency. Stride length and acceleration can be improved in the best way by implementing resisted sprint training, such as sled towing, weighted vest sprinting, uphill sprinting, parachute sprinting, explosive strength training and plyometrics. Recently intelligent drag technology has been introduced into sprint training, which offers numerous benefits [6]. When using a cable resistance device, the load is the same for the entire movement. While in the case of resisted sprint training with the use of the sled, the greatest resistance occurs at the beginning of the movement due to the force needed to overcome the static friction, and then slightly decreases as the force required to continue the movement decreases. Most studies evaluating the effectiveness of resisted sprint training used towing devices [4], while few studies have been conducted with the use of intelligent drag technology, such as the Sprint 1080 [6]. Resisted towing, especially with the drag technology provides resistance throughout the sprinting distance which varies depending on the training objective from 10 to 40-50m. This type of training increases the force output at the hip, knee and ankle, allowing the sprinter to generate greater power during the acceleration phase. Resisted towing can be considered sport specific because it develops the muscles used in sprinting in appropriate movement patterns specific for high velocity running [11,18]. The key variable in resisted towing, that determines the effectiveness of such training modality is the loading used during resisted sprinting. Numerous authors point to the fact that applying an insufficient load may not produce a training stimulus, and excessive loading can significantly slow down the sprinting motion and alter running mechanics. These authors point to the fact that towing very heavy loads increases ground contact, decreases stride length, and limits hips extension, thus altering previously developed movement patterns, or sprinting technique [3,5,19]. Most scientists recommend resistance loads of 10-13% body weight [12,22] for resistance towing, while others suggest that the optimum resistance for towing should not slow down the athletes more than 10%, or else the running velocity should not fall below 90% of the athlete's maximum velocity in a free sprint [3-4,19]. Most research in sprint running has used a single trial method, due to the inability to express the mechanical output during unresisted sprinting. Thus the novel aspect of this research includes the use of 6 different resistance loads applied in an even progression what allowed to compare the effects of loading on such variables as power, force and running velocity. The limitation of the study is the lack of estimation of maximum running speed and velocity as the harness and cord of the Sprint 1080 device provide about 1kg of resistance and thus maximum velocity wasn't reached. The most important finding of the study is the fact that significant differences occurred in all loaded sprints in sprinting velocity and the generated horizontal power, except for the baseline sprint and the 3kg external load. Otherwise power increased alongside the increase in load reaching almost 1400 W with the external load of 15 kg what equaled approximately 20% body weight. The increased loading caused concomitant drops in sprinting velocity, which reached almost 30% during the highest loading. Considering the recommendations of Alcaraz et al. [3] and Cross et al. [6], which indicate that resisted sprinting loads should not decrease the velocity more than 10%, our results show that loading with 6kg decreased sprinting velocity by 9.37% while the generated horizontal power increased by 31,32% [3,6,21]. The 6 kg loading on the Sprint 1080 device corresponded to 8% body mass, yet as mentioned before the baseline results were not fully free sprinting as the tested athletes reached velocities 0.5-0.6 m/s greater without the harness. Taking into account this fact, our results seem to confirm previous findings [2,4,7], that external loads between 8

and 13% may be optimal for improving power and sprinting speed at the same time. On the other hand the 9 kg external load caused a drastic drop in sprinting velocity with a very significant increase in power compared to 6 kg loading (218W). The 12kg loading increased the power by 165 W, yet caused a minor decrease in sprinting velocity. This may suggest that resisted sprinting has to be individualized, depending on the sports level, strength of the lower limbs and training objective. According to Cross et al. [6], very heavy loads (40-50% BW) can be used over short distances (5-10 m) to produce peak power and improve acceleration. At longer resisted sprints of 30-50 m, a much smaller external load is recommended as in our research, as such loading can improve the athletes acceleration and maximum sprinting velocity at the same time without altering sprinting mechanics.

REFERENCES

- 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. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816d8d80.
- 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. doi: 10.1519/JSC.0000000000000720.
- 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. doi:10.1519/JSC.0b013e318198f92c.
- Matusinski A, Przemyslaw P, Krzysztofik M, Gołas A. The effects of resisted post-activation sprint performance enhancement in elite female sprinters. *Front Physiol* 2021; 12: 651–659. doi: 10.3389/fphys
- 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.
- Cross MR, Lahti J, Brown SR, Chedati M, Jimenez-Reyes P, Samozino P. Training at maximal power in resisted sprinting: Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *Plos One* 2018; 13: 1–16. doi: 10.1371/journal.pone.0195477.
- Mangine GT, Huet K, Williamson C, Bechke E, Serafini P, Bender D. A Resisted Sprint Improves Rate of Force Development During a 20-m Sprint in Athletes. *J Strength Cond Res* 2018; 32: 1531–1537. doi: 10.1519/JSC.0000000000002030.
- 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* 2020; 17: 50–57. doi: 10.3390/ijerph17145057.
- Lockie RG, Murphy AJ, Spinks CD. Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *J Strength Cond Res* 2003; 17: 760–767. doi: 10.1519/1533-4287.
- Cottle N, Thompson AK, Burr B, Hubler D. The Effectiveness of Relationship Education in the College Classroom. *J Couple Relat Therapy* 2014; 13(4):267–283. doi: 10.1080/15332691.2014.956357
- Petrakos G, Morin JB, Egan B. Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Med* 2016; 46: 381–400. doi: 10.1007/s40279-015-0422-8.
- 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. doi: 10.1519/JSC.0b013e31820d9f17.
- Behrens MJ, Simonsen SR. A Comparison of the Various Methods Used To Enhance Sprint Speed: *Strength Cond J* 2011; 33: 64–71. doi: 10.1519/SSC.0b013e318210174d.
- 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. doi: 10.1519/JSC.0b013e318196b81f.
- Bergkvist C, Svensson M, Eriksrud O. Validation of 1080 Sprint and 1080 Quantum. *1080 Motion* 2015;1: 1–16.
- Cronin J, Hansen K, Kawamori N, McNair P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomech* 2008; 7: 160–172. doi:10.1080/14763140701841381.
- Van den Tillaar R. Effect of active resisted 30 m sprints upon step and joint kinematics and muscle activity in experienced male and female sprinters. *J Sports Sci* 2020; 1: 1–10. doi: 10.1080/02640414.2020.1856463
- Haugen T, Seiler S, Sandbakk Ø, Tønnessen E. The Training and Development of Elite Sprint Performance: An Integration of Scientific and Best Practice Literature. *Sports Med* 2019; 5: 42–44. doi: 10.1186/s40798-019-0221-0.

19. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL, Linthorne NP. Effects of Three Types of Resisted Sprint Training Devices on the Kinematics of Sprinting at Maximum Velocity. *J Strength Cond Res* 2008; 22, 890-897. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816611ea.
20. Young W, Benton D, Duthie G, and Pryor J. Resistance training for short sprints and maximum – speed sprints. *Strength Cond J* 2001; 23-27.
21. 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: 2143-2165. doi: 10.1007/s40279-018-0947-8.

Acute effects of resisted and assisted locomotor activation on sprint performance

AUTHORS: Aleksander Matusiński², Artur Golas¹, Adam Zajac¹, Adam Maszczyk¹

¹ Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland

² Department of Exercise and Sport Performance, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Katowice, Poland

ABSTRACT: Sprinting speed is one of the most significant motor abilities in team sport games and all sprint, hurdling and jumping events in athletics. Over the years numerous methods and devices have been developed to improve sprinting performance. One of the most effective methods of developing sprinting speed includes resisted sprinting with the use of different towing devices, parachutes, uphill running, and now intelligent drag technology. Resisted sprinting can be used for chronic changes in performance or for acute enhancement of running speed through locomotor post-activation. The other method of enhancing sprinting speed includes assisted sprinting in which the objective is to achieve supramaximal speed through high speed treadmill running, downhill sprinting, the use of elastic tubing or different towing mechanisms. The main objectives of this research were to determine the acute effects of resisted and assisted sprint activation on sprinting performance in male and female sprinters. Eleven, international and national level 200–400 m sprinters, 6 female and 5 male, participated in the study. The study protocol had a crossover design, with the activation protocol for both days consisting of either 3 × 30 m resisted sprints or 3 × 40 m assisted sprints. At baseline, and following the activation protocol, all athletes performed a 50 m maximum sprint, measured electronically with photocells from a crouched start. During particular trials, the SPRINT 1080 engine assisted measuring system was used with the load set individually to 10% BM. During the resisted and assisted PAP intervention the results of intragroup ANOVA revealed significant differences between resisted baseline results and resisted post activation results in the 10 m and 50 m test trials in men (respectively $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.25$; $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.45$), as well as in the group of female sprinters at these distances (10 m and 50 m) (respectively $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.20$; $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.29$). There were no statistically significant improvements in the 10 and 50 m test trials following assisted activation for both female and male sprinters. It was concluded that resisted sprint activation with a load of 10% BM enhances sprinting speed over 50 m in elite male and female sprinters.

