

Akademia Wychowania Fizycznego

im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

Jakub Jarosz

**WPLYW MIĘDZYWYSIŁKOWEGO OGRANICZENIA PRZEPIYU
KRWI NA PRĘDKOŚĆ SZTANGI PODCZAS WYCISKANIA LEŻĄC
NA ŁAWCE POZIOMEJ**

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

PROMOTOR:

dr hab. Michał Wilk prof. AWF Katowice

KATOWICE 2023

Spis treści

Wprowadzenie	4
1. Charakterystyka metody treningu oporowego z wykorzystaniem ograniczonego przepływu krwi (BFR – blood flow restriction).....	6
1.1. Rola wartości ciśnienia ucisku mankietu stosowanego podczas treningu oporowego z ograniczonym przepływem krwi (BFR)	7
1.2. Rola szerokości mankietu stosowanego podczas metody ograniczonego przepływu krwi (BFR) w treningu oporowym	10
1.3. Metody treningu z ograniczonym przepływem krwi (BFR) w ramach treningu oporowego	11
2. Problem badawczy.....	14
2.1. Cel pracy	16
2.2. Hipotezy badawcze.....	17
3. Materiał i metody badawcze.....	18
3.1. Charakterystyka badanych.....	18
3.2. Sesja zapoznawcza i test jednego powtórzenia maksymalnego (1RM)	19
3.3. Sesja eksperymentalna	20
3.4. Procedura ograniczenia przepływu krwi (BFR)	20
3.5. Metody i narzędzia pomiarowe.....	21
3.6. Narzędzia analizy statystycznej	21
4. Wyniki badań.....	23
4.1. Analizy statystyczne dla średniej prędkości sztangi MV [m/s]	23
4.2. Analiza wartości przyrostów (delta) w odniesieniu do serii pierwszej dla średniej prędkości sztangi MV [m/s].....	24
4.3. Analizy statystyczne dla szczytowej prędkości sztangi PV [m/s]	25
4.4. Analiza wartości przyrostów (delta) w odniesieniu do serii pierwszej dla szczytowej prędkości sztangi PV [m/s]	26
5. Dyskusja	28
6. Wnioski.....	39
Streszczenie	40
Summary	41
Bibliografia	42

WYKAZ SKRÓTÓW

1RM – (ang. one-repetition maximum) - jedno powtórzenie maksymalne

AOP – (ang. arterial occlusion pressure) - zamknięcie przepływu tętniczego krwi

ATP – adenozynotrifosforan

BFR – (ang. blood flow restriction) - ograniczenie przepływu krwi

BFR-SHAM – grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg

BFR-50 – grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP

BFR-80 – grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP

CONT – grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi

GH – (ang. growth hormone) - hormon wzrostu

HIF – (ang. hypoxia inducible factor) - czynnik indukowany hipoksją

HSP – (ang. heat shock protein) - białka szoku cieplnego

K⁺ – kanał potasowy

MV – (ang. mean velocity) - średnia prędkość sztangi

PV – (ang. peak velocity) - szczytowa prędkość sztangi

RPE – (ang. rate of perceived exertion) – wskaźnik subiektywnego odczucia wysiłku

sEMG – (ang. surface electromyography) - elektromiografia powierzchniowa

TUT – (ang. time under tension) – czas trwania napięcia mięśniowego

Wprowadzenie

Zaobserwowany w ostatnich latach gwałtowny postęp badawczy w dziedzinie treningu sportowego, doprowadził do znowelizowania procesu szkolenia sportowego. Narastająca komercjalizacja oraz dążenie do maksymalizacji wyników sportowych, skłoniła badaczy do opracowania innowacyjnych środków i metod treningowych ukierunkowanych na rozwój zdolności motorycznych, do których należą m.in.: siła, moc mięśniowa, szybkość, zwinność, gibkość oraz wytrzymałość tlenowa i beztlenowa (Berthelot i wsp. 2015; Kataoka i wsp. 2021). Najnowsze doniesienia naukowe zwracają szczególną uwagę na rolę kształtowania siły mięśniowej, która jest istotnym elementem budowy formy sportowej w wielu dyscyplinach sportowych (Maestroni i wsp. 2020). Trening z wykorzystaniem oporu zewnętrznego od lat wykorzystywany jest przez trenerów i specjalistów w profilaktyce urazów zawodnika, protokołach rehabilitacyjnych oraz w dążeniu do poprawy wszechstronnej i specjalistycznej sprawności fizycznej zawodnika (DiNubile 1991). Analiza literatury pozwala wnioskować, iż poziom siły mięśniowej, jest ściśle związany z osiąganymi wynikami sportowymi (ACSM 2009). Kształtowanie siły i mocy mięśniowej za pomocą treningu oporowego wymaga kontrolowania wielu zmiennych treningowych, takich jak: intensywność i objętość treningowa, częstotliwość, rodzaj i kolejność wykonywanych ćwiczeń, tempo wykonywanej czynności ruchowej, oraz czas przerwy wypoczynkowej pomiędzy seriami (Schoenfeld i wsp. 2017a,b; Grgic i wsp. 2018; Nunes i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021a).

W celu poprawy wyników sportowych, a także kontroli bieżących postępów oraz uniknięcia efektu przetrenowania i stagnacji, zawodnicy i trenerzy wykorzystują różnego rodzaju alternatywne (dla tradycyjnego treningu oporowego) metody treningowe oraz innowacyjne urządzenia pomiarowe wspomagające proces treningowy m.in.: elektromiografię powierzchniową (sEMG – surface electromyography), platformy dynamograficzne czy przybory treningowe takie jak: urządzenia pneumatyczne lub kompresyjne ograniczające przepływ krwi w poszczególnych obszarach mięśniowych (Marocolo i wsp. 2018). Jedną z metod treningowych zyskujących coraz większe zainteresowanie wśród trenerów i zawodników jest metoda ograniczonego przepływu krwi (BFR - blood flow restriction), która może być stosowana praktycznie podczas każdej formy wysiłku fizycznego. BFR wywoływane jest za pomocą nadmuchiwanym mankietów lub opasek uciskowych. Mankiet lub opaska uciskowa zakładana jest wokół proksymalnych części kończyn górnych lub dolnych (Loenneke i wsp. 2012a), co w konsekwencji wpływa na zmniejszenie przepływu krwi tętniczej i zamknięcie przepływu krwi żyłnej (Wilk i wsp. 2018b). BFR spowodowane przez mankiet jest

bezpieczne i łatwe do praktycznego zastosowania (Marocolo i wsp. 2018). Początkowo BFR było wykorzystywane w rehabilitacji, przede wszystkim w sytuacjach, w których pacjent nie był w stanie stosować treningu oporowego o wysokiej intensywności (Hughes i wsp. 2017; Domingos i Polito 2018; Neto i wsp. 2018; Patterson i wsp. 2019). Do tej pory analizowano wykorzystanie BFR w połączeniu z treningiem oporowym o niskiej intensywności w takich dyscyplinach sportu jak: pływanie (Marocolo i wsp. 2015; Ferreira i wsp. 2016), lekkoatletyka (Sabino-Carvalho i wsp. 2017), czy kolarstwo (Paradis-Deschênes i wsp. 2016). Powyższe badania koncentrowały się na wpływie BFR na poprawę wytrzymałości siłowej, natomiast w dalszym ciągu przeprowadzono niewiele badań dotyczących oceny wpływu stosowanego BFR w połączeniu z treningiem oporowym o wysokiej intensywności (Rawska i wsp. 2019; Gepfert i wsp. 2021).

Dodatkowo, pomimo że stosowanie BFR w treningu oporowym jest coraz bardziej powszechne, to w obecnie dostępnej literaturze próżno jest szukać publikacji naukowych przedstawiających precyzyjne zalecenia dotyczące treningu oporowego z wykorzystaniem różnych metod stosowania BFR w kształtowaniu siły i mocy mięśniowej. Dlatego rozważania podjęte w niniejszej dysertacji mają na celu rozszerzyć poziom dotychczasowej wiedzy z zakresu treningu BFR oraz pomóc w zoptymalizowaniu metod treningu oporowego z BFR.

1. Charakterystyka metody treningu oporowego z wykorzystaniem ograniczonego przepływu krwi (BFR – blood flow restriction)

Badania dotyczące stosowania metody BFR stosowanej w ramach treningu oporowego wykazały, że BFR korzystnie wpływa na wzrost siły i hipertrofii mięśniowej, co stanowi istotną implikację praktyczną dla zawodników i trenerów w programowaniu treningu oporowego (Wilk i wsp. 2018b). BFR generowane przez mankiety w trakcie trwania treningu oporowego z BFR prowadzi do zwiększenia stresu metabolicznego w mięśniach poddanych BFR i jest głównym mechanizmem fizjologicznym wpływającym na wzmożoną adaptację mięśniową w następstwie stosowania BFR (Pearson i Hussain 2015; Teixeira i wsp. 2018). Trening oporowy z BFR powoduje również: rozszerzenie naczyń krwionośnych w obrębie mięśnia poddanego BFR (Loenneke i wsp. 2012b), intensyfikuje syntezę białek mięśniowych (Manini i wsp. 2011; Laurentino i wsp. 2012), zwiększa rekrutację szybkokurczliwych włókien mięśniowych (Takarada i wsp. 2000; Manimmanakorn i wsp. 2013) oraz wzmacnia odpowiedź układu hormonalnego w trakcie i bezpośrednio po wykonanym wysiłku z BFR (Takano i wsp. 2005; Shimizu i wsp. 2016). Ponadto efekt przekrwienia występujący po zastosowaniu BFR w treningu oporowym, może odgrywać istotną rolę w: produkcji tlenu azotu (Singh i wsp. 2017), wzmożonej resyntezie fosfokreatyny, zmienionej kinetyce oksy- i deoksyhemoglobiny (Bailey i wsp. 2012) oraz zwiększonym poborze tlenu (Andreas i wsp. 2011). Oprócz czynników fizjologicznych również czynniki mechaniczne (siła sprężystości gromadzona i uwalniana przez mankiety w fazie koncentrycznej ruchu) związane z BFR, mogą mieć bezpośredni wpływ na trajektorię ruchu oraz przyspieszenie i prędkość sztangi podczas wykonywanego ćwiczenia oporowego z jednoczesnym BFR. Według Hughes i wsp. (2017), Gepfert i wsp. (2020), Wilka i wsp. (2020c,d,f) oraz Jarosza i wsp. (2021) czynniki mechaniczne powstałe na skutek stosowania BFR m.in. podczas wyciskania sztangi leżąc oraz przysiadów ze sztangą prowadzą do: większej liczby wykonanych powtórzeń, wyższego poziomu generowanej mocy oraz wzrostu generowanej prędkości sztangi. Jednakże trening oporowy z wykorzystaniem BFR oprócz mechanizmów fizjologicznych i mechanicznych, prowadzi również do nasilenia reakcji percepcyjnych m.in. wzrostu wskaźnika subiektywnego odczucia wysiłku (RPE- rate of perceived exertion), bólu i dyskomfortu oraz zmianę struktury wykonywanego ruchu spowodowaną przez ucisk mankietów i powstałą kompresję mięśniową (Schwiete i wsp. 2021). Nasilone reakcje percepcyjne wywołane przez opaski uciskowe w trakcie wykonywanego wysiłku z BFR, w konsekwencji mogą doprowadzić do zmniejszenia

efektywności lub zaburzenia technicznego wykonywanych ćwiczeń, co stanowi istotną wadę stosowania BFR (Schwiete i wsp. 2021). Jednakże należy zwrócić szczególną uwagę, iż stosowanie BFR wymaga indywidualizacji względem wartości stosowanego ciśnienia mankietów, szerokości mankietów, metod treningu z BFR, obciążenia zewnętrznego oraz celu treningowego, które istotnie wpływają na efektywność stosowanego BFR w treningu oporowym.

Jednakże w obecnej literaturze naukowej próżno jest szukać precyzyjnych wytycznych treningowych dotyczących optymalnych wartości poszczególnych zmiennych treningowych w ramach treningu oporowego z BFR. Dlatego przyszłe badania dotyczące ograniczonego przepływu krwi stosowanego w ramach wysiłku fizycznego, powinny skupić uwagę na opracowaniu zaleceń treningowych dotyczących określenia parametrów stosowania BFR w treningu oporowym w odniesieniu do różnych zmiennych treningu oporowego.