CITATION: Matusiński A, Golas A, Zajac A, Maszczyk A. Acute effects of resisted and assisted locomotor activation on sprint performance. *Biol Sport*. 2023;40(1):xx–xx.

Received: 2021-07-09; Reviewed: 2021-07-28; Re-submitted: 2021-09-29; Accepted: 2021-09-29; Published: 2022-01-xx.

Corresponding author:

Adam Maszczyk
Institute of Sport Sciences, The
Jerzy Kukuczka Academy of
Physical Education, Katowice,
Poland
E-mail:
a.maszczyk@awf.katowice.pl

ORCID:

Aleksander Matusiński
0000-0001-8698-7026

Artur Golas
0000-0002-6656-6993

Adam Zajac
0000-0002-4374-4822

Adam Maszczyk
0000-0001-9139-9747

Key words:

PAP
Sprint performance
Athletes

INTRODUCTION

Sprinting speed is an essential quality for numerous sport disciplines, yet it has a dominant effect on performance in athletics sprints, jumps and hurdle races. In the last several decades research has concentrated on biomechanics of running, and the effects of resistance – based training on sprint performance in general [1]. However most of the research on resistance training for speed development relates to team sports, with starting speed, acceleration and change of direction speed being the main study objectives [2, 3]. Studies specific to athletics, in particular acute and chronic interventions on sprinting performance are scarce [1, 4]. The goal of speed training is to increase the physical, metabolic, and neurological components essential for increasing sprinting speed [5]. Sprinting speed is a combination of stride length and stride frequency. To achieve high running velocity and improve sprinting speed, one or both of these variables must be improved. The most significant improvements in sprinting speed can

be achieved by implementing training methods that stimulate both components of sprinting, stride length and stride frequency.

Sprinting speed can be enhanced by a variety of methods, which include resisted and assisted techniques [6]. Some specialists categorize these training methods into specific sprint training (free sprinting, resisted and assisted sprinting), and nonspecific training methods, which include strength, power and plyometric training, as well as combined or complex training methods, which are a mixture of specific and nonspecific methods [7]. Free sprint training, or sprint training without the use of any external equipment, forms the basis for most speed training programs, as it improves running technique, acceleration, top speed and speed endurance, depending on the choice of training variables [8]. Methods directed at improving stride frequency include high speed treadmill sprinting, elastic cord towing and downhill sprinting. On the other hand resistance – based

methods enhance speed by increasing stride length. They include resisted sled towing, weighted vest running, uphill sprinting, strength training and plyometrics [1]. Recently, more advanced towing devices have been introduced to enhance sprinting speed and to monitor the training process. One of these technologically advanced training devices includes the SPRINT 1080 engine assisted measuring system which uses an intelligent drag technology to provide fully controlled resistance in the resisted and assisted phases of the sprinting movement [9]. Resisted sprint training allows to improve the athlete's acceleration and maximum sprint speed as well. The main objective of resisted sprint training is to recruit more muscle fibers through greater neural activation, thus improving stride length [10, 11]. Towing can be used to induce acute neuromuscular changes by introducing several resisted sprints before free sprinting or it can be a part of a longer training program which promotes chronic adaptive changes resulting in increased stride length and improved acceleration mechanics [12]. Towing seems to have a greater impact on improving the acceleration phase, rather than maximum sprint speed, yet several key elements need to be considered for this method to be effective. Research has shown that insufficient resistance during towing may not produce a training stimulus, while excessive loading can alter sprint kinematics by increasing ground contact time, decreasing stride length and limiting hip extension [10, 13]. The most frequent recommendations for towing during sprint training include resistance between 10 and 13% body mass [14, 15], yet some research points to the fact that absolute strength of the lower limbs as well as the distance over which the towing takes place have a significant impact on the choice of the external loading. Weaker athletes, especially female sprinters may benefit more from resistance between 8 and 12% BM [16], while stronger male athletes can use loads of up to 40–45% BM at short towing distances (10–15 m) to improve acceleration [17].

Considering the above statements the main objectives of this research were to determine the acute effects of resisted and assisted sprint activation on sprinting performance in male and female sprinters.

MATERIALS AND METHODS

Participants

Eleven, international and national level 200–400 m sprinters, 6 female and 5 male, participated in the study. The research was carried out during a 7 day training camp at the beginning of the 2021 indoor season held at the Olympic Training Center. The training camp was preceded by several weeks of general conditioning and 6 weeks of specific explosive strength and sprint training. The average age, body mass and body height were 23.2 ± 5.4 years, 54.2 ± 6.1 kg, and 167.4 ± 5.3 cm for the female athletes, and 22.6 ± 2.8 years, 76.7 ± 4.3 kg, and 177.8 ± 4.3 cm respectively for male sprinters respectively. All of the athletes had at least 6 years of training and competition experience. The participants performed light technical exercises 24 hours prior to the intervention and testing to

avoid fatigue. They were informed verbally and in writing about the procedures, possible risks and benefits of the study, and provided written consent before the commencement of the study. Moreover, they were asked to maintain their normal dietary and sleep habits throughout the study and not to use any supplements or stimulants for 24 h prior to testing. The study received the approval of the Bioethical Committee of the Academy of Physical Education in Katowice (10/2018), and was carried out according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki, 2013.

Procedures

During particular trials, the SPRINT 1080 engine assisted measuring system (1080 Motion AB, Stockholm, Sweden) was used for the precise selection of loads and variables, adapted to the diagnostics of sports training and performance [9]. The system uses changing intelligent drag technology to provide fully controlled resistance in the resisted and assisted phases of the movement. The device can record running time with an accuracy of 0.01 s and the average and peak values of such variables as force [N], power output [W] and velocity of a moving athlete [m/s]. The device has the option of changing setting of the resistance expressed in [kg] in all phases of the sprint. According to the data reported by the manufacturer, the system shows high repeatability and accuracy for measuring position (0.5%), velocity ($\leq 0.5\%$), and force (≤ 4.8 N) [18].

The evaluations were carried out over 7 days, on Monday, Wednesday, Friday. Monday was dedicated to familiarization with the resisted and assisted sprint protocols, while on Tuesday and Thursday training sessions were composed of explosive strength exercises of high intensity and low volume to avoid fatigue before testing. The familiarization session was performed in order to minimize possible learning effects during the main tests. In order to eliminate the effects of weather conditions (wind, temperature etc.) on performance, the tests were performed on an indoor synthetic track. All activation, familiarization, and testing sessions were performed at the same time of the day, between 10:00 and 12:00 am. to avoid the influence of circadian rhythm on performance. On Monday, besides getting familiar with the experimental procedures the athletes were subjected to anthropometric measurements (height and weight). The participants used their track spikes during the activation protocol and during the speed evaluations. The research protocol was always preceded by a standardized, sprint specific warm-up (30–35 min) that was consistent with participants normal training habits. The study protocol had a crossover design, with the activation protocol for both days (Wednesday – Friday) consisting of either 3×30 m resisted sprints or 3×40 m assisted sprints, with 5 randomly chosen sprinters performing the resisted activation, while the remaining 6 were activated by assisted sprints. The distances differed in the resisted and assisted sprints to unify the time of the activation activity and metabolic cost, thus each activation sprint lasted approximately 5–6 s. Also previous testing of these athletes has shown that maximum velocity is reached between 33 and 37 m thus the distance for

Acute effects of resisted and assisted locomotor activation on sprint performance

assisted sprints had to be extended beyond 30 m. The activation procedure was reversed on the second testing day. At baseline, and following the activation protocol, all athletes performed a 50 m maximum free sprint, measured electronically with photocells from a crouched start (Witty, Microgate, Bolzano, Italy). The resistance used during the activation protocol was set to 10% body mass, what was determined earlier empirically with a similar group of female and male sprinters [16]. The choice of this resistance was also in accordance with the recommendations of other authors, which suggest values of 10–13% BM for maximal enhancement of sprinting speed [14, 15]. The assisted sprints used the same load of 10% BM, yet the athletes were pulled by the 1080 device, what corresponded to towing speeds of 110–112% unassisted values. The intensity of the assisted sprints was also in line with previous research and recommendations of other authors [19]. Five minutes after the baseline 50 m sprint, a set of 3 × 30 m resisted or 3 × 40 m assisted sprints were performed with 5–6 min rest intervals in between to ensure full recovery. Considering the maximal or supramaximal intensity of the activation exercise, the authors chose a 8 min recovery to optimize potentiation before the second 50 m test trial. The choice of such a rest interval was based on previous research and recommendations of several authors [3, 20, 21].

The 50 m test trials evaluated starting speed, acceleration and maximum velocity, and started from a crouched start, without external resistance. After receiving a verbal signal, the participant started at will. After an additional 5 min rest interval, one of the 2 activation protocols was performed in random order. The activation and testing took place on Wednesday and Friday at the same time of day, under identical conditions, with Thursday being a day of recovery and brief explosive strength training.

The main hypothesis of the study was that acute activation with resisted and assisted sprints enhances sprint performance in female and male sprinters, yet through different mechanisms.

Statistical analysis

All statistical analyses were performed using STATISTICA (Stat Soft, Inc. 2021, version 13), while activation protocol and PAP results were expressed as mean ± SD. The Shapiro-Wilk, Levene and Mauchly's tests were used in order to verify the normality, homogeneity and sphericity of the sample's data variances, respectively.

The multivariate ANOVA was used with significance set at $p < 0.05$, to determine differences between resisted and assisted exercises in male and female athletes for activation protocol time, peak power, force and velocity variables. When appropriate, a Tukey post hoc test was used to compare selected data, and the effect of each test was calculated to determine the significance of the results. The same ANOVA analysis protocol was used to determine differences between baseline and post activation PAP results for resisted and assisted activation in female and male athletes. Effect sizes (Cohen's d) were reported where appropriate. According to Hopkins guidelines, the effect size (eta-squared; η^2) was established as follows: 0.01 – small, 0.06 – medium, and 0.14 – large [22].

RESULTS

The intragroup ANOVA analysis between activation protocol variables revealed significant differences between resisted 30 m and assisted 40 m sprints in time and velocity in the group of female athletes (respectively $p = 0.016$, $\eta^2 = 0.07$; $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.14$), and for velocity only in male sprinters ($p = 0.001$, $\eta^2 = 0.27$). There

TABLE 1. The intragroup and intergroup ANOVA analysis between activation protocol variables in female and male sprinters.

Activation Protocol					
Group	Exercise	Time (s)	p (re. vs ass.)	Peak Power (W)	p (re. vs ass.)
MEN	Resisted 30 m (10% BM)	4.94 ± 0.12 **	0.502	973 ± 29**	0.294
	Assisted 40 m (10% BM)	4.98 ± 0.14 **		1007 ± 35**	
WOMEN	Resisted 30 m (10% BM)	5.35 ± 0.11	0.016*	473 ± 33	0.377
	Assisted 40 m (10% BM)	5.23 ± 0.09		489 ± 45	
Group	Exercise	Force (N)	p (re. vs ass.)	Velocity (m/s)	p (re. vs ass.)
MEN	Resisted 30 m (10% BM)	112 ± 21**	0.289	8.33 ± 1.12	0.001*
	Assisted 40 m (10% BM)	123 ± 24**		11.9 ± 1.21**	
WOMEN	Resisted 30 m (10% BM)	64 ± 25	0.619	7.88 ± 1.15	0.006*
	Assisted 40 m (10% BM)	58 ± 28		10.26 ± 1.43	

Note: * significant intragroup differences between resisted and assisted; ** significant intergroup differences between groups of male and female sprinters.

TABLE 2. The intragroup and intergroup ANOVA analysis between baseline and post activation PAP results in female and male sprinters.

Distance	PAP Results					
	Resisted			Assisted		
	Baseline	Post Activation	p (bas. vs post-activ.)	Baseline	Post Activation	p (bas. vs post-activ.)
MEN						
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
WOMEN						
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

Note: ** significant intergroup differences between male and female sprinters.

were no statistically significant intragroup differences between men's resisted 30 m and assisted 40 m in in time, peak power and force, as well as in women's peak power and force (Table 1).

The intergroup ANOVA analysis between activation protocol variables revealed significant differences between resisted 30 m results in time, peak power and force (respectively $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.25$; $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.27$; $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.20$), as well as between assisted 40 m results in time, power, force and velocity (respectively $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.23$; $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.28$; $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.35$ and $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.18$). There was no statistically significant intergroup differences between resisted 30 m results in velocity (Table 1).

During the resisted and assisted PAP intervention the results of intragroup ANOVA revealed significant differences between resisted baseline results and resisted post activation results in the 10 m and 50 m test trials in men (respectively $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.25$; $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.45$), as well as in the group of female sprinters at these distances (10 m and 50 m) (respectively $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.20$; $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.29$). There were no statistically significant improvements in the 10 and 50 m test trials following assisted activation for both female and male sprinters (Table 2).

The intergroup ANOVA analysis revealed significant differences between men's and women's resisted baseline results and resisted post activation results in the 10 m and 50 m test trials (Table 2).

DISCUSSION

Sprinting speed is of great interest to scientists, athletes and coaches in numerous sport disciplines, as this motor ability plays a key role in performance. Sprinting performance has captured the attention of spectators since the ancient Olympics [23], yet more attention has been paid to the analysis of sprinting mechanics and physiology

since the modern Olympic games and the development of numerous team sport games in which running speed has a significant effect on sports performance. The end of the XX century and especially the XXI century has brought an enormous advancement in technology, that has been applied both to training and scientific research which includes physiological changes [24, 25], kinematic studies [26, 27] and the introduction of training devices used for assisted and resisted sprint training [14, 16, 28]. Considering methodological issues team sport athletes are easier to study because of the greater number of homogenous participants, as in American football, rugby or soccer, which can be divided into intervention and control groups. This is why there is significantly less studies on elite sprinters of both genders than data on competitive team sport players [1, 16]. Additionally there is also a greater abundance of acute studies with resistance interventions on speed improvements, while most of the well-controlled chronic research has been performed on team sport athletes. Thus the novelty of our research includes the choice of the study participants, which included elite national sprinters of both genders. All of them trained for at least 6 years and competed at the national and international level. Additionally we used 2 familiarization sessions to acquaint the athletes with the apparatus used for resisted and assisted sprinting. Previously all the athletes used sled towing during resistance sprinting and elastic tubing in assisted training, yet none of them have used the SPRINT 1080 engine assisted measuring system. This was another novelty of the research as this device uses changing intelligent drag technology to provide fully controlled resistance in the resisted and assisted phases of the movement. By recording time of the activation with an accuracy of 0.01 s, as well as other variables such as peak force [N], peak power output [W] and velocity of the moving athlete [m/s] we were able to compare the two activation protocols. The last yet significant aspect

Acute effects of resisted and assisted locomotor activation on sprint performance

of the research was the empirically chosen rest intervals between the activation activity and the free sprint, which was based on previous studies on PAP in sprints and other resistance exercise protocols [9, 16, 20, 29, 30].