1.1. Rola wartości ciśnienia ucisku mankieta stosowanego podczas treningu oporowego z ograniczonym przepływem krwi (BFR)

Dotychczasowe doniesienia naukowe wskazują, że wartość stosowanego ciśnienia mankieta, jest istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność ćwiczeń oporowych z zastosowaniem BFR (Rossow i wsp. 2012; Wilk i wsp. 2020b, 2021b). AOP – (arterial occlusion pressure) to wartość ciśnienia w mankiecie, która powoduje ograniczenie przepływu krwi tętniczej. Wartość AOP jest związana z indywidualnymi cechami osobowymi, takimi jak: obwód kończyny objętej uciskiem, skład masy ciała tj. poziom masy mięśniowej oraz tkanki tłuszczowej, ale także z technicznymi aspektami opaski BFR takimi jak: szerokość, kształt i materiał z którego wykonany jest mankieta (Loenneke i wsp. 2012b; Jessee i wsp. 2016; Wilk i wsp. 2018b; McEwen i wsp. 2019). Indywidualne ustalenie wartości AOP (monitorowane przy pomocy urządzenia dopplerowskiego) uzyskiwane jest poprzez napompowanie mankieta, aż do momentu, w którym przepływ krwi tętniczej jest całkowicie zamknięty, co stanowi wartość 100%AOP. Rzeczywista wartość ciśnienia uprzednio ustalona w procedurach badawczych wyliczona zostaje na podstawie określenia procentowej wartości w odniesieniu do 100%AOP (Wilk i wsp. 2020c). Określając wartość optymalnego zakresu ciśnienia mankieta, należy również uwzględnić cel treningowy, jak również poziom doświadczenia zarówno w treningu oporowy, jak i w treningu z wykorzystaniem BFR. Loenneke i wsp. (2014) rekomendują stosowanie umiarkowanej wartości procentu całkowitego zamknięcia przepływu tętniczego krwi w treningu oporowym z BFR (około 50%AOP), która powoduje wystąpienie korzystnych

efektów adaptacyjnych. Dodatkowo według Loenneke i wsp. (2014) zastosowanie wyższego ciśnienia mankietu powyżej 50%AOP, nie spowoduje dodatkowej korzyści wynikającej ze stosowania BFR, a potencjalnie może doprowadzić do nasilenia negatywnych reakcji percepcyjnych wynikających z zastosowania BFR. Jednakże rekomendacje Loenneke i wsp. (2014), są sprzeczne z doniesieniami Pattersona i wsp. (2019), Gepfert i wsp. (2020) oraz Wilka i wsp. (2020c,f). Patterson i wsp. (2019) sugerują stosowanie wyższego zakresu ciśnienia mankietów podczas treningu oporowego z BFR wynoszącego od 40 do 80%AOP w celu wywołania istotnych adaptacji treningowych. Natomiast jak sugerują Gepfert i wsp. (2020) oraz Wilk i wsp. (2020c,f), jeśli celem treningowym jest natychmiastowy wzrost generowanej prędkości sztangi podczas wykonywanego ćwiczenia z metodą przerywanego BFR, jedynie wysokie wartości ciśnienia mankietów powyżej 80%AOP mogą być efektywne. Według Gepfert i wsp. (2020) oraz Wilka i wsp. (2020c,f) chcąc wyznaczyć optymalny zakres ciśnienia mankietu, oprócz celu treningowego, należy również uwzględnić rodzaj wykonywanych ćwiczeń (wielostawowe lub jednostawowe oraz czy BFR stosowany jest w obszarze górnej, czy dolnej kończyny ciała). Badania dotyczące wpływu treningu oporowego z wykorzystaniem BFR na bezpośredni wzrost poziomu generowanej mocy i prędkości sztangi dotyczyły zarówno ćwiczeń angażujących górną część ciała tj. wyciskanie sztangi leżąc na ławce poziomej (Wilk i wsp. 2020c,f i Jarosz i wsp. 2021) oraz dolną część ciała tj. przysiad ze sztangą (Gepfert i wsp. 2020). W protokole badawczym Wilka i wsp. (2020c,f) podczas wyciskania sztangi leżąc z zastosowaniem wysokich wartości ciśnienia mankietów wynoszących 80 i 90%AOP zaobserwowano bezpośredni wzrost generowanej mocy i prędkości sztangi w obu warunkach %AOP, w porównaniu do grupy kontrolnej (bez BFR). Natomiast w pracy Gepfert i wsp. (2020) podczas wykonywania przysiadów ze sztangą z zastosowaniem BFR o bardzo wysokich wartościach ciśnienia mankietów równych 100 i 150%AOP, wykazano istotny wzrost generowanej mocy i prędkości sztangi podczas przysiadów, ale tylko przy zastosowaniu ciśnienia 150%AOP (w porównaniu z grupą kontrolną), natomiast takich korzyści nie zaobserwowano przy zastosowaniu BFR z wartością ciśnienia 100%AOP. Na podstawie uzyskanych wyników Gepfert i wsp. (2020) brak istotnych różnic w generowanej mocy i prędkości sztangi dotyczący stosowania wysokiego ciśnienia równego 100%AOP podczas przysiadów ze sztangą, jest sprzeczny z wcześniejszymi doniesieniami Wilka i wsp. (2020c,f). Należy jednak zauważyć, że w badaniu Gepfert i wsp. (2020) oba warunki BFR tj. 100 i 150%AOP powodowały pełną niedrożność przepływu tętniczego krwi. Oprócz pełnego zamknięcia przepływu tętniczego krwi również krótki czas trwania wysiłku oraz stosunkowo niski wskaźnik zmęczenia badanych (pośrednio mierzony poprzez prędkość ruchu sztangi),

były podobne w obu warunkach %AOP. Można zatem stwierdzić, że wzrost generowanej prędkości sztangi wywołanej przez BFR było prawdopodobnie w mniejszym stopniu związane z czynnikami fizjologicznymi, a bardziej z czynnikami mechanicznymi, takimi jak siła sprężystości gromadzona i uwalniana przez mankiety w fazie koncentrycznej ruchu. Według Wilka i wsp. (2021b) stosowanie wyższego ciśnienia w mankietach powoduje wzrost współczynnika sprężystości, prowadząc do wyższego naprężenia materiału z którego wykonany jest mankiety, co skutkuje wzrostem generowanej prędkości sztangi podczas wyciskania sztangi leżąc oraz przysiadów ze sztangą (Hughes i wsp. 2017; Gepfert i wsp. 2020; Wilk i wsp. 2020c,d,f; Jarosz i wsp. 2021). Dodatkowo w przypadku badań Gepfert i wsp. (2020) BFR stosowane było w najbardziej proksymalnym obszarze kończyn dolnych, natomiast w badaniach Wilka i wsp. (2020c,f) w najbardziej proksymalnym obszarze kończyn górnych, co może świadczyć, że występują istotne różnice w natychmiastowych reakcjach wywołanych przez BFR w zależności od obszaru stosowania mankieta. Przyczyną istotnych różnic występujących w natychmiastowych reakcjach wywołanych przez BFR w badaniach Gepfert i wsp. (2020) i Wilka i wsp. (2020c,f) są prawdopodobnie różnice w strukturze wykonywanego ruchu pomiędzy ćwiczeniami (wyciskanie sztangi leżąc, a przysiad ze sztangą), co skutkuje odmiennymi efektami oddziaływania mankieta. Siła sprężystości z uwagi na strukturę wykonywanego ruchu podczas przysiadu ze sztangą wymaga większego naprężenia mankieta, dodatkowo stosunek długości kończyny do szerokości mankieta, może powodować większe wymagania dotyczące naprężenia, co skłania do stosowania wyższego ciśnienia w mankietach. Dodatkowo w badaniu Gepfert i wsp. (2020) brak istotnych różnic w generowanej mocy i prędkości sztangi w warunkach 100%AOP podczas przysiadów w porównaniu do grupy kontrolnej (bez BFR), może mieć związek także z różnicą w budowie somatycznej pomiędzy górną i dolną częścią ciała. Konieczność stosowania wyższych wartości ciśnienia mankieta (powodujących większe naprężenie mankieta) podczas przysiadów ze sztangą jak miało to miejsce w badaniu Gepfert i wsp. (2020) w porównaniu do wyciskania leżąc (Wilk i wsp. 2020f), może mieć również związek z faktem, że kończyny dolne w porównaniu do kończyn górnych różnią się m.in.: obwodem, stosunkiem długości kończyny do szerokości mankieta oraz strukturą układu naczyniowo-żylnego kończyny objętej uciskiem. Wobec tego powyższe uzyskane wyniki sugerują, że stosowanie ciśnienia mankieta w zakresie 80-90%AOP podczas wyciskania leżąc, determinuje istotny wzrost generowanej prędkości sztangi. Jednakże w celu wystąpienia natychmiastowego wzrostu wartości prędkości sztangi podczas przysiadów, wymagane jest stosowanie bardzo wysokiego ciśnienia mankieta wynoszącego 150%AOP, który powoduje większą kompresję mankieta w porównaniu do niższego ciśnienia (Hughes i

wsp. 2017; Gepfert i wsp. 2020; Wilk i wsp. 2020c,d,f).

Należy jednak zauważyć, że stosowanie wartości ciśnienia w mankietach powyżej 100%AOP, może być stosowane tylko w przypadku stosunkowo krótkiego czasu trwania BFR, co stanowi istotne ograniczenie w wykorzystaniu tego schematu BFR. Dodatkowo tylko w nielicznych protokołach badawczych stosowano ciśnienie mankieta wynoszące równo lub powyżej 100%AOP (Gepfert i wsp. 2020; Wilk i wsp. 2020c), dlatego obecnie brak jest danych naukowych dotyczących zastosowania ciśnień mankieta wynoszących powyżej 100%AOP w treningu oporowym z BFR.

1.2. Rola szerokości mankieta stosowanego podczas metody ograniczonego przepływu krwi (BFR) w treningu oporowym

W literaturze naukowej nie ma określonej standaryzacji w zakresie szerokości mankieta wykorzystywanych w treningu BFR. Jednakże liczne badania naukowe potwierdzają, że szerokość mankieta jest istotnym czynnikiem, wpływającym na poziom wywołanego BFR, a w związku z tym szerokość mankieta stosowanego podczas BFR ma istotny wpływ na wystąpienie bezpośrednich reakcji oraz długofalowych adaptacji wywołanych treningiem oporowym w połączeniu z BFR (Loenneke i wsp. 2012c; Rossow i wsp. 2012; Jessee i wsp. 2016; Wilk i wsp. 2020b). W dotychczasowych badaniach autorzy stosowali zróżnicowaną szerokość mankieta, które wahały się od 3 aż do 18,5 cm (Scott i wsp. 2015; Wilk i wsp. 2018b; Patterson i wsp. 2019). Badania Loenneke i wsp. (2012a) wykazały, że zastosowanie szerszego mankieta (13,5 cm) powoduje podobne zmiany adaptacyjne przy zastosowaniu niższych wartości %AOP w porównaniu z wąskim mankieta (5 cm) i wyższymi wartościami %AOP. Co więcej, stosowanie wyższych wartości %AOP powoduje wzrost reakcji sercowo-naczyniowych (tętno i ciśnienie krwi) i percepcyjnych (nasilenie zmęczenia i uczucia dyskomfortu badanych), co skłania do stosowania szerszych mankieta w celu uniknięcia negatywnych skutków (Rossow i wsp. 2012). Podobnie Loenneke i wsp. (2012a) wykazali, że podczas stosowania stałych wartości %AOP, stosowanie szerszego mankieta skutkuje wyższymi reakcjami fizjologiczno-adaptacyjnymi, powodując większą kompresję na tkanki naczyń krwionośnych w porównaniu z zastosowaniem węższego mankieta (Jessee i wsp. 2016). Ponadto, jak sugerują Crenshaw i wsp. (1988), Loenneke i wsp. (2012b) i Gepfert i wsp. (2020) potencjalny wpływ na zmiany adaptacyjne zachodzące w wyniku zastosowania wyższych wartości %AOP z szerokim mankieta podczas treningu oporowego w porównaniu do niższych wartości %AOP, może być również związany z: obwodem kończyny, stosunkiem

długości kończyny do szerokości mankietu, oraz strukturą układu naczyniowo-żylnego kończyny objętej uciskiem, które istotnie somatycznie różnią się pomiędzy kończyną górną i dolną (McEwen i wsp. 2019).

Według Wilka i wsp. (2020d) szerokość mankietu stosowanego podczas BFR oddziałuje nie tylko na poziom reakcji fizjologicznych, ale także wpływa na wartość siły sprężystości gromadzonej, a następnie oddawanej przez mankiety w fazie koncentrycznej ruchu. Jak sugerują Rawska i wsp. (2019) oraz Wilk i wsp. (2020c) czynniki mechaniczne (wyższy wskaźnik siły sprężystości kumulowanej przez mankiety i uwalnianej podczas koncentrycznej fazy ruchu) mogą tłumaczyć wzrost poziomu generowanej siły i mocy mięśniowej podczas wyciskania leżąc na ławce poziomej, jednakże tylko w momencie stosowania BFR (Wilk i wsp. 2020d). Mankiety są elementem pasywnym, natomiast podczas wykonywanego ruchu, zwłaszcza w fazie ekscentrycznej, naprężenie materiału, z którego wykonany jest mankiety, może kumulować i oddawać dodatkową siłę sprężystości w fazie koncentrycznej. Warto jednak zaznaczyć, że w celu uzyskania większego wskaźnika siły sprężystości decydującym aspektem, może być również sztywność materiału, poziom jego naprężenia, a w konsekwencji stosowana wartość ciśnienia mankieta. Jednakże w wielu przypadkach stosowanie wyjątkowo szerokich mankieta, może istotnie zmieniać strukturę wykonywanego ruchu i wpłynąć niekorzystnie na poziom wyników sportowych (Patterson i wsp. 2019).

1.3. Metody treningu z ograniczonym przepływem krwi (BFR) w ramach treningu oporowego

Istotnym czynnikiem mającym wpływ na efektywność treningową wynikającą z zastosowania BFR w treningu oporowym, jest rodzaj stosowanej metody treningowej z ograniczonym przepływem krwi. Podczas protokołów badawczych oraz jednostek treningowych zawodnicy stosują zróżnicowane metody treningu z BFR w ramach treningu oporowego. Metody treningu z BFR w istocie różnią się od siebie m.in.: czasem trwania BFR, protokołem stosowania mankieta tj.: przed, w trakcie wysiłku, przez cały trening oporowy lub wyłącznie w czasie przerwy wypoczynkowej, co może istotnie wpływać na poziom powysiłkowych reakcji fizjologicznych oraz wartość pracy mechanicznej, skutkując odmiennymi reakcjami adaptacyjnymi w wyniku treningu oporowego z BFR. Jednakże wciąż w literaturze naukowej nie określono optymalnych parametrów stosowania BFR w treningu oporowym w zależności od stosowanej metody treningu z BFR. Co więcej, żadne dotychczasowe badania naukowe nie podjęły się usystematyzowania i ujednolicenia

parametrów BFR w zależności od stosowanej metody.

Metoda ciągłego BFR jest najczęściej stosowaną metodą BFR w protokołach eksperymentalnych wielu badań naukowych (Takarada i wsp. 2002, 2004; Wernbom i wsp. 2009; Patterson i wsp. 2019). Podczas metody ciągłego BFR mankiety są zwykle zakładane przed wykonywanym ćwiczeniem oporowym, a BFR utrzymywane jest podczas wysiłku, a także podczas przerw wypoczynkowych, co powoduje zwiększony stres metaboliczny (m.in. spadek pH, wzrost H^+ , wzrost CO_2 i La) (Pearson i Hussain 2014; Teixeira i wsp. 2018), obrzęk komórek mięśniowych (Loenneke i wsp., 2012b) oraz reakcje hormonalne m.in. wzrost GH (Takano i wsp. 2005; Shimano i wsp. 2006). W przypadku treningu oporowego z metodą ciągłego BFR pomimo korzyści adaptacyjnych odnotowano także wysoki wzrost wskaźnika subiektywnego odczucia wysiłku (RPE), bólu i dyskomfortu badanych oraz zmianę struktury wykonywanego ruchu spowodowaną uciskiem mankietów (Wernbom i wsp. 2006; Neto i wsp. 2018; Schwiete i wsp. 2021), co w konsekwencji może potencjalnie zmniejszać efektywność procesu adaptacji (Wernbom i wsp. 2009; Loenneke i wsp. 2012a; Pearson i Hussain 2015; Neto i wsp. 2018; Teixeira i wsp. 2018; Wilk i wsp. 2018b; Okita i wsp. 2019). Kolejną metodą treningową z BFR stosowaną przez zawodników i trenerów w treningu oporowym jest metoda przerywanego BFR (Luebbbers i wsp. 2014; Teixeira i wsp. 2018; Rawska i wsp. 2019; Gepfert i wsp. 2020; Wilk i wsp. 2020b,f). Metoda przerywanego BFR polega na stosowaniu BFR wyłącznie w trakcie trwania wysiłku fizycznego, a następnie BFR jest usuwane bezpośrednio po zakończonej serii treningowej (Gepfert i wsp. 2020). Oprócz metody ciągłego i przerywanego BFR w protokołach badawczych wykorzystywana jest również metoda wstępnego BFR, podczas której BFR stosowane jest tylko przed wysiłkiem fizycznym. Metoda wstępnego BFR jest w głównej mierze stosowana przez zawodników jako wstępne pobudzenie mięśni w sesji rozgrzewkowej, bezpośrednio przed główną częścią treningu oporowego. Jedną z najczęściej stosowanych form treningowych z metodą wstępnego BFR jest protokół angażujący obszar mięśniowy poddany BFR, który obejmuje: 75 powtórzeń w czterech seriach treningowych z 30 powtórzeniami w pierwszej serii i 15 powtórzeniami w każdej kolejnej serii treningowej w celu wystąpienia adaptacji treningowej (Incognito i wsp. 2016; Marocolo i wsp. 2018; Wilk i wsp. 2020b). Jednakże biorąc pod uwagę specyfikę powyższych metod BFR stosowanych w ramach treningu oporowego, istotnym czynnikiem, który różnicuje poszczególne metody BFR jest czas trwania BFR, oraz poziom bezpośrednich reakcji fizjologicznych wynikających z zastosowania określonej metody BFR w treningu oporowym (Wilk i wsp. 2020b). Dodatkowo czynniki fizjologiczne i mechaniczne powstałe na skutek stosowanej metody BFR w treningu oporowym, związane są z wartością stosowanego ciśnienia

mankietów, która jest istotnym parametrem treningu oporowego BFR. Wobec tego podczas protokołów treningowych z BFR w zależności od stosowanej metody BFR, mogą być stosowane zróżnicowane wartości ciśnienia mankietów. Podczas stosowania metody przerywanego oraz wstępnego BFR w treningu oporowym z uwagi na krótki czas trwania BFR wynikający ze specyfiki protokołów, możliwe jest stosowanie wysokich wartości ciśnienia mankietu. Natomiast w trakcie treningu oporowego z metodą ciągłego BFR z uwagi na dłuższy czas trwania BFR oraz towarzyszące temu prawdopodobieństwo wystąpienia zwiększonych reakcji percepcyjnych, wysokie ciśnienie w mankietach, jest niemożliwe. Kolejnym istotnym argumentem przemawiającym za stosowaniem metody przerywanego BFR, są wyniki badania Yasuda i wsp. (2013), w których podczas zastosowanego wysokiego ciśnienia mankietów tj. 160 mmHg pomiędzy metodą ciągłego i przerywanego BFR, zaobserwowano podobne wartości aktywności mięśniowej obszarów poddanych BFR. Warto jednak zaznaczyć, że podczas stosowania metody przerywanego BFR mankiety uciskowe mogą wpływać na zmianę struktury wykonywanego ruchu, co stanowi istotne ograniczenie. Dodatkowo zwiększony stres metaboliczny wywołany przez mankiety, który zachodzi w mięśniach poddanych interwencji z metodą ciągłego i przerywanego BFR, wymaga wnikliwej kontroli procesu treningowego oraz późniejszego protokołu regeneracyjnego zawodników, co stanowi istotne ograniczenie praktyczne dla zawodników i trenerów (Pearson i Hussain 2015). Najnowsze doniesienia naukowe (Schwiete i wsp. 2021) informują, że jednym z możliwych sposobów na zniwelowanie negatywnych skutków spowodowanych przez mankiety uciskowe stosowane podczas wysiłku, przy jednoczesnym zachowaniu efektywności wynikającej z zastosowania BFR, jest wdrożenie nowatorskiej metody międzywysiłkowego BFR (Jarosz i wsp. 2021; Schwiete i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b). Badania wykazały, że metoda międzywysiłkowego BFR powoduje istotny wzrost szczytowej prędkości sztangi, nie zmieniając struktury wykonywanego ruchu (Wilk i wsp., 2021b), dodatkowo prowadząc do znacznie niższego uczucia zmęczenia i dyskomfortu badanych w porównaniu do metody ciągłego i przerywanego BFR (Schwiete i wsp. 2021).

Jednakże do dziś nie określono, czy na kierunek i wielkość zmian adaptacyjnych m.in. wzrost siły i mocy mięśniowej, zasadniczy wpływ ma metoda stosowanego BFR, czas trwania BFR, wartość ciśnienia ucisku mankietu, czy też wielkość zastosowanego obciążenia zewnętrznego. Część autorów podkreśla, że metodologia stosowania metody międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym o wysokiej intensywności u osób wytrenowanych jest nieznana i wymaga dalszych badań (Jarosz i wsp. 2021; Schwiete i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b).

2. Problem badawczy

W obecnej literaturze trening z wykorzystaniem BFR jest nadal szeroko badany zarówno pod kątem wpływu BFR na poprawę wyników sportowych, ale także z uwagi na bezpieczeństwo oraz praktyczne zastosowanie BFR w protokołach treningowych (Marocolo i wsp. 2015, 2018; Gepfert i wsp. 2020; Jarosz i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b; Schwiete i wsp. 2021). Patterson i wsp. (2019) opracowali zalecenia treningowe dotyczące stosowania BFR w treningu oporowym w celu wywołania adaptacji mięśniowej (wzrostu siły i hipertrofii mięśniowej). Sugerują one stosowanie: wartości ciśnienia mankietów w zakresie 40-80%AOP, obciążenia zewnętrznego wynoszącego 20-40%1RM, zastosowania zróżnicowanych szerokości mankietów 5-18cm oraz przerwy wypoczynkowej pomiędzy seriami trwającej 30-60 sek. Natomiast rekomendacje te są nieprecyzyjne, z uwagi na brak odniesienia do stosowania metody międzywysiłkowego BFR w ramach treningu oporowego, gdyż uwzględniają tylko metodę ciągłego i przerywanego BFR. Dodatkowo zalecenia treningowe opracowane przez Pattersona i wsp. (2019) nie obejmują oceny poziomu zmian generowanej prędkości sztangi, co stanowi również istotne ograniczenie. W dostępnej literaturze naukowej próżno jest szukać optymalnych parametrów treningowych z BFR dotyczących: stosowania metody międzywysiłkowego BFR, wartości optymalnego ciśnienia ucisku mankietów oraz zakresu stosowania obciążenia zewnętrznego, gdy celem jest natychmiastowy wzrost generowanej mocy i prędkości sztangi. (Incognito i wsp. 2016; Wilk i wsp. 2018b; Jarosz i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b).

W dwóch badaniach podjęto się oceny wpływu metody międzywysiłkowego BFR na natychmiastowe zmiany w generowanej prędkości sztangi podczas ćwiczeń oporowych angażujących górną część ciała. Zarówno w badaniu Jarosza i wsp. (2021) oraz Wilka i wsp. (2021b) zanotowano istotny wzrost generowanej prędkości sztangi w warunkach BFR z 80%AOP w porównaniu do grupy kontrolnej (bez BFR), co potwierdza ogromny potencjał stosowania tego typu metody BFR. Jednakże czynnikiem różnicującym oba protokoły, a mającym istotny wpływ na poziom generowanej mocy i prędkości sztangi podczas treningu oporowego z BFR, jest wartość stosowanego obciążenia zewnętrznego. W badaniu Jarosza i wsp. (2021) zastosowano protokół z progresywnym obciążeniem zewnętrznym 20-90%1RM i 80%AOP, w którym uzyskano wzrost generowanej mocy i prędkości sztangi z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 20 i 50%1RM. Jednakże podczas stosowania obciążeń zewnętrznych powyżej 60%1RM nie zanotowano istotnych różnic. Natomiast w badaniu Wilka i wsp. (2021b) podczas stosowania stałego obciążenia zewnętrznego

wynoszącego 60%1RM i 80%AOP, zaobserwowano istotny wzrost generowanej mocy i prędkości sztangi w porównaniu z grupą kontrolną (bez BFR). Brak istotnych różnic występujących w badaniu Jarosza i wsp. (2021) z progresywnym obciążeniem zewnętrznym powyżej 60%1RM, może determinować wystąpienie narastającego zmęczenia, wynikającego z większej liczby serii pomiarowych (8), w porównaniu do protokołu Wilk i wsp. (2021b) z niższą liczbą serii pomiarowych (5) i stałym obciążeniem zewnętrznym. Dodatkowo według wytycznych literatury naukowej dotyczących kształtowania mocy mięśniowej w treningu oporowym, optymalny zakres stosowania obciążenia zewnętrznego podczas wyciskania sztangi leżąc pozwalający generować największą prędkość sztangi wynosi 50-60%1RM. Dlatego stosowane obciążenie zewnętrzne, a przede wszystkim liczba serii pomiarowych a tym samym liczba cykli BFR, może w istotny sposób wpłynąć na efektywność stosowania BFR w treningu oporowym.

Warto również zaznaczyć, że w obu protokołach badawczych Jarosza i wsp. (2021) i Wilka i wsp. (2021b), zastosowano taką samą wartość ciśnienia mankietów wynoszącą 80%AOP, co stanowi kolejne ograniczenie porównawcze, ponieważ nadal nie określono, czy podobne efekty będą występowały przy zastosowaniu niższego ciśnienia mankietów. Dodatkowo istotnym brakiem metodologicznym dotyczącym zarówno wytycznych Pattersona i wsp. (2019), oraz metody międzywysiłkowego BFR stosowanej w badaniach Jarosza i wsp. (2021) oraz Wilka i wsp. (2021b), jest również brak stosowania w procedurach badawczych sesji pomiarowej z BFR-SHAM – grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg (Wilk i wsp. 2021b). Według Wilka i wsp. (2021b) efekt pozorowany jest metodologicznym czynnikiem zakłócającym efektywność potencjalnych środków wspomagających w badaniach naukowych (Ferreira i wsp., 2016; Marocolo i wsp., 2018), który w istotny sposób może oddziaływać na efektywność wynikającą z zastosowania BFR w treningu oporowym i wpłynąć na poprawę wyników sportowych. Jednym z badań, które potwierdza konieczność stosowania sesji pomiarowej z BFR-SHAM (20 mmHg) w procedurach badawczych z BFR w treningu oporowym, jest eksperyment przeprowadzony przez Marocolo i wsp. (2015). W badaniu Marocolo i wsp. (2015) podczas stosowania metody wstępnego BFR oceniano wpływ treningu oporowego w warunkach BFR z ciśnieniem mankietu wynoszącym 220mmHg oraz BFR-SHAM (20 mmHg) podczas ćwiczenia leg extension (wyprost stawu kolanowego za pomocą trenażera) w porównaniu z grupą kontrolną (bez BFR). Wyniki badań Marocolo i wsp. (2015) sugerują, że wartość ciśnienia mankietów z BFR-SHAM (20 mmHg) oraz w warunkach BFR z 220mmHg istotnie wpływa na poprawę wytrzymałości siłowej w porównaniu z grupą kontrolną (bez BFR), co skłania do stosowania

sesji pomiarowych z BFR-SHAM (20 mmHg) w procedurach badawczych z BFR. Jednakże nieustanny brak w literaturze naukowej możliwości porównania procedur badawczych stosujących zróżnicowane wartości ciśnień mankietów, uzasadnia potrzebę prowadzenia dalszych badań w celu opracowania wytycznych treningowych dotyczących stosowania metody międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym.

Wobec tego wydaje się uzasadnione, aby uzupełnić braki w dotychczasowej wiedzy i udoskonalić metodologię stosowania metody międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym w celu kształtowania mocy mięśniowej. Dlatego głównym celem niniejszej pracy była ocena wpływu różnych wartości ciśnienia mankietu tj. (20 mmHg, 50 i 80%AOP) na uzyskiwane wartości średniej i szczytowej prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc na ławce poziomej z zastosowaniem metody międzywysiłkowego BFR i stałym obciążeniem zewnętrznym równym 60%1RM. Przewiduje się, że uzyskane implikacje praktyczne mogą stanowić alternatywę dla zawodników i trenerów podczas planowania jednostek treningowych oraz wyznaczyć zakres parametrów treningowych stosowania metody międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym, gdy celem jest natychmiastowy wzrost mocy i prędkości sztangi.

2.1. Cel pracy

Uwzględniając powyższe rozważania, dotychczasową wiedzę oraz zauważając w niej pewne niedostatki, celem pracy była ocena wpływu stosowania BFR z wartością ciśnienia (20 mmHg, 50 i 80% AOP) na uzyskiwane wartości MV i PV podczas wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej z zastosowaniem metody międzywysiłkowego BFR i 60%1RM oraz 4,5 min czasem trwania BFR i 30 sek. reperfuzji po BFR. Realizację tak sformułowanego celu badań sprowadzono do poszukiwania odpowiedzi na poniższe pytania:

1. Czy stosowanie międzywysiłkowego BFR ma istotny wpływ na poziom generowanej prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM?
2. Która z wartości stosowanego ciśnienia ucisku tj. 20 mmHg, 50 i 80%AOP podczas stosowania międzywysiłkowego BFR powoduje istotne zmiany prędkości sztangi MV i PV podczas wyciskania leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM?
3. Czy liczba cykli BFR ma istotny wpływ na wielkość zmian prędkości sztangi MV i PV podczas wyciskania leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM?