The objective of the activation protocols was to reach acute enhancement of sprinting speed, yet through different mechanisms in case of the resisted and assisted exercises. The chosen distance for the assisted activation was increased to 40 m to unify the time of the effort and possible energy cost. Additionally the goal of the assisted sprints was to reach top speed at the 30–35 m mark due to the much greater acceleration possible through the pulling action of the Sprint 1080 device. Under natural conditions top speed is most often reached at 45–50 m in female athletes and at 55–60 m in male sprinters [27]. It must be indicated that the time of the activation protocols (resisted & assisted) was very similar in case of male and female sprinters, while peak power and peak force also did not differ significantly between the two types of activation. Naturally due to the greater body mass and much higher strength potential of the male sprinters their peak power and peak force generated during the activation protocols were nearly twice as high as those of female athletes. The significant difference between the two activation protocols occurred in case of running velocity, which was 3.57 m/s greater in male sprinters for the assisted sprints and 2.38 m/s higher for assisted sprints in case of female athletes.

The results of our experiment with male and female sprinters, showed positive acute effects of the intervention on sprint performance, evaluated by free sprinting from a crouch start over 50 m with photo-timing. However, the effects were only visible following activation with resisted sprints. These effects were observed for both male and female sprinters, yet the margin of improvement was greater for male athletes. This could be explained by the greater strength potential of the male sprinters [3, 14]. Resisted sprint activation over 30 m with the resistance set at 10% BM resulted in improved starting speed evaluated by the time over 10 m, as well as maximum speed measured at a distance of 50 m. This phenomenon can be explained by the previous contractile history termed post activation potentiation (PAP) [9, 16, 17]. It seems that the appropriate PAP variables which included empirically verified load and rest intervals, as well as the biomechanical similarity of the activation and test trial exercise, allowed for increased neural drive and increased stiffness of the muscle-tendon complex involved in sprinting [29]. As mentioned before, previous research has shown that greater PAP effects are observed for stronger athletes, and this was confirmed in case of the male sprinters [20, 21]. The assisted activation protocol did not enhance performance,

neither for starting speed nor for maximum sprinting performance, despite 2 familiarization sessions. It seems that the athletes were more accustomed to resisted towing, which stimulated specific muscles without disrupting sprinting technique. On the other hand the athletes were less familiar with overspeed training, and perhaps the assisted force was too high, reaching velocities in the 110–112% range of max free sprinting speed. Excessive velocity associated with the assisted activation may have caused overstriding and a loss of coordination, what did not allow for acute enhancement of sprint performance [31, 32]. Overspeed training through assisted sprinting may require significant neuromuscular adaptations related to increased efficiency of motor unit synchronization, through repeated training sessions over a longer period of time [33]. Such interventions should relate to chronic adaptive changes planned over a 4–6 week meso-cycle.

Despite several novel aspects, the study has several limitations. First of all the number of participants was rather small, yet it was difficult to invite more elite sprinters to the project. Second of all, the sprinters were much more familiar with resisted sprint training in the form of towing, while few had experience with assisted sprint training. There is an insufficiency of research in the field of overspeed training, especially related to the intensity of the pulling force. Our research lacked kinematic evaluations, which would have helped in evaluating the effects of resisted and assisted activation on stride length and stride frequency.

CONCLUSIONS

Resistance sprint training with the use of the Sprint 1080 drag technology device with a load of 10% BM is effective in acute enhancement of starting and maximum sprinting speed. On the other hand assisted activation with the same load does not enhance sprinting performance. It seems that the pulling force may be too high generating extreme velocities which cause over-striding and changes in sprinting technique. Assisted sprint training requires a longer familiarization period and most likely pulling forces which allow to reach velocities of 105–107% of maximal free sprinting speed.

Author contributions

All authors contributed in a complementary way to the design and implementation of the research, to the analysis of the results and to the writing of the manuscript.

Conflict of interests

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this manuscript.

REFERENCES

- 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.
- Lockie RG, Murphy AJ, Knight TJ, Janse de Jonge XA. Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *J Strength Cond Res*. 2011;25(10):2704-2714.
- 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.
- Pietraszewski P, Gotaś A, Matusiński A, Mrzygłod S, Mostowik A, Maszczyk A. Muscle Activity Asymmetry of the Lower Limbs During Sprinting in Elite Soccer Players. *J Hum Kinet*. 2020;75:239-245.
- Behrens MJ, Simonson SR. A comparison of the various methods used to enhance sprint speed. *Strength Cond J*. 2011;33(2):64-71.
- Ebben WP. The optimal downhill slope for acute overspeed running. *International. Int J Sports Physiol Perform*. 2008;3(1):88-93.
- Rumpf MC, Lockie RG, Cronin JB, Jalilvand F. Effect of Different Sprint Training Methods on Sprint Performance Over Various Distances: A Brief Review. *J Strength Cond Res*. 2016 Jun;30(6):1767-85.
- Lockie RG, Murphy AJ, Schultz AB, Knight TJ, Janse de Jonge XA. The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res*. 2012;26(6):1539-50.
- 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.
- Murray A, Aitchison TC, Ross G, Sutherland K, Watt I, McLean D, Grant S. The effect of towing and range of relative resistances on sprint performance. *J Sports Sci*. 2005;23(9):927-35.
- 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.
- 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.
- Coh M, Babic V, Maćkała K. Biomechanical, neuromuscular and methodical aspects of running speed development. *J Hum Kinet*. 2010;26:73-81.
- Harrison A, Bourke G. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male Rugby players. *J Strength Cond Res*. 2008;10:275-283.
- Young WB, McDowell MH, Scarlett BJ. Specificity of Sprint and Agility Training Methods. *J Strength Cond Res*. 2001;15(3):315-9.
- Matusiński A, Pietraszewski P, Krzysztofik M, Gotaś A. The effects of resisted post-activation sprint performance enhancement in elite female sprinters. *Front Physiol*. 2021;12:651659.
- Cross MR, Lahti J, Brown SR, Chedati M, Jimenez-Reyes P, Samozino P, Eriksrud O, Morin JB. Training at maximal power in resisted sprinting: Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PLoS One*. 2018;13(4):e0195477.
- Bergkvist, C, Svensson, M, and Eriksrud, O. Validation of 1080 sprint and 1080 Quantum. Stockholm, Sweden: 1080 Motion, 2015, pp:1-16.
- Cissik JM. Means and Methods of Speed Training. *Strength Cond J*. 2005;27(1):18-25.
- Gotaś A, Maszczyk A, Zajac A, Miłkołajec K, Stastny P. Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J Hum Kinet*. 2016;52(1):95-106.
- Wilson JM, Duncan NM, Marin PJ, Brown LE, Loenneke JP, Wilson SM, Jo E, Lowery RP, Ugrinowitsch C. Meta-analysis of postactivation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods and training status. *J Strength Cond Res*. 2003;27:854-859.
- Hopkins WG. Linear models and effect magnitudes for research, clinical and practical applications. *Sport Sci*. 2010;14:49-57.
- Bolger R, Harrison A, Lyons M, Kenny I. Sprinting Performance and Resistance-Based Training Interventions: A systematic Review. *J Strength Cond Res*. 2015;29(4):1145-54.
- Grandys M, Majerczak J, Zapart-Bukowska J, Kulpa J, Zoladz JA. Gonadal hormone status in highly trained sprinters and in untrained men. *J Strength Cond Res*. 2011;25:1079-1084.
- Jurimae T, Utsal L, Maestu J, Purge P, Jurimae J. Hormone response to jumping tests in adolescent sprinters. *Kinesiology*. 2011;43:137-144.
- Hanon C, Gajer B. Velocity and stride parameters of world class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *J Strength Cond Res*. 2009;23:524-531.
- Maćkała K, Mero A. A kinematics analysis of three best 100 m performances ever. *J Hum Kinet*. 2013;36:149-160.
- Cook CJ, Beaven CM, Kilduff LP. Three weeks of eccentric training combined with overspeed exercises enhances power and running speed performance gains in trained athletes. *J Strength Cond Res*. 2013;27:1280-1286.
- Pajerska K, Zajac A, Mostowik A, Mrzygłod S, Golas A. Post activation potentiation (PAP) and its application in the development of speed and explosive strength in female soccer players: A review. *J Hum Sport Exerc*. 2021;16(1):122-135.
- Krzysztofik M, Wilk M, Stastny P, Golas A. Post-activation Performance Enhancement in the Bench Press Throw: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol*. 2021;15(11):598628.
- Clark DA, Sabick MB, Pfeifer RP, Kuhlman SM, Knigge NA, Shea KG. Influence of towing force magnitude on the kinematics of supramaximal sprinting. *J Strength Cond Res*. 2009;23:1162-1168.
- 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.
- Chen TC, Nosaka K, Tu JH. Changes in running economy following downhill running. *J Sports Sci*. 2007;25:55-63.

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 wyskoki 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 (Petrakos 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. STRESZCZENIE

Przedstawione w osiągnięciu naukowym trzy prace empiryczne zmierzały do oceny efektywności wzmocnienia poaktywacyjnego (PAP) w procesie kształtowaniu szybkości w biegach sprinterskich. Przeprowadzono niezależne eksperymenty, z wykorzystaniem celowego doboru wysokokwalifikowanych spinterów i spinterek z wykorzystaniem rzetelnej aparatury oraz standardowych warunków pomiarowych, co gwarantowały kryte obiekty sportowe i syntetyczna nawierzchnia certyfikowana przez PZLA. Dobór ćwiczeń aktywujących w postaci biegu z oporem był oparty o wcześniejsze badania, które sugerowały tym większy transfer siły im większe podobieństwo struktury ruchu ćwiczenia aktywującego z eksplozywnym. W tym przypadku był to bieg z oporem i wolny sprint. Trafność i rzetelność aparatury wykorzystywanej we wszystkich trzech eksperymentach (Sprint 1080, AB Szwecja, fotokomórki Witty Microgate, Włochy) zostały wcześniej potwierdzone empirycznie. Aby uniknąć błędów metodologicznych zawodnicy i zawodniczki biorący udział w badaniach mieli możliwość zapoznania się z ćwiczeniami aktywującymi i procedurą pomiarową. Wszystkie sesje pomiarowe poprzedzała zindywidualizowana rozgrzewka startowa, a pomiary były wykonywane o podobnej porze dnia.

W pierwszym badaniu, wykazano, że sprinty z oporem, zastosowane, jako ćwiczenie aktywujące mechanizm PAP pozwalają na poprawę wyniku biegu lotnego na dystansie 20m, a ich skuteczność zależy od wielkości zastosowanego obciążenia. Pojedynczy sprint z oporem 10% masy ciała skutecznie wpływa na skrócenie czasu następującego po nim 20-metrowego odcinka biegu wykonanego z 20m nabiegu. W drugim badaniu, wykorzystując przyrząd Sprint 1080 ustalono optymalną wartość obciążenia podczas biegu z oporem w celu rozwoju mocy, bez istotnych zaburzeń w strukturze ruchu i z minimalnym spadkiem prędkości poruszania się. Wyniki wskazały, iż obciążenie między 8 a 13% masy ciała wydaje się być optymalnym kompromisem pomiędzy wielkością generowanej mocy podczas biegu sprinterskiego a spadkiem prędkości maksymalnej. Trzeci eksperyment miał na celu porównanie skuteczności wzmocnienia poaktywacyjnego po ćwiczeniach biegowych z oporem oraz z odciążeniem przy wykorzystaniu prędkości supramaksymalnych. Stwierdzono, iż w przypadku aktywacji biegiem z oporem równym 10% MC wystąpił natychmiastowy efekt poprawy, zarówno szybkości startowej na dystansie 10m jak i maksymalnej na dystansie 50m. Aktywacja poprzez bieg ze wspomaganiami z intensywnością supramaksymalną (113% max) nie wpłynęła istotnie na poprawę wyniku testu szybkości startowej (10m) jak i

maksymalnej (50m). Stwierdzono, iż zawodnicy uczestniczący w badaniach byli zaznajomieni z ćwiczeniami biegowymi z oporem, natomiast większość nie stosowała wcześniej ćwiczeń prędkości supramaksymalnych, co stwarzało problemy koordynacyjne i nie przekładało się na natychmiastową poprawę wyniku w sprincie.

5. SUMMARY

The three presented empirical papers which consist the scientific achievement attempted to evaluate the effectiveness of post activation potentiation (PAP) on sprint performance. Several independent experiments were conducted with highly qualified male and female sprinters with the use of reliable apparatus as well as standardized measuring conditions which were guaranteed by indoor facilities with a synthetic track approved by PZLA. The choice of activation exercises was based on previous research, which indicated a greater transfer of force in resistance exercises that had a similar movement structure as the explosive activity which followed. In this case it was the sprint. The validity and the reliability of the apparatus used in the experiments (Sprint 1080 AB Sweden, photocells, Witty Microgate, Italy) was confirmed empirically earlier. To avoid methodological errors the study participants were given the chance to familiarize themselves with activation exercises and testing procedures. All testing procedures were preceded by an individualized competition warm-up, and the evaluations were conducted at the same time of the day.

The first study indicated that the resisted sprints, applied as a conditioning exercise activating PAP allow for acute improvements of sprinting speed at a distance of 20m from a flying start and its effectiveness depends on the provided load. A single 10% body mass loaded sprint over 20m enhances performance over 20m from a flying start. In the second study, while using the Sprint 1080 device we attempted to evaluate the optimal load of resisted sprints for the developments of power without compromising running technique. The results indicated that loads between 8 and 13% body mass were optimal for generating power with a minimal decrease of sprinting speed. In the third experiment we compared the effectiveness of loaded and assisted sprints as conditioning exercises on starting and maximal running speed. The activation with loaded sprints (10% BM) caused acute enhancement of sprint performance at both 10m and 50m. The use of assisted sprints with supramaximal intensity (113% max) did not improve sprinting performance significantly at neither 10m nor 50m. It was concluded that the study participants were familiar with resisted sprints, while most of them did not use overspeed training before and faced coordination problems with supramaximal running speeds and thus did not improve their sprinting performance.

6. BIBLIOGRAFIA

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. Banta R. *The sprinter's compendium*: Vervante; 2017.
4. Benz A, Winkelmann N, Porter J, Nimphius S. Coaching instructions and cues for enhancing sprint performance. *Strength Cond J.* 2016;38(1):1–11.
5. Behrens MJ, Simonson SR. A Comparison of the Various Methods Used To Enhance Sprint Speed: *Strength Cond J* 2011; 33:64–71.
6. Belanger A, Quinlan J. Muscle function studies in human plantar-flexor and dorsi-flexor muscles. *Can. J. Neurol. Sci.* 1982; 9: 359–359.
7. Belanger A, McComas A, Elder G. Physiological properties of two antagonistic human muscle groups. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1983; 51:381–393.
8. 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.
9. Bezodis NE, Willwacher, Salo AIT. The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review. *Sports Med.* 2019; 49: 1345–1364.
10. Bielitzki R, Hamacher D, Zech A. Does one heavy load back squat set lead to postactivation performance enhancement of three-point explosion and sprint in third division American football players? *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* 2021; <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00288-y>.
11. Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. *Sports Med.* 2011;41(9):741–56.
12. Bissas A, Walker J, Tucker C, Paradisis G, Merlino S. Biomechanical report for the IAAF World Championships in London, 2017. Dostęp: <https://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/research#collapse2017-iaaf-world-championships-biomechanics-st>.

13. Boccia G, Brustio PR, Moisé P, Franceschi A, La Torre A, Schena F, et al. Elite national athletes reach their peak performance later than non-elite in sprints and throwing events. *J Sci Med Sport*. 2019; 22(3):342–7.
14. Bodden D, Suchomel TJ, Lates A, Anagnost N, Moran MF, Taber CB. Acute Effects of Ballistic and Non-ballistic Bench Press on Plyometric Push-up Performance. *Sports (Basel)* 2019. doi:<https://doi.org/10.3390/sports7020047>.
15. Bogdanis G C, Tsoukos A, Veligeas P. Improvement of long-jump performance during competition using a plyometric exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017; 12: 235–240.
16. 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.
17. 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.
18. Bomfim Lima J, Marin D, Barquilha G, Da Silva L, Puggina E, Pithon-Curi T, and Hirabara S. Acute effects of drop jump potentiation protocol on sprint and countermovement vertical jump performance. 2011; *Hum Mov* 12: 324–330.
19. Brink N, Constantinou D, Torres G: Postactivation performance enhancement (PAPE) of sprint acceleration performance. *European Journal Sport Science* 2021 Aug 8;1-7. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1955012>
20. Brenner B, Eisenberg E. Rate of force generation in muscle: correlation with actomyosin ATPase activity in solution. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1986; 83, 3542–3546.
21. Brocherie F, Millet GP, Morin JB, Girard O. Mechanical alterations to repeated treadmill sprints in normobaric hypoxia. *Med Sci Sports Exerc.* 2016; 48(8):1570–9.
22. Burke R, Rudomin P, Zajac Iii F. The effect of activation history on tension production by individual muscle units. 1976;*Brain Res.* 1976; 109:515–529.
23. Carlo Vittori and training of Pietro Mennea. 2019. Dostęp: <https://www.runnerprogram.com/product/carlo-vittori-training-pietro-mennea/>.
24. 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.
25. Chelly SM, Denis C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33(2):326–33.
26. Chen TC, Nosaka K, Tu JH. Changes in running economy following downhill running. *J Sports Sci.* 2007; 25:55-63.