4. Czy zastosowanie wartości ciśnienia ucisku 20 mmHg jako pozorowane ograniczenie przepływu krwi, powoduje istotne zmiany prędkości sztangi w trakcie stosowania międzywysiłkowego BFR podczas wyciskania leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM?

2.2. Hipotezy badawcze

1. Stosowanie międzywysiłkowego BFR powoduje istotny wzrost generowanej prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM.
2. Wartość stosowanego ciśnienia ucisku wynoszącego 80%AOP w trakcie międzywysiłkowego BFR, powoduje większy wzrost poziomu generowanej prędkości sztangi MV i PV, w porównaniu z 50%AOP i 20 mmHg podczas wyciskania sztangi leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM.
3. Wzrost liczby cykli BFR powoduje nasilenie efektu wzrostu wartości generowanej prędkości sztangi MV i PV w trakcie międzywysiłkowego BFR podczas wyciskania leżąc na ławce poziomej z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM.
4. Zastosowanie wartości ciśnienia ucisku 20 mmHg jako pozorowane ograniczenie przepływu krwi, nie powoduje istotnego wzrostu prędkości sztangi w trakcie stosowania międzywysiłkowego BFR podczas wyciskania leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM.

3. Materiał i metody badawcze

3.1. Charakterystyka badanych

W badaniach wzięło udział 15 zdrowych mężczyzn. Dobór badanych miał charakter celowy. Kryteria włączenia do grupy badanych zawierały: płeć męską, trening oporowy wykonywany regularnie minimum 3 razy w tygodniu od 3 lat, zadeklarowaną wartość 1RM w wyciskaniu sztangi leżąc na ławce poziomej wynoszącą co najmniej 150% masy ciała (84 ± 11) (weryfikowaną podczas sesji zapoznawczej), brak chorób układu krążenia m.in. nadciśnienie tętnicze, migotanie przedsionków, zakrzepica, niewydolność serca (osobista deklaracja) oraz brak urazów układu mięśniowo-szkieletowego co najmniej 6 miesięcy przed rozpoczęciem badania. Kryterium wyłączenia do grupy badanych zawierały: choroby układu krążenia (osobista deklaracja), wartość 1RM w wyciskaniu leżąc na ławce poziomej wynoszącą mniej niż 150% masy ciała.

Charakterystyka badanych została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka badanych

Wiek [lata]	Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [cm]	1RM - wyciskanie sztangi leżąc [kg]	100%AOP [mmHg]	Staż treningowy [lata]
23±3	84±11	181±5	132±23	158±8	6±3

Wszystkie próby testowe przeprowadzone zostały w Laboratorium Siły i Mocy Mięśniowej Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach. Badani zostali poproszeni o niewykonywanie żadnych ćwiczeń oporowych 24 godziny przed rozpoczęciem eksperymentu. Uczestnicy zostali poinstruowani, aby w trakcie badań utrzymywali swoje nawyki żywieniowe i nie stosowali żadnych suplementów ani środków pobudzających przed i podczas trwania eksperymentu badawczego, który trwał 6 tygodni. Badani zostali poinformowani o potencjalnych zagrożeniach i korzyściach wynikających z uczestnictwa w projekcie oraz o możliwości zrezygnowania z udziału w eksperymencie w dowolnej chwili. Wszyscy uczestnicy podpisali pisemne zgody na udział w badaniach, jednakże nie otrzymali

informacji o przebiegu badania oraz oczekiwanych wynikach. W badaniu wykorzystano randomizowane, kontrolowane zaślepienie, w którym każdy uczestnik nie wiedział o podejmowanym warunku testowym. Dodatkowo każdy z badanych wykonywał sesje eksperymentalne pojedynczo w celu uniknięcia rywalizacji z pozostałymi uczestnikami badania. Randomizacja została przeprowadzona za pomocą generatora randomization.com. Każdemu z uczestników wygenerowano numer i kolejność wykonania poszczególnych sesji. Po losowym przydzieleniu do interwencji treningowej, uczestnicy nie znali dalszego przebiegu eksperymentu. Protokół badań został zaakceptowany przez Uczelnianą Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach (02/2019), a wszystkie procedury były zgodne z zasadami etyki standardu Deklaracji Helsińskiej, 2013.

3.2. Sesja zapoznawcza i test jednego powtórzenia maksymalnego (1RM)

Trzy tygodnie przed rozpoczęciem głównej sesji eksperymentalnej uczestnicy przeprowadzili dwie sesje zapoznawcze. Sesje zapoznawcze oraz sesje eksperymentalne przeprowadzono o tej samej porze dnia (między godziną 9:00 a 11:00), w celu zachowania stałego rytmu dobowego. Podczas sesji zapoznawczych jako element rozgrzewki, uczestnicy wykonali wysiłek na cykloergometrze przez 5 min (tętno: 130 uderzeń/ min), po czym wykonano rozgrzewkę składającą się z ćwiczeń mobilizacyjnych i aktywacyjnych angażujących górną część ciała oraz 15 ugięć ramion w podporze przodem i 5 podciągnięć na drążku z obciążeniem własnego ciała. Następnie zawodnicy przeprowadzili specjalistyczną rozgrzewkę, w której wykonali kolejno 15, 10 i 5 powtórzeń wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej z zastosowaniem obciążenia zewnętrznego wynoszącego 20 kg, a następnie 40% i 60% szacowanej wartości 1RM z wolicyonalną prędkością ruchu (Krzysztofik i wsp. 2021). W trakcie trwania sesji zapoznawczych każdy z uczestników wykonał pięć serii wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej z obciążeniem zewnętrznym szacowanym jako 60%1RM z zastosowaniem BFR tylko podczas przerwy wypoczynkowej z wartością ciśnienia mankietu wynoszącą 50%AOP w pierwszej sesji zapoznawczej oraz z 80%AOP w drugiej sesji zapoznawczej. Tydzień przed główną sesją eksperymentalną przeprowadzono test pojedynczego powtórzenia maksymalnego (1RM). Protokół rozgrzewki (1RM), był taki sam jak podczas sesji zapoznawczej. Po przeprowadzeniu specjalistycznej rozgrzewki wyznaczono pierwsze obciążenie testowe wynoszące około 80%1RM, które zwiększono w każdej kolejnej próbie od 2,5 do 10 kg, a proces ten powtarzano, aż do wykonania nieudanej próby. Czas

przerwy wypoczynkowej pomiędzy seriami wynosił 5 min. Szerokość chwytu sztangi została wyznaczona jako 150% indywidualnej odległości wyrostków barkowych i była stosowana we wszystkich głównych próbach podczas sesji eksperymentalnej (Wilk i wsp. 2021a).

W badaniach wykorzystano sprzęt olimpijski firmy Eleiko (sztanga: 2.8 cm średnica; 1.92 m długość).

3.3. Sesja eksperymentalna

Uczestnicy badania wykonali zgodnie z randomizacją w losowej kolejności cztery sesje pomiarowe wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej w odstępie minimum 72 godzin. Każdy z uczestników wykonał 4 sesje:

1. CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi)
2. BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg)
3. BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50% AOP)
4. BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80% AOP)

Procedura rozgrzewki oraz szerokość chwytu sztangi podczas każdej z sesji eksperymentalnych badania była taka, jak podczas sesji zapoznawczej i testu 1RM. Badani rozpoczynając każdą próbę zostali poinstruowani o przyjęciu prawidłowej pozycji wyjściowej: głowa przylegająca do ławki, łopatki zbliżone do siebie, klatka piersiowa uwypuklona do przodu, a mięśnie brzucha napięte. W trakcie trwania każdego powtórzenia dwie doświadczone osoby w treningu siły mięśniowej asekurowały uczestników w celu bezpieczeństwa oraz uzyskania maksymalnej prędkości ruchu sztangi.

Podczas każdej sesji eksperymentalnej badany wykonał 5 serii wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60% 1RM i 5 – min przerwą wypoczynkową pomiędzy seriami oraz z zastosowaniem BFR tylko podczas przerwy wypoczynkowej (4,5 min z BFR i 30 sek. czas reperfuzji po BFR). Podczas każdej serii testowej, zawodnicy wykonywali trzy powtórzenia z maksymalną prędkością ruchu bez zatrzymywania sztangi w dolnym oraz górnym położeniu (Wilk i wsp. 2020a,c, 2021a).

3.4. Procedura ograniczenia przepływu krwi (BFR)

Podczas sesji testowych z BFR, mankiety zostały założone przed pierwszą serią tj. (4,5

min – czas BFR) oraz natychmiast po zakończeniu każdej serii i usunięte na 30 sek. (czas reperfuzji po BFR) przed pierwszą i kolejną serią testową. Mankiety powodujące BFR zostały umiejscowione w proksymalnych częściach kończyn górnych, w okolicy dołu pachowego obu ramion. W powyższym badaniu zastosowano mankiety firmy (Fit Cuffs® Arm Cuffs V3.1, szerokość 10,5cm, Denmark). Indywidualne wartości ciśnienia mankietu, określono bezpośrednio przed każdą sesją testową z BFR. W celu określenia indywidualnej wartości ciśnienie ucisku mankietu, po zakończeniu rozgrzewki oraz 5 min przerwie wypoczynkowej, wyznaczono wartość AOP w zależności od przeprowadzanej sesji pomiarowej. Pomiar wartości AOP przeprowadzono dwukrotnie dla każdej kończyny z osobna, a uzyskane różnice mieściły się w zakresie 20 mmHg, przy średniej wartości z dwóch pomiarów wykorzystanych do wyznaczenia wartości ciśnienia mankietu w sesji pomiarowej 50 i 80% AOP (Jarosz i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b). Wartość ciśnienia w mankiecie podczas wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej, w zależności od procedur badawczej została wyznaczona na 20 mmHg, 50 i 80%AOP wartości całkowitego zamknięcia przepływu tętniczego krwi (50%AOP = 79 ± 5 mmHg i 80%AOP= 127 ± 7 mmHg). Powyższy poziom całkowitego zamknięcia przepływu tętniczego krwi (AOP) na tętnicy promieniowej był monitorowany przy pomocy ręcznego urządzenia dopplerowskiego (Edan SD3 Doppler z ekranem OLED i 2 MHz sonda, firmy Edan Instruments (Shenzhen, Chiny).

3.5. Metody i narzędzia pomiarowe

Do oceny prędkości ruchu sztangi wykorzystano przetwornik liniowy Tendo TM Power Analyzer (Tendo Sport Machines, Trencin, Słowacja) o wysokiej rzetelności pomiarowej na poziomie ICC >0,90 (Garnacho-Castaño i wsp. 2015). Pomiary zostały wykonane niezależnie dla każdego powtórzenia. Do analiz wykorzystano: MV z 3 powtórzeń w serii oraz najwyższą PV uzyskaną w serii. Przewód modułu czujnika zamocowano do końca sztangi za pomocą paska na rzep. Urządzenie ułożono w taki sposób, aby podczas wykonywanego ruchu trajektoria linki była jak najbardziej prostopadła do podłoża w celu pomiaru powyższych zmiennych. Za dokładność pomiaru odpowiadała zawsze ta sama osoba, która była doświadczona w procedurach badawczych z wykorzystaniem Tendo TM Power Analyzer.

3.6. Narzędzia analizy statystycznej

Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu programu Statistica 9.1. Wyniki dla wartości średniej prędkości (MV) i szczytowej prędkości (PV) przedstawiono jako średnie z odchyleniami standardowymi. Do oceny normalności rozkładu danych użyto testu Kołmogorowa-Smirnowa, a sferyczność wariancji przeanalizowano testem Mauchly'ego. Analizę statystyczną dla wartości MV oraz PV pomiędzy poszczególnymi grupami zbadano stosując dwuczynnikową ANOVA [4 grupy CONT vs. BFR-SHAM vs. BFR-50 vs. BFR-80) x 5 serii wyciskania leżąc]. W celu określenia istniejących różnic wykorzystano testy post-hoc Tukey'a. Dodatkowo wykonano analizę statystyczną uwzględniając zmiany wartości przyrostów (delta) dla MV oraz PV w odniesieniu do serii pierwszej (seria 2 – 1; seria 3 – 1; seria 4 – 1; seria 5 – 1). Przyjęto poziom istotności dla wykonywanych analiz $p < 0,05$. Do porównań parami wykorzystano wielkość efektu d ES Cohena (efekt duży $d > 0,8$; średni d 0,8–0,5; mały d 0,49–0,20; trywialny $d < 0,2$).