27. Chiu LZ, Fry AC, Weiss LW, Schilling BK, Brown LE, and Smith SL. Postactivation potentiation responses in athletic and recreationally trained individuals. *J Strength Cond Res.* 2003; 17(4):671–677.
28. Cissik JM. Means and methods of speed training, part II. *Strength Cond J.* 2005; 27(1):18–25.
29. 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.
30. Colyer SL, Nagahara R, Takai Y, Salo AIT. How sprinters accelerate beyond the velocity plateau of soccer players: waveform analysis of ground reaction forces. *Scand J Med Sci Sports.* 2018; 28(12):2527–35.
31. Comyns TM, Harrison AJ, and Hennessy LK. Effect of squatting on sprinting performance and repeated exposure to complex training in male rugby players. 2010; *J Strength Cond Res* 24: 610–618.
32. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.* 2011; 41(2):125–46.
33. Crewther BT, Kilduff LP, Cook CJ, Middleton MK, Bunce PJ, and Yang GZ. The acute potentiating effects of back squats on athlete performance. 2011; *J Strength Cond Res* 25: 3319–3325.
34. Cross MR, Brughelli M, Samozino P, Brown SR, Morin JB. Optimal loading for maximizing power during sled-resisted sprinting. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017; 12(8):1069–77.
35. 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.
36. 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.
37. Dan Pfaff. Donovan Bailey training program. 2019. Dostęp: <https://www.runnerprogram.com/product/donovan-bailey-training-dan-pfaff/>.
38. Del Coso J, Hiam D, Houweling P, Pérez LM, Eynon N, Lucía A. More than a ‘speed gene’: ACTN3 R577X genotype, trainability, muscle damage, and the risk for injuries. *Eur J Appl Physiol.* 2019; 119(1):49–60.

39. Delorme TL, Watkins AL. Techniques of progressive resistance exercise. *Arch Phys Med.* 1948; 29(5):263–73.
40. Docherty D., Hodgson M. J. The application of postactivation potentiation to elite sport. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2007; 2:439–444.
41. Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. *J Sci Med Sport.* 2004; 7(3):302–13.
42. Ebben WP, Blackrd DO. Complex training with combined explosive weight training and plyometric exercises. *Olympic Coach.* 1997; 7(4):11–12.
43. Ebben WP. Complex training: A brief review. *J Sports Sci Med.* 2002; 1:42–46.
44. Enoka R. M., Hutton R. S., Eldred E. Changes in excitability of tendon tap and Hoffmann reflexes following voluntary contractions. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1980; 48:664–672.
45. Ettema G, McGhie D, Danielsen J, Sandbakk Ø, Haugen T. On the existence of step-to-step breakpoint transitions in accelerated sprinting. *PLoS One.* 2016; 11(7):e0159701.
46. Ericson KA, Krampe RT, Tesch-Romer C. The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Physiol Rec.* 1993; 100(3):363–406.
47. Evetovich T K, Conley D S, Mccawley P F. Postactivation potentiation enhances upper- and lower-body athletic performance in collegiate male and female athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2015; 29:336–342.
48. Fitts RH. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev.* 1994; 74(1):49–94.
49. Folland J P, Wakamatsu T, Fimland M S. The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2008; 04:739–748.
50. Francis C. Structure of training for speed (ebook). 2019a. Dostęp: <https://www.amazon.com/Structure-Training-Charlie-Francis-Concepts-ebook/dp/B00BG9F8UG>.
51. Francis C. The Charlie Francis training system (ebook). 2019b. Dostęp: <https://www.amazon.com/Charlie-Francis-Training-System-ebook/dp/B008ZK0WR8>.
52. French D N, Kraemer W J, Cooke C B. (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *J. Strength Cond. Res.* 2003; 17: 678–685.
53. 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.

54. Girard O, Micallef JP, Millet GP. Changes in spring-mass model characteristics during repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol.* 2011; 111(1):125–34.
55. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med.* 2011b; 41(8):673–94.
56. Girard O, Brocherie F, Morin JB, Millet GP. Running mechanical alterations during repeated treadmill sprints in hot versus hypoxic environments. A pilot study. *J Sports Sci.* 2016a; 34(12):1190–8.
57. Girard O, Brocherie F, Tomazin K, Farooq A, Morin JB. Changes in running mechanics over 100-m, 200-m and 400-m treadmill sprints. *J Biomech.* 2016b; 49(9):1490–7.
58. Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.* 2005; 35(9):757–77.
59. Gołaś A, Maszczyk A, Zajac A, Mikołajec K, Stastny P. Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J Hum Kinet.* 2016; 52(1): 95-106.
60. Gossen E R, Sale D G. Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000; 83, 524–530.
61. Grange R W, Vandenoorn R, Houston M E. (1993). Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Can. J. Appl. Physiol.* 1993; 18, 229–242.
62. Graubner R, Nixdorf E. Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF World Championships in athletics. *New Stud Athl.* 2011; 26:19–53.
63. Guggenheimer JD, Dickin DC, Reyes GF, Dolny DG. The effects of specific preconditioning activities on acute sprint performance. *J Strength Cond Res.* 2009; 23:1135–1139.
64. Güllich A, Schmidtbleicher D. MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Stud. Athletics.* 1996; 11:67–84.
65. Gupta L, Morgan K, Gilchrist S. Does elite sport degrade sleep quality? A systematic review. *Sports Med.* 2017; 47(7):1317–33.
66. Hamada T, Sale DG, Macdougall JD. Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32:403–411.
67. Hancock A P, Sparks K E, Kullman E L. Postactivation potentiation enhances swim performance in collegiate swimmers. *J. Strength Cond. Res.* 2015; 29:912–917.
68. Harman SM, Metter EJ, Tobin JD, Pearson J, Blackman MR. Longitudinal effects of aging on serum total and free testosterone levels in healthy men. *Baltimore Longitudinal Study of Aging. J Clin Endocrinol Metab* 2001; 86(2):724–731.

69. 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.
70. 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.
71. Haugen T, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014; 9(3):432–41.
72. Haugen T, Danielsen J, Alnes LO, McGhie D, Sandbakk O, Ettema G. On the importance of “front-side mechanics” in athletics sprinting. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018; 13(4):420–7.
73. Haugen T, Solberg PA, Morán-Navarro R, Breitschädel F, Hopkins W, Foster C. Peak age and performance progression in world-class track-and-field athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018b; 13(9):1122–9.
74. Haugen T, McGhie D, Ettema G. Sprint running: from fundamental mechanics to practice – a review. *Eur J Appl Physiol.* 2019a; 119(6):1273–87.
75. 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.
76. Haugen T, Breitschädel F, Seiler S. Sprint mechanical variables in elite athletes: are force-velocity profiles sport specific or individual? *PLoS One.* 2019c; 14(7):e0215551.
77. Healy R., Comyns TM. The Application of Postactivation Potentiation Methods to Improve Sprint Speed. *Strength and Conditioning Journal* 2017; 39(1):1-9.
78. Heckman C. J., Enoka R. M. Motor unit. *Compr. Physiol.* 2012; 2:2629–2682.
79. Helsen WF, Starkes JL, Hodges NJ. Team sports and the theory of deliberate practice. *J Sport Exerc Psychol.* 1998; 20(1):12–34.
80. Hessel A L, Lindstedt S L, Nishikawa K C. Physiological mechanisms of eccentric contraction and its applications: a role for the Giant Titin protein. *Front. Physiol.* 2017; 8:70.
81. Hollings SC, Hopkins WG, Hume PA. Age at peak performance of successful track and field athletes. *Int J Sports Sci Coach.* 2014; 9(4):651–62.
82. Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Segment-interaction analysis of the stance limb in sprint running. *J Biomech.* 2004; 37(9):1439–46.
83. Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech.* 2005; 21(1):31–43.