4. Wyniki badań

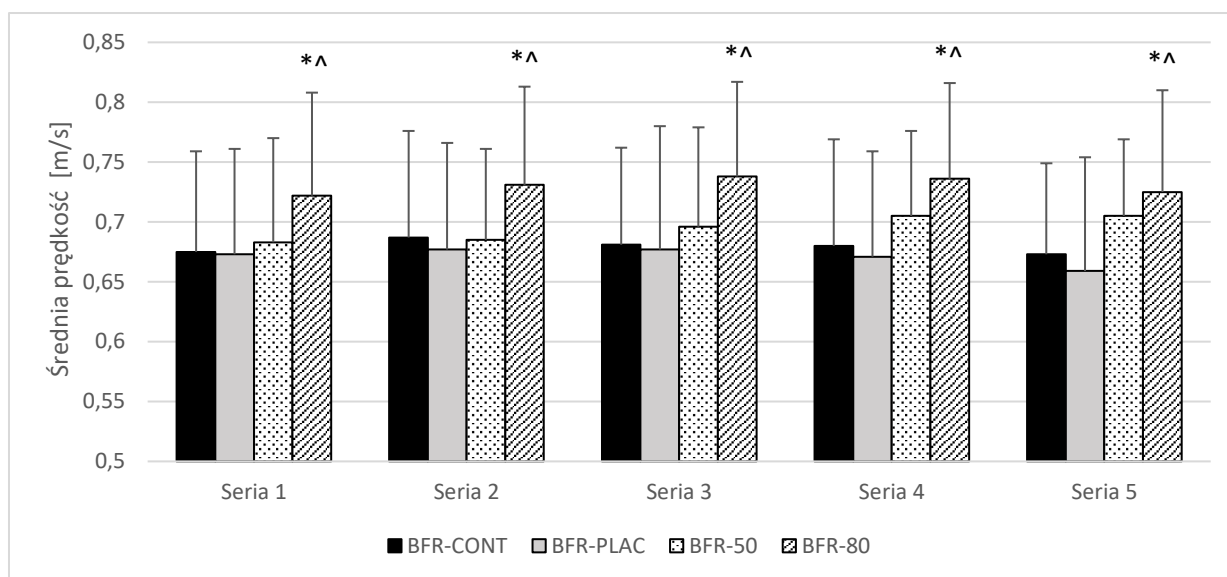
4.1. Analizy statystyczne dla średniej prędkości sztangi MV [m/s]

Dwuczynnikowa ANOVA dla wartości MV nie wykazała istotnie statystycznych różnic ($p = 0,69$) dla wyniku analizy interakcji (4 grupy x 5 serii). Jednocześnie ANOVA wykazała istotny wpływ ($p = 0,008$) dla efektu głównego „grupy”. Wyniki testu post-hoc Tukey’a dla interakcji wykazały istotne różnice wartości MV pomiędzy grupą BFR-80 a grupą CONT w seriach 1-5 oraz pomiędzy grupą BFR-80 a BFR-SHAM także w seriach 1-5 ($p < 0,05$) (tabela 2). Dodatkowo wyniki testu post-hoc Tukey’a dla efektu głównego „grupy” wykazały istotnie wyższe wartości MV dla grupy BFR-80 w porównaniu do grupy CONT ($p = 0,02$; 0,73 vs. 0,68 m/s) oraz w porównaniu do grupy BFR-SHAM ($p = 0,008$; 0,73 vs. 0,67 m/s). Wielkość efektu d ES Cohena dla wartości MV przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Średnia i odchylenie standardowe dla wartości średniej prędkości sztangi (MV) mierzonej podczas wyciskania sztangi leżąc.

Grupa	Seria 1 [m/s]	Seria 2 [m/s]	Seria 3 [m/s]	Seria 4 [m/s]	Seria 5 [m/s]
CONT	0,67±0,08	0,69±0,09	0,68±0,08	0,68±0,09	0,67±0,07
BFR-SHAM	0,67±0,08	0,68±0,09	0,68±0,10	0,67±0,08	0,66±0,09
BFR-50	0,68±0,08	0,69±0,07	0,70±0,08	0,70±0,07	0,70±0,06
BFR-80	0,72±0,09*^	0,73±0,08*^	0,74±0,08*^	0,74±0,08*^	0,73±0,09*^

CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP), BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP), * istotnie statystycznie różnica $p < 0,05$ względem grupy CONT, ^ istotnie statystyczna różnica $p < 0,05$ względem grupy BFR-SHAM



CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP), BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP), * istotnie statystycznie różnica $p < 0,05$ względem grupy CONT, ^ istotnie statystyczna różnica $p < 0,05$ względem grupy BFR-SHAM

Ryc. 1. Średnia i odchylenie standardowe dla wartości średniej prędkości sztangi (MV) mierzonej podczas wyciskania sztangi leżąc.

Tabela 3. Wielkość efektu d ES Cohena dla wartości średniej prędkości sztangi (MV) mierzonej podczas wyciskania sztangi leżąc.

Grupa	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4	Seria 5
BFR-80 – CONT	0,62	0,47	0,75	0,70	0,80
BFR-80 – BFR-SHAM	0,62	0,59	0,66	0,87	0,82
BFR-80 – BFR-50	0,50	0,53	0,50	0,53	0,42
BFR-50 – CONT	0,13	0,00	0,25	0,25	0,46
BFR-50 – BFR-SHAM	0,13	0,12	0,22	0,40	0,52
BFR-SHAM – CONT	0,00	0,11	0,00	0,12	0,12

CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP), BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP)

4.2. Analiza wartości przyrostów (delta) w odniesieniu do serii pierwszej dla średniej prędkości sztangi MV [m/s]

Dwuczynnikowa ANOVA dla wartości przyrostów (delta) MV pomiędzy seria 2 – seria

1; seria 3 – 1; seria 4 – 1, seria 5 – 1, nie wykazała istotnych statystycznych różnic ($p = 0,46$) dla wyniku analizy interakcji (4 grupy x 4 wartości przyrostów pomiędzy seriami). Ponadto ANOVA nie wykazała istotnych statystycznych różnic ($p = 0,42$) dla efektu głównego „grupy”.

Tabela 4. Analiza wartości przyrostów (delta) i odchylenia standardowe dla wartości średniej prędkości sztangi (MV) mierzonej podczas wyciskania sztangi.

Delta	CONT	BFR-SHAM	BFR-50	BFR-80
2-1	0,01±0,03	0,00±0,03	0,00±0,04	0,01±0,02
3-1	0,01±0,04	0,00±0,05	0,01±0,04	0,02±0,04
4-1	0,01±0,04	0,00±0,03	0,02±0,05	0,01±0,04
5-1	0,00±0,04	-0,01±0,03	0,02±0,04	0,00±0,05

CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP), BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP)

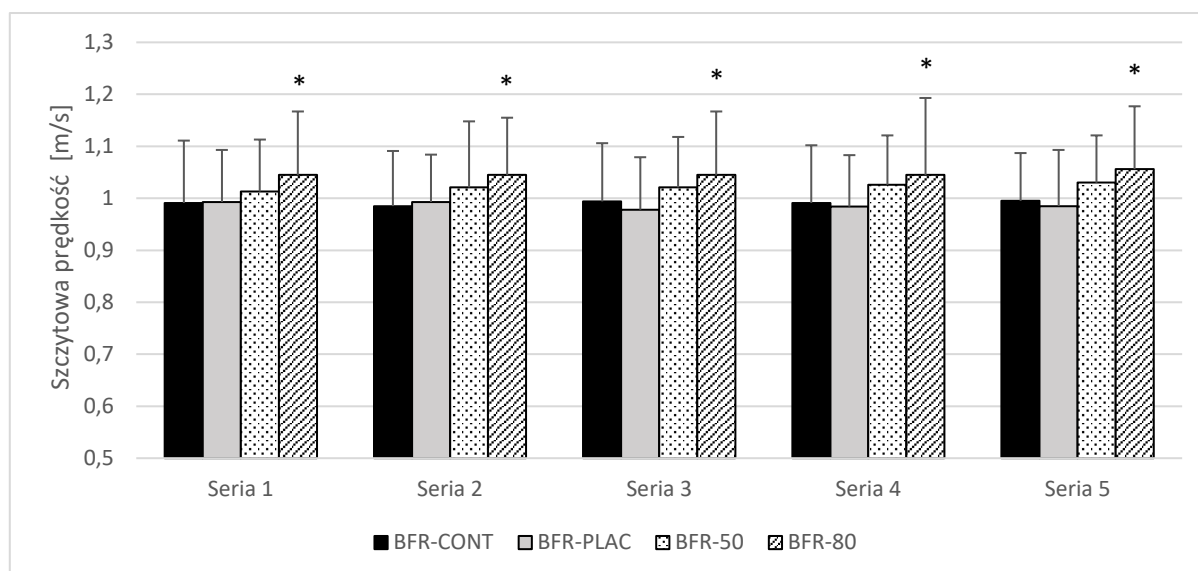
4.3. Analizy statystyczne dla szczytowej prędkości sztangi PV [m/s]

Dwuczynnikowa ANOVA dla wartości PV nie wykazała istotnych statystycznych różnic ($p = 0,96$) dla wyniku analizy interakcji (4 grupy x 5 serii). Ponadto ANOVA wykazała istotne statystycznie różnice ($p = 0,09$) dla efektu głównego „grupy”. Pomimo braku istotnych statystycznie różnic analizy interakcji (grupa x seria) wyniki testu post-hoc Tukey’a wykazały istotne różnice wartości PV pomiędzy grupą BFR-80 a grupą CONT w seriach 1-5 (tabela 5). Wielkość efektu d ES Cohena dla wartości PV przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 5. Średnia i odchylenie standardowe dla wartości szczytowej prędkości sztangi (PV) mierzonej podczas wyciskania sztangi leżąc.

Grupa	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4	Seria 5
CONT	0,99±0,12	0,98±0,10	0,99±0,11	0,99±0,11	0,99±0,09
BFR-SHAM	0,99±0,10	0,99±0,09	0,98±0,10	0,98±0,10	0,98±0,10
BFR-50	1,01±0,10	1,02±0,12	1,02±0,09	1,03±0,09	1,03±0,09
BFR-80	1,05±0,12*	1,05±0,11*	1,04±0,12*	1,04±0,14*	1,06±0,12*

CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP), BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP), * istotnie statystyczna różnica $p < 0,05$ względem grupy CONT



CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP), BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP), * istotna statystycznie różnica $p < 0,05$

Ryc. 2. Średnia i odchylenie standardowe dla wartości szczytowej prędkości sztangi (PV) mierzonej podczas wyciskania sztangi leżąc.

Tabela 6. Wielkość efektu d ES Cohena dla wartości szczytowej prędkości sztangi (PV) mierzonej podczas wyciskania sztangi leżąc.

Grupa	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4	Seria 5
BFR-80 – CONT	0,50	0,67	0,43	0,40	0,66
BFR-80 – BFR-SHAM	0,54	0,60	0,54	0,49	0,72
BFR-80 – BFR-50	0,36	0,26	0,19	0,08	0,28
BFR-50 – CONT	0,18	0,36	0,30	0,40	0,44
BFR-50 – BFR-SHAM	0,20	0,28	0,42	0,53	0,53
BFR-SHAM – CONT	0,00	0,11	0,10	0,10	0,11

CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP), BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP)

4.4. Analiza wartości przyrostów (delta) w odniesieniu do serii pierwszej dla szczytowej prędkości sztangi PV [m/s]

Dwuczynnikowa ANOVA dla wartości przyrostów PV pomiędzy seria 2 – seria 1; seria

3 – 1; seria 4 – 1, seria 5 – 1, nie wykazała istotnie statystycznie różnic ($p = 0,36$) dla wyniku analizy interakcji (4 grupy x 4 wartości różnic pomiędzy seriami). Ponadto ANOVA nie wykazała istotnie statystyczne różnice ($p < 0,42$) dla efektu głównego „grupy”.

Tabela 7. Analiza wartości przyrostów (delta) i odchylenie standardowe dla wartości szczytowej prędkości sztangi (PV) mierzonej podczas wyciskania sztangi leżąc.

Delta	CONT	BFR-SHAM	BFR-50	BFR-80
2-1	0,01±0,03	0,00±0,03	0,00±0,04	0,01±0,02
3-1	0,00±0,03	0,00±0,05	0,01±0,04	0,02±0,04
4-1	0,01±0,04	0,00±0,03	0,02±0,05	0,01±0,04
5-1	0,00±0,04	-0,01±0,03	0,02±0,04	0,00±0,05

CONT – (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM – (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP), BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP)

5. Dyskusja

Głównym celem niniejszej pracy była ocena wpływu różnych wartości ciśnienia mankietu tj. (20 mmHg, 50 i 80%AOP) na uzyskiwane wartości średniej i szczytowej prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc na ławce poziomej z zastosowaniem metody międzywysiłkowego BFR i stałym obciążeniem zewnętrznym równym 60%1RM oraz 4,5 min czasem trwania BFR i 30 sek. reperfuzji po BFR. Nowatorskim osiągnięciem niniejszych badań jest fakt, że metoda międzywysiłkowego BFR powoduje istotny wzrost prędkości sztangi, podczas wyciskania leżąc na ławce poziomej z obciążeniem zewnętrznym o wartości 60% 1RM w porównaniu do grupy kontrolnej (CONT). Powyższe badania wykazały, że zarówno średnia, jak i szczytowa prędkość sztangi były istotnie wyższe podczas 5 serii wyciskania leżąc dla grupy stosującej BFR-80 w porównaniu z grupą CONT. Dodatkowo badania wykazały istotnie wyższe wartości średniej prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc w grupie BFR-80 w porównaniu do grupy BFR-SHAM (20mmHg). Szczegółowa analiza wyników przeprowadzona niezależnie dla poszczególnych serii wykazała tendencję do wzrostu pozytywnego efektu BFR w kolejno następujących seriach. Największy wzrost średniej prędkości sztangi zaobserwowano w seriach 3-5 dla grupy stosującej BFR-80 w porównaniu do grupy CONT oraz grupy BFR-SHAM (tabela 3). Natomiast, co szczególnie ważne z punktu widzenia praktycznego, istotnych różnic w prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc nie wykazano pomiędzy grupą BFR o niższej wartości ciśnienia ucisku tj. 50%AOP w porównaniu do grupy CONT, grupy BFR-SHAM oraz grupy BFR-80. Dodatkowo istotnych różnic w średniej i szczytowej prędkości sztangi nie zaobserwowano pomiędzy grupą BFR-SHAM, a grupą CONT. W związku z tym uzyskane wyniki przeprowadzonego badania wskazują, że międzywysiłkowa metoda BFR, ale tylko z zastosowaniem ciśnienia ucisku 80%AOP stosowana w 4,5 min przerwach wypoczynkowych pomiędzy seriami wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej i 30 sek. czasem reperfuzji po BFR, powoduje istotny wzrost generowanej średniej i szczytowej prędkości sztangi.

Obserwowana w przeprowadzonych badaniach różnica w generowanej prędkości sztangi pomiędzy grupą BFR-80, a grupą CONT oraz grupą BFR-SHAM, może mieć związek z wieloma czynnikami fizjologicznymi, które zachodzą podczas stosowania BFR w ramach treningu oporowego. BFR może powodować: zwiększenie uwalniania tlenu azotu (Kimura i wsp. 2007; Li i wsp. 2012), wzrost aktywacji receptorów adenozynowych (Liu i wsp. 1991; Schroeder i wsp. 1996), zwiększenie ekstrakcji tlenu przez mięsień (Paradis-Deschênes i wsp., 2016; Tanaka i wsp., 2016) oraz otwarcie zależnego od adenozynotrifosforanu (ATP)

kanalu potasowego (K^+), który zwiększa możliwości wysiłkowe po zastosowaniu BFR w treningu oporowym. (Lawson i Downey, 1993; Pang i wsp. 1995). Innymi czynnikami fizjologicznymi, które mogły potencjalnie wpłynąć na uzyskany wzrost prędkości sztangi w grupie stosującej metodę międzywysiłkowego BFR, jest dwukierunkowy mechanizm integracji ciała mózgowego aktywowany po niedokrwieniu. Mechanizm ten potęguje występujące reakcje fizjologiczne poprzez mechaniczne receptory czuciowe (Taylor i wsp. 2010; Cromwell i Panksepp 2011; de Souza i wsp. 2019) zwiększając w ten sposób odporność na skutki oddziaływania BFR w treningu oporowym (de Souza i wsp. 2021). Dodatkowo mechanizmy adaptacyjne zachodzące podczas treningu oporowego z BFR obejmują zwiększony stres metaboliczny wynikający z nasilenia akumulacji metabolitów (w kończynach objętych BFR), wpływając na rekrutację szybko-kurczliwych włókien mięśniowych. Mechanizm ten powoduje istotny wzrost prędkości sztangi w ćwiczeniach o charakterze eksplozywnym, który wystąpił również w przeprowadzonym badaniu (Libonati i wsp. 1998; Takarada i wsp. 2000; Suga i wsp. 2012; Karabulut i wsp. 2014; Marocolo i wsp. 2015). Warto zauważyć, że największe różnice średniej prędkości sztangi pomiędzy grupą BFR-80, a grupą CONT oraz grupą BFR-SHAM wystąpiły w końcowych seriach pomiarowych 3-5. Wskazuje to, że efektywność wynikająca z zastosowania metody międzywysiłkowego BFR pozwala istotnie zwiększyć generowaną prędkości sztangi szczególnie w przypadku narastającego zmęczenia wysiłkowego. Warto również zaznaczyć, że podobne mechanizmy adaptacyjne zachodzące w trakcie trwania treningu oporowego z metodą ciągłego BFR, mogą dodatkowo występować podczas metody międzywysiłkowego BFR, którą zastosowano w przeprowadzonym badaniu. Narastające zmęczenie, a tym samym zmiany biochemiczne krwi, do których należą m.in.: zwiększenie stężenia wolnych rodników, mleczanu, czynników indukowanych hipoksją (HIF) oraz białek szoku cieplnego (HSP), przyczyniają się do zmaksymalizowania reakcji układu nerwowego i wyrzutu hormonów odpowiedzialnych za regenerację tkanki mięśniowej podczas treningu oporowego z BFR (Bemben i wsp. 2022). Jednakże analizując bezpośrednie reakcje zachodzące podczas stosowania treningu oporowego z BFR, należy również uwzględnić: stosowaną metodę treningową z BFR, rodzaj wykonywanych ćwiczeń, intensywność i objętość treningową oraz czas przerwy wypoczynkowej. Wszystkie powyższe elementy metodyki treningu oporowego z BFR determinują wzrost stężenia mleczanu we krwi i hormonów anabolicznych, którym towarzyszy m.in.: wzrost stężenia testosteronu, oraz hormonu wzrostu (GH) przy niewielkich zmianach zachodzących w markerach uszkodzenia mięśni (Bemben i wsp. 2022). Dlatego stosowanie metody międzywysiłkowego BFR w przeprowadzonym badaniu może mieć nie tylko istotny

wpływ na wzrost wartości średniej i szczytowej prędkości sztangi, ale również może być skuteczną formą ograniczania narastającego poziomu zmęczenia podczas wysiłku, jak również wspomagania długofalowego procesu adaptacji mięśniowej.

Wcześniejsze badania wykazały, że zarówno metoda ciągłego BFR, metoda wstępnego BFR oraz metoda przerywanego BFR powodują istotny wzrost maksymalnej siły mięśniowej, mocy oraz wytrzymałości siłowej w porównaniu do grupy CONT (Telles i wsp., 2020). Jednakże wraz ze wzrostem możliwości wysiłkowych w wyniku stosowania jednej z tych metod, zachodzi także obawa o wystąpienie skutków ubocznych, które zachodzą podczas stosowania mankietów w trakcie trwania wysiłku m.in. spotęgowanie uczucia zmęczenia i dyskomfortu badanych oraz ograniczenia czucia nerwowo-mięśniowego, które mogą powodować zaburzenie struktury wykonywanego ruchu. Warto podkreślić, że wszystkie powyższe skutki uboczne, towarzyszą szczególnie w przypadku zastosowania treningu oporowego z metodą ciągłego BFR. Badanie Schwiete i wsp. (2021) miało na celu ustalenie, która z metod treningowych z BFR (ciągła, czy międzywysiłkowa) niweluje odczuwane skutki uboczne (uczucie zmęczenia i dyskomfortu badanych), zachowując efektywność wynikającą z zastosowania BFR w treningu oporowym. W badaniu Schwiete i wsp. (2021) ustalono, że protokół treningowy z metodą międzywysiłkowego BFR, czyli taki jaki stosowano w prezentowanej dysertacji, prowadzi do znacznie niższych wskaźników postrzegania zmęczenia (RPE), odczucia bólu oraz dyskomfortu badanych (wywołanych uciskiem mankietów) w porównaniu do metody ciągłego BFR, co należy uznać za zaletę. Dodatkowo metoda międzywysiłkowego BFR wywołuje porównywalne adaptacje treningowe dotyczące hipertrofii mięśniowej oraz wzrostu prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc, jak podczas treningu oporowego z zastosowaniem metody ciągłego BFR (Schwiete i wsp. (2021)). Warto jednak zaznaczyć, że osoby stosujące metodę międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym spędzają sumarycznie mniej czasu w BFR w porównaniu do grupy stosującej metodę ciągłego BFR. Również czas trwania metody wstępnego oraz przerywanego BFR jest często krótszy niż czas trwania metody ciągłego BFR. Z punktu widzenia praktycznego krótszy czas trwania BFR podczas treningu oporowego jest korzystniejszy dla zawodników, z uwagi na możliwość manipulowania objętością treningową wynikającą ze zmniejszonego odczucia bólu i dyskomfortu badanych, które występują podczas stosowania mankietów w trakcie trwania treningu oporowego z BFR. Jednakże w badaniach Freitas i wsp. (2020) nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grupą stosującą metodę przerywanego BFR, a grupą stosującą metodę ciągłego BFR w odniesieniu do odczuwanego dyskomfortu badanych. Warto jednak zaznaczyć,

że w badaniu Freitas i wsp. (2020) nie dokonano porównania w stosunku do metody międzywysiłkowego BFR. Dodatkowo brak istotnych różnic pomiędzy zastosowanymi metodami BFR jak miało to miejsce w badaniu Freitas i wsp. (2020), może wynikać ze zbliżonej specyfiki metod treningowych BFR stosowanych w procedurze badawczej. Ponieważ zarówno podczas metody przerywanego jak i ciągłego BFR badani wykonywali czynności ruchowe, którym towarzyszył wysiłek z mankietami. Stosowanie BFR w trakcie trwania wysiłku fizycznego zwiększa stres metaboliczny obszarów mięśniowych objętych BFR, dodatkowo potęgując akumulację metabolitów, zwiększenie obrzęku i niedotlenienia mięśni zaangażowanych w wysiłek, co ostatecznie może wpływać na podwyższone uczucie zmęczenia oraz na zmianę struktury wykonywanego ruchu. Wobec tego zawodnik oprócz wysiłku fizycznego, który powoduje wzrost stresu metabolicznego w mięśniach zaangażowanych w trening oporowy, dodatkowo zmaga się ze spotęgowaniem stresu metabolicznego wywołanego przez BFR. Można zatem stwierdzić, że metoda międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym nie tylko prowadzi do wystąpienia istotnego wzrostu efektywności treningowej (wzrost poziomu mocy i prędkości sztangi), ale także do ograniczenia ewentualnych skutków ubocznych spowodowanych uciskiem mankietów i czasem trwania BFR. Dlatego z praktycznego punktu widzenia, optymalną alternatywą dla sportowców jest wdrożenie metody międzywysiłkowego BFR, tak jak to miało miejsce w przeprowadzonych badaniach.

W trzech badaniach podjęto się oceny wpływu metody międzywysiłkowego BFR na zmiany prędkości sztangi podczas ćwiczeń oporowych. W przeprowadzonym badaniu metoda międzywysiłkowego BFR istotnie zwiększyła osiągnięte wartości średniej i szczytowej prędkości sztangi podczas wyciskania na ławce w porównaniu do grupy CONT, co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami Jarosza i wsp. (2021) oraz Wilka i wsp. (2021b). W badaniach Jarosza i wsp. (2021) oraz Wilka i wsp. (2021b) zaobserwowano także istotny wzrost generowanej średniej i szczytowej prędkości sztangi podczas wyciskania na ławce w porównaniu do grupy CONT. Warto jednak zaznaczyć, że korzystny wpływ metody międzywysiłkowego BFR na poziom generowanej prędkości sztangi, może występować również w ćwiczeniach angażujących kończyny dolne. Najnowsze badanie Trybalskiego i wsp. (2022) dokonało oceny wpływu metody międzywysiłkowego BFR na moc kończyn dolnych podczas wysiłku z wykorzystaniem trenażera „Keiser A300 Squat”. Pomimo, że w badaniu Trybalskiego i wsp. (2022) nie zanotowano istotnego wzrostu wartości mocy mięśniowej kończyn dolnych w wyniku zastosowania metody międzywysiłkowego BFR, to zaobserwowano ograniczenie spadku generowanej mocy w seriach pomiarowych 3-5 w

porównaniu z grupą CONT. Ograniczenie spadku mocy mięśniowej w wyniku zastosowania BFR należy określać jako korzystną reakcję. Zaobserwowane utrzymanie mocy mięśniowej w ostatnich seriach pomiarowych w następstwie stosowania międzywysiłkowej metody BFR obserwowane w badaniach Trybulskiego i wsp. (2022) jest częściowo zgodne z wynikami uzyskanymi w niniejszej dysertacji. W przeprowadzonym badaniu narastający wzrost średniej prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc w wyniku zastosowania metody międzywysiłkowego BFR, wystąpił już w 1 serii, a największe istotne różnice zaobserwowano w końcowych seriach protokołu badawczego z BFR tj. serii 3-5. Odnotowane utrzymanie generowanej prędkości sztangi w seriach 3-5 przeprowadzonego badania w grupie z BFR-80 może wskazywać, że efektywność wynikająca z zastosowania metody międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym zachodzi w późniejszych etapach wysiłku fizycznego, w warunkach nasilenia zmęczenia wysiłkowego. Z punktu widzenia praktycznego powyższe doniesienia wskazują, że podczas treningu oporowego z wykorzystaniem metody międzywysiłkowego BFR (gdy celem jest kształtowanie mocy mięśniowej) korzystny efekt odnosi się głównie do wieloseryjnego zestawu ćwiczenia oporowego. Fakt, że narastająca skuteczność metody międzywysiłkowego BFR odnosi się do wysiłku z zastosowaniem, co najmniej 3-5 serii może mieć także związek z liczbą cykli BFR podczas treningu oporowego. Mięsień poddany uprzednio BFR staje się bardziej odporny na zmęczenie i tym samym niweluje spadek generowanej prędkości sztangi podczas kolejnych serii ćwiczenia oporowego (Trybulski i wsp. 2022). Dlatego stosowanie BFR nie tylko podczas wstępnej rozgrzewki, ale także podczas powtarzanych cykli BFR między seriami może korzystnie wpływać na wartości generowanej prędkości ruchu. Warto jednak zaznaczyć, że nie tylko stosowanie wieloseryjnego zestawu ćwiczenia oporowego z metodą międzywysiłkowego BFR, ale także stosunek czasu trwania napięcia mięśniowego (TUT – time under tension) do czasu trwania BFR może wpływać na poprawę generowanej prędkości w kolejnych seriach ćwiczenia oporowego (Wilk i wsp. 2018a). W konsekwencji liczba wykonywanych serii, powtórzeń oraz stosunek wysiłku do czasu trwania BFR może znacząco wpłynąć na poziom generowanej prędkości sztangi podczas treningu oporowego z wykorzystaniem metody międzywysiłkowego BFR. Warto również zaznaczyć, że w prezentowanym protokole badawczym uczestnicy wykonywali niską liczbę powtórzeń tj. 3 w każdej serii pomiarowej. Podczas tak krótkotrwałego wysiłku fizycznego energia dla pracujących mięśni pozyskiwana jest z fosfokreatyny, która w dużej mierze jest restytuowana w czasie przerwy wypoczynkowej, co może być mechanizmem fizjologicznym wyjaśniającym uzyskane wyniki w przeprowadzonym badaniu.