84. Hunter SK, Pereira HM, Keenan KG. The aging neuromuscular system and motor performance. *J Appl Physiol.* 2016; 121(4):982–95.
85. Iskra J, Walaszczyk A, Skuch J. Trening mistrzowski w biegach sprinterskich. Opole 2015.
86. Josephson R K, Edman K A. Changes in the maximum speed of shortening of frog muscle fibres early in a tetanic contraction and during relaxation. *J. Physiol.* 1998; 507:511–525.
87. Kiely J. Periodization paradigms in the 21st century: evidence-led or tradition-driven? *Int J Sports Physiol Perform.* 2012; 7(3):242–50.
88. Korhonen MT, Cristea A, Alen M, Hakkinen K, Sipila S, Mero A, et al. Aging, muscle fiber type, and contractile function in sprint-trained athletes. *J Appl Physiol.* 2006; 101(3):906–17.
89. 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.
90. Krzysztofik, M., Wilk, M., Lockie, R. G., Golas, A., Zajac, A., and Bogdanis, G. C. (2020). Postactivation performance enhancement of concentric bench press throw after eccentric-only conditioning exercise. *J. Strength Cond. Res.* 2020; doi: 10.1519/JSC.0000000000003802. [w druku].
91. Kugler F, Janshen L. Body position determines propulsive forces in accelerated running. *J Biomech.* 2010; 43(2):343–8.
92. Kummel J, Bergmann J, Prieske O, Kramer A, Granacher U, Gruber M. Effects of conditioning hops on drop jump and sprint performance: a randomized crossover pilot study in elite athletes. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2016; Dostęp: <https://doi.org/10.1186/s13102-016-0027-z>.
93. Kunz H, Kaufmann DA. Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *Br J Sports Med.* 1981; 15(3):177–81.
94. 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.
95. Lee J. Insights to Jamaican sprinting success. Stephen Francis & Glen Mills training philosophy. Dostęp: http://riggberger.dinstudio.se/files/Jamaican_Sprint_Secrets.pdf. 2019.

96. 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.
97. Linder EE, Prins JH, Murata NM, Derenne C, Morgan CF, Solomon JR Effects of preload 4 repetition maximum on 100m sprint Times in collegiate women. *J Strenght Cond Res*. May. 2010; 24(5):1184-90.
98. Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, Howard R, De Ste Croix MB, Williams CA, et al. Long-term athletic development, part 2: barriers to success and potential solutions. *J Strength Cond Res*. 2015a; 29(5):1451–64.
99. Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, Howard R, De Ste Croix MB, Williams CA, et al. Long-term athletic development- part 1: a pathway for all youth. *J Strength Cond Res*. 2015b; 29(5):1439–50.
100. 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.
101. Loren Seagrave. Planning and periodization: preparing for Moscow 2013. 2019; Dostęp: http://ucoach.com/assets/uploads/files/ESH12_Loren_Seagrave.pdf.
102. Malina RM, Bouchard C, Beunen G. Human growth: selected aspects of current research on well-nourished children. *Annu Rev Anthropol*. 1988; 17:187–219.
103. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation and physical activity. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics; 2004.
104. Mann R, Herman J. Kinematic analysis of Olympic sprint performance: men's 200 meters. *Int J Sport Biomech*. 1985; 1(2):151–62.
105. Manning D. R., Stull J. T. (1982). Myosin light chain phosphorylation-dephosphorylation in mammalian skeletal muscle. *Am. J. Phys.* 21982; 42:234–241.
106. Markovic G, Simek S, Bradic A. Are acute effects of maximal dynamic contractions on upper-body ballistic performance load specific? *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2008;22:1811–5.
107. 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.
108. Matveyev LP. Periodisierung des sportlichen trainings. 2nd ed. Berlin: Bartels & Wernitz; 1975.

109. 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.
110. 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.
111. Mero A, Komi PV, Gregor RJ. Biomechanics of sprint running. *A Rev SportsMed.* 1992; 13(6):376–92.
112. Metzger J M, Moss R L. Calcium-sensitive cross-bridge transitions in mammalian fast and slow skeletal muscle fibers. *Science* 1990; 247:1088–1090.
113. Mina M A, Blazevich A J, Giakas G, Kay A D. (2014). Influence of variable resistance loading on subsequent free weight maximal back squat performance. *J. Strength Cond. Res.* 2014; 28:2988–2995.
114. Moore R. L, Stull J T. (1984). Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. *Am. J. Phys.* 1984; 247:462–471.
115. Morin JB, Jeannin T, Chevallier B, Belli A. Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. *Int J Sports Med.* 2006; 27(2):158–65.
116. Morin JB, Edouard P, Samozino P. Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43(9):1680–8.
117. Morin JB, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour JR. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112(11):3921–30.
118. Morin JB, Samozino P. Interpreting power-force-velocity profiles for individualised and specific training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016; 11(2):267–72.
119. Morin JB, Petrakos G, Jiménez-Reyes P, Brown SR, Samozino P, Cross MR. Very-heavy sled training for improving horizontal-force output in soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017; 12(6):840–4.
120. Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc.* 2003; 35(7):1182–7.
121. Munro L A, Stannard S R, Fink P W, Foskett A. Potentiation of sprint cycling performance: the effects of a high-inertia ergometer warm-up. *J. Sports Sci.* 2017; 35:1442–1450.

122. 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.
123. Nagahara R, Matsubayashi T, Matsuo A, Zushi K. Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biol Open*. 2014; 3(8):689–99
124. Nagahara R, Naito H, Morin JB, Zushi K. Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. *Int J Sports Med*. 2014; 35(9):755–61.
125. Nagahara R, Zushi K. Development of maximal speed sprinting performance with changes in vertical, leg and joint stiffness. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017; 57(12):1572–8.
126. Nibali, M. L., Chapman, D. W., Robergs, R. A., Drinkwater, E. J. Considerations for determining the time course of post-activation potentiation. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2015; 40:1163 -1170.
127. Nishikawa K. C., Monroy J. A., Uyeno T. E., Yeo S. H., Pai D. K., Lindstedt S. L. Is titin a ‘winding filament’? A new twist on muscle contraction. *Proc. Biol. Sci.* 2012; 279:981–990.
128. Nuzzo J L, Barry B K, Gandevia S C, Taylor J L. Acute strength training increases responses to stimulation of corticospinal axons. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2016; 48:139–150.
129. Nédélec M, Halson S, Delecroix B, Abaidia AE, Ahmaidi S, Dupont G. Sleep hygiene and recovery strategies in elite soccer players. *Sports Med*. 2015; 45(11):1547–59.
130. Perrie W T, Smillie L B, Perry S B. A phosphorylated light-chain component of myosin from skeletal muscle. *Biochem. J.* 1973; 135:151–164.
131. Persechini A, Stull J T, Cooke R. The effect of myosin phosphorylation on the contractile properties of skinned rabbit skeletal muscle fibers. *J. Biol. Chem.* 1985; 260:7951–7954.
132. Petrakos G, Morin JB, Egan B. Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Med* 2016; 46:381–400.
133. Pyne DB, Mujika I, Reilly T. Peaking for optimal performance: research limitations and future directions. *J Sports Sci.* 2009; 27(3):195–202.
134. Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Sàez-de-Villarreal E, Couturier A, Samozino P, et al. Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scand J Med Sci Sports.* 2015; 25(5):583–94.