Kolejnym czynnikiem mogącym w znaczny sposób oddziaływać na efektywność wynikającą ze stosowania BFR w treningu oporowym, jest czas trwania BFR oraz czas reperfuzji po BFR (Wilk i wsp. 2021b). W dotychczasowej literaturze naukowej nie ma jasnych wytycznych dotyczących stosowania optymalnego czasu trwania BFR podczas treningu oporowego z poszczególnymi metodami treningowymi z BFR. Przykładowo podczas protokołów badawczych z metodą wstępnego BFR, czas trwania BFR waha się od 5 do 20 min, co stanowi dużą rozbieżność z punktu widzenia praktycznego (Marocolo i wsp. 2015; Caru i wsp. 2019). Natomiast Patterson i wsp. (2019) sugerują, że czas trwania BFR podczas ćwiczeń oporowych powinien wynosić od 5 do 10 min. Jednakże wytyczne przedstawione w badaniu Pattersona i wsp. (2019) są nieprecyzyjne i nie rekomendują stosowania optymalnego czasu trwania reperfuzji po BFR, szczególnie z zastosowaniem różnych metod treningowych z BFR. Warto zaznaczyć, że w obecnych protokołach badawczych dotyczących metody międzywysiłkowego BFR również nie określono: optymalnego czasu trwania BFR, czasu trwania reperfuzji po BFR oraz liczby niezbędnych cykli BFR wymaganych do uzyskania poprawy możliwości wysiłkowych. Natomiast parametry te mogą w istotny sposób wpływać na możliwości wysiłkowe zawodników, co stanowi kluczowe ograniczenie badawcze w dotychczasowych protokołach treningowych z BFR. W aktualnych badaniach naukowych podczas stosowania metody międzywysiłkowego BFR w ćwiczeniach oporowych angażujących kończyny górne i dolne, wykorzystywano tylko dwa protokoły badawcze z zastosowaniem BFR trwającym 2,5 min i 4,5 min oraz z 30 sek. czasem trwania reperfuzji po BFR (Jarosz i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b; Trybulski i wsp. 2022). Dlatego w protokole badawczym prezentowanej dysertacji zastosowano 4,5-min czas trwania metody międzywysiłkowego BFR, oraz 30 sek. czas trwania reperfuzji po BFR, który był zgodny z wcześniejszymi badaniami Jarosza i wsp. (2021), Wilka i wsp. (2021b) i Trybulskiego i wsp. (2022). Należy zwrócić uwagę na fakt, że wykazane istotne różnice wartości prędkości sztangi pomiędzy grupą BFR-80 a grupą CONT podczas wyciskania leżąc zarówno w prezentowanych badaniach jak i badaniach Jarosza i wsp. (2021), mogą wynikać nie tylko z samego faktu trwania BFR w czasie 4,5 min, ale także z krótkiego czasu trwania reperfuzji po BFR. Badania Jarosza i wsp. (2021), Wilka i wsp. (2021b) oraz Trybulskiego i wsp. (2022) sugerują, że czas ten, może mieć istotny wpływ na poziom generowanej mocy i prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc i przysiadu po zastosowaniu metody międzywysiłkowego BFR (Wilk i wsp. 2021b). Jednakże procedura przeprowadzonego badania nie pozwala na określenie czy czas trwania BFR bądź czas reperfuzji po BFR jest ważniejszym parametrem. Warto jednak zaznaczyć, że we wszystkich dotychczasowych badaniach z metodą międzywysiłkowego BFR

stosowano czas reperfuzji po BFR trwający 30 sek. (Jarosz i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b; Trybulski i wsp. 2022). Dlatego wiedza na temat optymalnego czasu jej trwania oraz porównania z innymi protokołami treningowymi jest ograniczona i wymaga dalszych badań w celu uporządkowania elementów metodyki treningu oporowego z BFR.

Kolejnym istotnym czynnikiem determinującym efektywność treningu oporowego z wykorzystaniem BFR jest wartość stosowanego AOP. W literaturze naukowej nadal nie ma jasnych wytycznych dotyczących stosowania optymalnej wartości %AOP inicjującej istotny wzrost generowanej prędkości sztangi z wyszczególnieniem metod treningowych z BFR. W przeglądzie badawczym Loenneke i wsp. (2012c) i Patterson i wsp. (2019) zalecają stosowanie szerszego zakresu od 40 do 80%AOP w celu wywołania długofalowych zmian adaptacyjnych. Natomiast w obecnym przeglądzie literatury z wykorzystaniem metody międzywysiłkowego BFR stosowano tylko jedną wartość ciśnienia wynoszącą 80%AOP (Jarosz i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b). Zaobserwowane w przeprowadzonej dysertacji istotne różnice prędkości sztangi pomiędzy grupą BFR-80, a grupą CONT są zgodne z wcześniejszymi badaniami (Rawska i wsp. 2019; Gepfert i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2020c,d,f). Natomiast według Wilka i wsp. (2021b) określając wartość optymalnego zakresu ciśnienia ucisku mankietu, należy również uwzględnić: cel treningowy, metodę treningu z BFR, oraz rodzaj wykonywanych ćwiczeń. Jeśli celem treningowym jest wzrost mocy i prędkości sztangi tak jak w prezentowanym badaniu, dotychczas jedynie wysokie wartości ciśnienia mankietów były skuteczne. Obserwowane w przeprowadzonych badaniach różnice prędkości sztangi w grupie BFR-80 w porównaniu z grupą CONT oraz z grupą BFR-SHAM, mogą mieć związek z wieloma czynnikami fizjologiczno-mechanicznymi, które zachodzą podczas stosowania mankietów w ramach treningu oporowego z BFR. Czynniki fizjologiczno-mechaniczne uzasadniające efektywność wynikającą z zastosowania wyższego ciśnienia ucisku mankietów, które zostały przedstawione w badaniu Wilka i wsp. (2021b). Według Wilka i wsp. (2021b) stosowanie wyższego ciśnienia ucisku mankietów powoduje zwiększenie stresu metabolicznego mięśni poddanych BFR oraz wzrost naprężenia materiału, z którego wykonany jest mankiet, który prowadzi do bezpośredniej poprawy możliwości wysiłkowych podczas eksplozywnego wyciskania sztangi leżąc oraz przysiadów ze sztangą (Hughes i wsp. 2017; Gepfert i wsp. 2020; Wilk i wsp. 2020c,d,f; Jarosz i wsp. 2021). Należy jednak zauważyć, że tylko w nielicznych protokołach badawczych stosowano wartości całkowitego zamknięcia przepływu tętniczego krwi wynoszącego powyżej 100%AOP (Gepfert i wsp. 2020; Wilk i wsp. 2020c), dlatego autorzy zalecają przeprowadzenie dalszych badań naukowych z zastosowaniem

ciśnienia mankietów powyżej 100%AOP w celu optymalizacji treningu oporowego z metodą międzywysiłkowego BFR. Istotnych różnic w generowanej prędkości sztangi w przeprowadzonym badaniu nie uzyskano w grupie BFR-50 w porównaniu do grupy BFR-80, grupy BFR-SHAM oraz grupy BFR CONT. Brak istotnych różnic w prędkości sztangi zaobserwowany w prezentowanej dysertacji w grupie BFR-50, może wynikać z zastosowania zbyt niskiego ciśnienia ucisku w mankietach, aby móc wywołać wystąpienie istotnych bezpośrednich reakcji treningowych. Jednakże dotychczasowa wiedza na temat stosowania BFR-50 i BFR-SHAM z pozorowanym ograniczeniem przepływu krwi wynoszącym 20mmHg podczas wyciskania sztangi z metodą międzywysiłkowego BFR jest ograniczona. W dotychczasowych protokołach treningowych z zastosowaniem metody międzywysiłkowego BFR podczas wyciskania sztangi (Jarosz i wsp. 2021; Wilk i wsp. 2021b) nie uwzględniono sesji pomiarowej w warunkach BFR-SHAM, co według Wilka i wsp. (2021b) stanowi kluczowe ograniczenie badawcze. Marocolo i wsp. (2015) podkreślają, że sesja z pozorowanym ograniczeniem przepływu krwi wynoszącym 20mmHg, jest metodologicznym czynnikiem zakłócającym efektywność potencjalnych środków wspomagających w badaniach naukowych (Ferreira i wsp. 2016; Marocolo i wsp. 2017; Wilk i wsp. 2021b), która w istotny sposób może wpłynąć na poprawę wyników zawodników i powinna być uwzględniana w protokołach badawczych z BFR. Jednakże wyniki zaobserwowane w przeprowadzonym badaniu pomiędzy grupą BFR-SHAM, a grupą CONT oraz grupą BFR-50 nie wykazały istotnych zmian w generowanej prędkości sztangi. Wobec tego wyniki powyższego badania są zgodne z wcześniej postawionymi hipotezami badawczymi oraz sprzeczne z rezultatami zaobserwowanymi w badaniu Marocolo i wsp. (2015), w których jednakowo dla grupy BFR (220 mmHg) oraz grupy badanych w warunkach BFR-SHAM z pozorowanym ograniczeniem przepływu krwi wynoszącym 20mmHg, zanotowano wzrost wytrzymałości siłowej, w porównaniu do grupy CONT. Jednakże w badaniu Marocolo i wsp. (2015) stosowano metodę wstępnego BFR podczas wyprostu stawu kolanowego za pomocą trenażera „leg extension” na wzrost wytrzymałości siłowej. Wobec tego protokół badawczy Marocolo i wsp. (2015) znacząco różni się od protokołu badawczego prezentowanej dysertacji, co w istotny sposób może wpłynąć na brak uzyskanych różnic w generowanej prędkości sztangi pomiędzy grupą BFR-SHAM, a grupą CONT oraz BFR-50. Jednakże warto podkreślić, że wiedza na temat stosowania BFR z 50%AOP oraz BFR-SHAM z pozorowanym ograniczeniem przepływu krwi wynoszącym 20mmHg podczas wyciskania sztangi oraz porównania z innymi protokołami treningowymi jest ograniczona i wymaga dalszych badań w celu uzupełnienia wytycznych metodologicznych w treningu oporowym z metodą międzywysiłkowego BFR (Jarosz i wsp. 2021; Wilk i wsp.

2021b).

Oprócz stosowanej metody BFR, czasu trwania BFR i czasu reperfuzy po BFR, kolejnym czynnikiem, który mającym wpływ na poziom bezpośrednich reakcji i długofalowych zmian adaptacji treningowych w wyniku stosowania BFR, jest wielkość stosowanego obciążenia zewnętrznego. Według zaleceń Pattersona i wsp. (2019) stosowanie obciążenia zewnętrznego wynoszącego 20-40%1RM wpływa na wystąpienie istotnych bezpośrednich reakcji treningowych podczas treningu oporowego z BFR. Jednakże w dotychczasowym przeglądzie literatury nie ma jasnych zaleceń na temat stosowania optymalnego obciążenia zewnętrznego przy jednoczesnym zastosowaniu BFR, a także metody międzywysiłkowego BFR powodującego istotny wzrost generowanej prędkości sztangi. Ocenę natychmiastowego wpływu metody ciągłego i przerywanego BFR na wzrost generowanej prędkości sztangi podczas ćwiczenia oporowego angażującego kończyny górne z wykorzystaniem zmiennych obciążeń zewnętrznych dokonano w pracy Wilka i wsp. (2020b). Wilk i wsp. (2020b) wykazali, że szczytowa prędkość sztangi istotnie wzrosła w wyniku zastosowania zarówno metody ciągłego jak i przerywanego BFR podczas wyciskania leżąc, ale tylko przy zastosowaniu niższych obciążeń zewnętrznych 20-50%1RM. Natomiast wzrostu prędkości sztangi w wyniku zastosowania metody ciągłego i przerywanego BFR nie zaobserwowano podczas stosowania wyższych obciążeń zewnętrznych tj. 60-90%1RM. Wspomniane doniesienia Wilka i wsp. (2020b) potwierdzają badania Jarosza i wsp. (2021), w których zanotowano istotny wzrost generowanej mocy i prędkości sztangi podczas stosowania obciążeń zewnętrznych równych 20 i 50%1RM z metodą międzywysiłkowego BFR. Jednakże autorzy zwracają uwagę, że podczas stosowania obciążeń zewnętrznych wynoszących 60-90%1RM z metodą międzywysiłkowego BFR nie zanotowano istotnych różnic statystycznych w porównaniu do grupy CONT. Doniesienia Wilka i wsp. (2020b) i Jarosza i wsp. (2021) są sprzeczne z wynikami uzyskanymi w prezentowanym badaniu. Ponieważ w przeprowadzonej dysertacji zaobserwowano istotny wzrost prędkości sztangi podczas ćwiczenia oporowego angażującego kończyny górne z metodą międzywysiłkowego BFR oraz obciążeniem zewnętrznym równym 60%1RM w porównaniu z grupą CONT. Warto jednak zaznaczyć, że w protokole badawczym prezentowanego badania z międzywysiłkową metodą BFR stosowano stałą wartość obciążenia zewnętrznego wynoszącego 60%1RM. Przeciwnie do badań Wilka i wsp. (2020b) i Jarosza i wsp. (2021), w których stosowano zmienne obciążenie zewnętrzne 20-90%1RM, co może być istotnym czynnikiem wpływającym na otrzymane rezultaty. Kolejnym ważnym aspektem różnicującym protokoły badawcze pomiędzy przeprowadzoną dysertacją, a badaniami Wilka i

wsp. (2020b) oraz Jarosza i wsp. (2021), a mogącym istotnie wpłynąć na uzyskane wyniki jest m.in.: metoda stosowanego BFR, liczba cykli BFR oraz czas trwania wysiłku. Zarówno w badaniu Wilka i wsp. (2020b) oraz Jarosza i wsp. (2021) liczba cykli BFR oraz czas trwania wysiłku były znacznie większe, niż w protokole badawczym przeprowadzonego badania. Można zatem domniemać, że wydłużenie czasu trwania wysiłku związane ze stosowaniem większej liczby cykli BFR nie wpływa korzystnie na poprawę prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc. Warto zaznaczyć, że wyniki niniejszego badania potwierdzają Wilk i wsp. (2021b), którzy zaobserwowali istotny wzrost generowanej prędkości sztangi z zastosowaniem stałego obciążenia zewnętrznego równego 60%1RM z metodą międzywysiłkowego BFR, w porównaniu do grupy CONT, co stanowi istotną implikację praktyczną dla zawodników i trenerów. Jednakże w dotychczasowych protokołach badawczych oceniających wpływ metody międzywysiłkowego BFR w ćwiczeniach oporowych angażujących kończyny górne nie stosowano stałego obciążenia zewnętrznego powyżej 60%1RM. Reasumując wobec aktualnej wiedzy na temat stosowania metody międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym, optymalnym zakresem stosowania obciążenia zewnętrznego inicjującym poprawę generowanej prędkości sztangi wydaje się być obciążenie pomiędzy 20-60%1RM, co także potwierdzają wyniki prezentowanych badań, a także stanowi to istotną implikację praktyczną dla zawodników i trenerów. Warto jednak zaznaczyć, że we wszystkich protokołach badawczych z metodą międzywysiłkowego BFR, w których zanotowano istotny wzrost generowanej prędkości sztangi, stosowano wysoką wartość ciśnienia ucisku mankietów. Wyniki niniejszego badania sugerują, że metoda międzywysiłkowego BFR z 80%AOP istotnie wpływa na wzrost generowanej prędkości sztangi w porównaniu do grupy CONT oraz grupy BFR-SHAM podczas treningu oporowego angażującego kończyny górne. Można zatem wskazać, że stosowanie wielokrotnych serii treningowych z metodą międzywysiłkowego BFR podczas wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej, może być skuteczną formą poprawy mocy mięśniowej w dyscyplinach sportu o charakterze eksplozywnym. Stosowanie metody międzywysiłkowego BFR podczas ćwiczeń oporowych może nie tylko powodować natychmiastowy wzrost mocy czy prędkości sztangi, ale także korzystnie wpływać na długofalowe zmiany adaptacyjne (Torma i wsp. 2021). Co więcej, warto podkreślić, że metoda międzywysiłkowego BFR stosowana w przeprowadzonej dysertacji, może wywołać dodatkowe reakcje fizjologiczne (nieoceniane w niniejszym badaniu). Dlatego trenerzy i zawodnicy powinni wprowadzać protokoły BFR z ostrożnością i progresywnym wzrostem obciążenia zewnętrznego, aby zapewnić wystąpienie istotnych adaptacji treningowych (Clark i Manini, 2017; Wernbom i wsp. 2021). Aby jednak metoda międzywysiłkowego BFR

wywołała pozytywne zmiany w poprawie generowanej prędkości sztangi, powinna być stosowana w wielokrotnych seriach BFR podczas przerw wypoczynkowych trwających 5 min (4,5 min i 30 sek. czas trwania reperfuzji po BFR). Badania i rozważania podjęte w pracy nie wyczerpują całokształtu problematyki związanej z zastosowaniem metody międzywysiłkowego o BFR w treningu oporowym angażującym kończyny górne. Konieczna jest dalsza analiza poszczególnych parametrów treningowych takich jak: czas trwania BFR, czas reperfuzji po BFR oraz liczba cykli BFR w celu optymalizacji wykorzystania metody międzywysiłkowego BFR w treningu oporowym.