135. 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.
136. Rassier D and Macintosh B. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. 2000; *Braz J Med Biol Res* 33: 499– 508.
137. Ross A, Leveritt M, Riek S. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. *Sports Med.* 2001; 31(6):409–25.
138. Rumpf MC, Lockie RG, Cronin JB, Jalilvand F. Effect of different sprint training methods on sprint performance over various distances: a brief review. *J Strength Cond Res.* 2016; 30(6):1767–85.
139. Sale D G. Postactivation potentiation: role in human performance. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2002; 30:38–143.
140. Sáez de Villarreal E, Requena B, Cronin JB. The effects of plyometric training on sprint performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2012; 26(2):575–84.
141. Scott SL, Docherty D. Acute effects of heavy preloading on vertical and horizontal jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2004;18:201–5.
142. Seiler S, De Koning JJ, Foster C. The fall and rise of the gender difference in elite anaerobic performance 1952-2006. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39(3):534–40.
143. Seiler S, Jøranson K, Olesen BV, Hetlelid KJ. Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports.* 2013; 23(1):74–83.
144. 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.
145. 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.
146. 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.
147. Seitz L B, Haff G G. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med.* 2016; 46, 231–240.

148. Seitz LB, Haff GG. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports medicine*. 2016;46:231–40.
149. Slawinski J, Termoz N, Rabita G, Guilhem G, Dorel S, Morin JB, et al. How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men's and women's sprint performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2017; 27(1):45–54.
150. Smith DJ. A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Med*. 2003; 33(15):1103–26.
151. Solli GS, Tønnessen E, Sandbakk Ø. The training characteristics of the world's most successful female cross-country skier. *Front Physiol*. 2017; 8:1069.
152. Stone MH, Potteiger JA, Pierce KC, Proulx CM, O'Bryant HS, Johnson RL, et al. Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *J Strength Cond Res*. 2000; 14(3): 332–7.
153. Suchomel TJ, Lamont HS, and Moir GL. Understanding vertical jump potentiation: A deterministic model. 2016; *Sports Med* 46: 809– 828.
154. Sugi H, Abe T, Kobayashi T, Chaen S, Ohnuki Y, Saeki Y. Enhancement of force generated by individual myosin heads in skinned rabbit psoas muscle fibers at low ionic strength. *PLoS One*. 2013; 8:e63658.
155. Sugi H, Chaen S, Akimoto T, Minoda H, Miyakawa T, Miyauchi Y. Electron microscopic recording of myosin head power stroke in hydrated myosin filaments. *Sci Rep*. 2015; 5:15700.
156. Sweeney H L, Stull J T. Alteration of cross-bridge kinetics by myosin light chain phosphorylation in rabbit skeletal muscle: implications for regulation of actin-myosin interaction. *Proc. Natl. Acad. Sci*. 1990; 87:414–418.
157. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American College of Sports Medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2016; 48(3):543–68.
158. Till KA, Cooke C. The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. 2009; *J Strength Cond Res* 23: 1960– 1967.
159. 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.
160. Tønnessen E, Haugen T, Shalfawi SA. Reaction time aspects of elite sprinters in athletic world championships. *J Strength Cond Res*. 2013; 27(4):885–92.

161. 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
162. 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.
163. Tønnessen E, Svendsen I, Rønnestad B, Hisdal J, Haugen T, Seiler S. The annual training periodization of 8 world champions in orienteering. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015b; 10(1):29–38
164. Trimble M H, Harp S S. Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Med. Sci. Sports Exerc*. 1998; 30:933–941.
165. Tucker K J, Tuncer M, Turker K S. A review of the H-reflex and M-wave in the human triceps surae. *Hum. Mov. Sci*. 2005; 24, 667–688.
166. Turner AP, Bellhouse S, Kilduff LP, Russell M. Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29:343–50.
167. United Kingdom Athletics: classifying sprint training methods. 2019a. Dostęp: http://ucoach.com/assets/uploads/files/Classifying_Sprint_Training_Methods.
168. United Kingdom Athletics. Sprints and hurdles ADM V1.0. 2019. Dostęp: http://ucoach.com/assets/uploads/files/SH_UKA_ADM_V1.1_FINAL.pdf.
169. Vandenkoorn R. Modulation of skeletal muscle contraction by myosin phosphorylation. *Compr. Physiol*. 2017; 7:171–212.
170. Vandervoort A A, Quinlan J, Mccomas A J. Twitch potentiation after voluntary contraction. *Exp. Neurol*. 1983; 81:141–152.
171. Verkhoshansky Y, Tetyan V. Speed-strength preparation of future champions. *Legkaya Atletyka*. 1973; 2:12-13.
172. Volkov NI, Lapin VI. Analysis of the velocity curve in sprint running. *Med SciSports*. 1979; 11(4):332–7.
173. Wathen D. Position statement: explosive/plyometric exercises. *NSCA J*. 1993; 15(3):16–9.
174. Whelan N, O'Regan C, and Harrison AJ. Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance. 2014; *J Strength Cond Res* 28: 1858–1866.
175. Wilson JM, Duncan NM, Marin PJ, Brown LE, Loenneke JP, Wilson SM, Jo E, Lowery RP, Ugrinowitsch C. Meta-analysis of postactivation potentiation and power:

- Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods and training status. *J Strength Cond Res.* 2003; 27:854-859.
176. Winwood P W, Posthumus L R, Cronin J B, Keogh J. W. The acute potentiating effects of heavy sled pulls on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.* 2016; 30:1248–1254.
177. Wyland T P, Van Dorin J D, Reyes G F. Postactivation potentiation effects from accommodating resistance combined with heavy back squats on short sprint performance. *J. Strength Cond. Res.* 2015; 29:3115–3123.
178. Yetter M, Moir G L. The acute effects of heavy back and front squats on speed during forty-meter sprint trials. *J. Strength Cond. Res.* 2008; 22:159–165.
179. 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.

7. Załącznik nr 1 - Oświadczenia

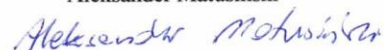
mgr Aleksander Matusiński
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

Katowice 25.05.2022r.

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy pod tytułem: "*The Effects of Resisted Post-Activation Sprint Performance Enhancement in Elite Female Sprinters.*" opublikowanej w czasopiśmie: *Frontiers of Physiology 2021,12:651-659* autorstwa: Aleksander Matusiński, Przemysław Pietraszewski, Artur Gołaś, mój udział polegał na projektowaniu i realizacji projektu badawczego, sformułowaniu hipotezy badawczej, częściowym przygotowaniu i pisaniu manuskryptu i na pytania recenzentów oraz korekcie zgodnie z ich sugestiami.

Aleksander Matusiński



1. Artur Gołaś *Artur Gołaś*

2. Przemysław Pietraszewski *Przemysław Pietraszewski*

3. Michał Krzysztofik



mgr Aleksander Matusiński
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

Katowice 25.05.2022r.

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy pod tytułem: "*Acute effects of resisted and assisted locomotor activation on sprint performance.*" opublikowanej w czasopiśmie: *Biology of Sport* vol 40 (1) 2023, autorstwa: Aleksander Matusiński, Artur Gołaś, Adam Zając, Adam Maszczyk mój udział polegał na projektowaniu i realizacji projektu badawczego, dokonywania pomiarów podczas realizacji projektu, sformułowaniu hipotezy badawczej, częściowym przygotowaniu i pisaniu manuskryptu, wspólnym udzieleniu odpowiedzi na pytania recenzentów oraz korekcie zgodnie z ich sugestiami.

Aleksander Matusiński

1. Artur Gołaś

2. Adam Zając

3. Adam Maszczyk

mgr Aleksander Matusiński
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

Katowice 25.05.2022r.

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy pod tytułem: "*Optimizing the load for peak power and peak velocity development during resisted sprinting.*" opublikowanej w czasopiśmie: Physical Activity Review vol.9(1), 2021:128-134 autorstwa: Aleksander Matusiński, Artur Gołaś, Adam Zając, Magdalena Nitychoruk, Adam Maszczyk, mój udział polegał na projektowaniu badań, dokonywania pomiarów podczas realizacji projektu, sformułowaniu hipotezy badawczej, częściowym przygotowaniu i pisaniu manuskryptu, oraz wspólnym udzieleniu odpowiedzi na pytania recenzentów oraz korekcie zgodnie z ich sugestiami.

Aleksander Matusiński

Aleksander Matusiński

1. Artur Gołaś *Artur Gołaś*

2. Adam Zając 

3. Adam Maszczyk 

4. Magdalena Nitychoruk *Magdalena Nitychoruk*