6. Wnioski

Na podstawie zebranych w toku badań materiałów dotyczących wpływu metody międzywysiłkowego BFR na wzrost generowanej prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc oraz analiz wyników przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Stosowanie międzywysiłkowego BFR ma istotny wpływ na poziom generowanej prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM.
2. Wartość stosowanego ciśnienia ucisku wynoszącego 80%AOP w trakcie międzywysiłkowego BFR, powoduje istotny wzrost poziomu generowanej prędkości sztangi MV w porównaniu z grupą CONT (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi) oraz BFR-SHAM (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg) oraz prędkości sztangi PV w porównaniu z grupą CONT podczas wyciskania sztangi leżąc z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM. Istotnego wzrostu generowanej prędkości sztangi nie zaobserwowano pomiędzy grupami: BFR-80 a grupą BFR-50, grupą BFR-50 a CONT i BFR-SHAM oraz pomiędzy grupą CONT a BFR-SHAM.
3. Poziom generowanej prędkości sztangi MV istotnie wzrasta wraz z narastającą liczbą cykli BFR w trakcie międzywysiłkowego BFR podczas wyciskania leżąc na ławce poziomej z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60% 1RM.
4. W trakcie stosowania międzywysiłkowego BFR podczas wyciskania leżąc na ławce poziomej z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM nie występuje efekt pozorowany.

Streszczenie

Cel badań: Celem pracy była analiza wpływu metody międzywysiłkowego ograniczenia przepływu krwi (BFR) na prędkość sztangi podczas wyciskania leżąc na ławce poziomej.

Metody: 15 mężczyzn (wiek: 23 ± 3 lat, masa ciała: 84 ± 11 kg, 1 powtórzenie maksymalne (1RM) w wyciskaniu sztangi leżąc: 132 ± 23 kg) wzięło udział w 4 sesjach eksperymentalnych: CONT (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi), BFR-SHAM (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg), BFR-50 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 50%AOP) i BFR-80 – (grupa stosująca ograniczenie przepływu krwi wynoszące 80%AOP). Protokół badawczy zawierał 5 serii pomiarowych po 3 powtórzenia z obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 60%1RM oraz 4,5 min przerwami wypoczynkowymi między seriami i 30 sek. reperfuzji po BFR.

Wyniki: Dwuczynnikowa ANOVA wykazała istotne różnice dla wartości średniej prędkości sztangi (MV) pomiędzy grupą BFR-80 a grupą CONT w seriach 1-5 oraz pomiędzy grupą BFR-80 a BFR-SHAM także w seriach 1-5. Dodatkowo dwuczynnikowa ANOVA wykazała istotne różnice dla wartości szczytowej prędkości sztangi (PV) pomiędzy grupą BFR-80 a grupą CONT w seriach 1-5.

Wnioski: Metoda międzywysiłkowego BFR z ciśnieniem ucisku wynoszącym 80%AOP istotnie wpływa na wzrost generowanej prędkości średniej i szczytowej sztangi w porównaniu z CONT (grupa niestosująca ograniczenia przepływu krwi) oraz BFR-SHAM (grupa stosująca pozorowane ograniczenie przepływu krwi wynoszące 20 mmHg).

Słowa kluczowe: Okluzja, trening oporowy, ciśnienie ucisku mankietu, kończyny górne, rozwój sportowy

Summary

Aim of the study: The aim of the study was to analyze the impact of the intra-conditioning method of blood flow restriction (BFR) on bar velocity during the bench press.

Methods: 15 men (age: 23 ± 3 years, body weight: 84 ± 11 kg, 1 repetition maximum (1RM) in the bench press: 132 ± 23 kg) participated in 4 experimental sessions: CONT (without blood flow restriction), BFR-SHAM (20 mmHg of blood flow restriction), BFR-50 (50%AOP of blood flow restriction) and BFR-80 (80%AOP of blood flow restriction). During the experimental protocol the subjects performed 5 sets per 3 repetitions of bench press with load of 60%1RM and 5 min rest intervals between sets.

Results: The 2-way ANOVA showed statistical significant differences for the mean bar velocity between the BFR-80 and CONT condition in sets 1-5 as well as between the BFR-80 and BFR-SHAM condition in sets 1-5. In addition, the 2-way ANOVA showed statistical significant differences for peak barbell velocity between the BFR-80 and CONT condition in sets 1-5.

Conclusions: The results of the study indicate that intra-conditioning BFR increases bar velocity during the bench press exercise. However, only high cuffs pressure significantly influenced on bar velocity, which indicates that the cuffs pressure is one of the critical factor determining acute BFR effect during resistance exercises.

Keywords: occlusion, resistance training, arterial occlusion pressure, upper limbs, sport performance

Bibliografia

1. Andreas, M., Schmid, A. I., Keilani, M., Doberer, D., Bartko, J., Crevenna, R., Moser, E., & Wolzt, M. (2011). Effect of Ischemic Preconditioning in Skeletal Muscle Measured by Functional Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy: a Randomized Crossover Trial. *Journal of cardiovascular magnetic resonance: official journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*, 13(1), 32. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-13-32>
2. American College of Sports Medicine. 2009. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41(3):687–708. doi: 10.1249/MSS.0b013e31819156f
3. Bailey, T. G., Birk, G. K., Cable, N. T., Atkinson, G., Green, D. J., Jones, H., & Thijssen, D. H. (2012). Remote Ischemic Preconditioning Prevents Reduction in Brachial Artery Flow-Mediated Dilation After Strenuous Exercise. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 303(5), H533–H538. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00272.2012>
4. Bembien, D. A., Sherk, V. D., Buchanan, S. R., Kim, S., Sherk, K., & Bembien, M. G. (2022). Acute and Chronic Bone Marker and Endocrine Responses to Resistance Exercise With and Without Blood Flow Restriction in Young Men. *Frontiers in physiology*, 13, 837631. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.837631>
5. Berthelot, G., Sedeaud, A., Marck, A., Antero-Jacquemin, J., Schipman, J., Saulière, G., Marc, A., Desgorces, F. D., & Toussaint, J. F. (2015). Has Athletic Performance Reached its Peak? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(9), 1263–1271. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0347-2>
6. Caru, M., Levesque, A., Lalonde, F., & Curnier, D. (2019). An Overview of Ischemic Preconditioning in Exercise Performance: A Systematic Review. *Journal of sport and health science*, 8(4), 355–369. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.01.008>
7. Clark, B. C., & Manini, T. M. (2017). Can KAATSU Exercise Cause Rhabdomyolysis? *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 27(1), e1–e2. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000309>
8. Crenshaw, A. G., Hargens, A. R., Gershuni, D. H., & Rydevik, B. (1988). Wide Tourniquet Cuffs More Effective at Lower Inflation Pressures. *Acta orthopaedica Scandinavica*, 59(4), 447–451. <https://doi.org/10.3109/17453678809149401>

9. Cromwell, H. C., & Panksepp, J. (2011). Rethinking the Cognitive Revolution From a Neural Perspective: How Overuse/Misuse of the Term 'Cognition' and the Neglect of Affective Controls in Behavioral Neuroscience Could be Delaying Progress in Understanding the BrainMind. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 35(9), 2026–2035. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.02.008>
10. DiNubile, N. A. (1991). Strength Training. *Clinics in sports medicine*, 10(1), 33-62
11. Domingos, E., & Polito, M. D. (2018). Blood Pressure Response Between Resistance Exercise With and Without Blood Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Life sciences*, 209, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.08.006>
12. Ferreira, T. N., Sabino-Carvalho, J. L., Lopes, T. R., Ribeiro, I. C., Succi, J. E., DA Silva, A. C., & Silva, B. M. (2016). Ischemic Preconditioning and Repeated Sprint Swimming: A Placebo and Nocebo Study. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(10), 1967–1975. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000977>
13. Freitas, E., Miller, R. M., Heishman, A. D., Ferreira-Júnior, J. B., Araújo, J. P., & Bembem, M. G. (2020). Acute Physiological Responses to Resistance Exercise With Continuous Versus Intermittent Blood Flow Restriction: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in physiology*, 11, 132. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00132>
14. Garnacho-Castaño MV, López-Lastra S, Maté-Muñoz JL. 2015. Reliability and Validity Assessment of a Linear Position Transducer. *Journal of Sports Science and Medicine*. 14 (1):128–36
15. Gepfert, M., Jarosz, J., Wojdala, G., Krzysztofik, M., Campos, Y., Filip-Stachnik, A., Kostrzewa, M., Gawel, D., Szkudlarek, A., Godlewski, P., Stastny, P., & Wilk, M. (2021). Acute Impact of Blood Flow Restriction on Strength-Endurance Performance During the Bench Press Exercise. *Biology of sport*, 38(4), 653–658. <https://doi.org/10.5114/biolport.2021.103726>
16. Gepfert, M., Krzysztofik, M., Kostrzewa, M., Jarosz, J., Trybulski, R., Zajac, A., & Wilk, M. (2020). The Acute Impact of External Compression on Back Squat Performance in Competitive Athletes. *International journal of environmental research and public health*, 17(13), 4674. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134674>
17. Grgic, J., Homolak, J., Mikulic, P., Botella, J., & Schoenfeld, B. J. (2018). Inducing Hypertrophic Effects of Type I Skeletal Muscle Fibers: A Hypothetical Role of Time Under Load in Resistance Training Aimed at Muscular Hypertrophy. *Medical hypotheses*, 112, 40-42
18. Guilherme da Silva Telles, L., Cristiano Carelli, L., Dutra Bráz, I., Junqueira, C., Rios

- Monteiro, E., Machado Reis, V., Macedo Vianna, J., & da Silva Novaes, J. (2020). Effects of Ischemic Preconditioning as a Warm-Up on Leg Press and Bench Press Performance. *Journal of human kinetics*, 75, 267–277. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0055>
19. Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2017). Blood Flow Restriction Training in Clinical Musculoskeletal Rehabilitation. A Systematic Review and Meta-Analysis. *British journal of sports medicine*, 51(13), 1003–1011. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>
20. Incognito, Anthony V., Jamie F. Burr, i Philip J. Millar. 2016. The Effects of Ischemic Preconditioning on Human Exercise Performance. *Sports Medicine* 46(4):531–44. doi: 10.1007/s40279-015-0433-5
21. Jarosz, J., Trybulski, R., Krzysztofik, M., Tsoukos, A., Filip-Stachnik, A., Zajac, A., Bogdanis, G. C., & Wilk, M. (2021). The Effects of Ischemia During Rest Intervals on Bar Velocity in the Bench Press Exercise With Different External Loads. *Frontiers in physiology*, 12, 715096. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.715096>
22. Jessee, M. B., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Counts, B. R., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2016). The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(6), 913–921. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0473-5>
23. Karabulut, M., Leal, J. A., Jr, Garcia, S. D., Cavazos, C., & Bembem, M. (2014). Tissue Oxygenation, Strength and Lactate Response to Different Blood Flow Restrictive Pressures. *Clinical physiology and functional imaging*, 34(4), 263–269. <https://doi.org/10.1111/cpf.12090>
24. Kataoka, R., Vasenina, E., Loenneke, J., & Buckner, S. L. (2021). Periodization: Variation in the Definition and Discrepancies in Study Design. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(4), 625–651. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01414-5>
25. Kimura, M., Ueda, K., Goto, C., Jitsuiki, D., Nishioka, K., Umemura, T., Noma, K., Yoshizumi, M., Chayama, K., & Higashi, Y. (2007). Repetition of Ischemic Preconditioning Augments Endothelium-Dependent Vasodilation in Humans: Role of Endothelium-Derived Nitric Oxide and Endothelial Progenitor Cells. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 27(6), 1403–1410. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.107.143578>
26. Krzysztofik, M., Matykiewicz, P., Filip-Stachnik, A., Humińska-Lisowska, K., Rzeszutko-Bełzowska, A., & Wilk, M. (2021). Range of Motion of Resistance Exercise

- Affects the Number of Performed Repetitions But Not a Time Under Tension. *Scientific reports*, 11(1), 14847. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94338-7>
27. Laurentino, G. C., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Aoki, M. S., Soares, A. G., Neves, M., Jr, Aihara, A. Y., Fernandes, A., & Tricoli, V. (2012). Strength Training With Blood Flow Restriction Diminishes Myostatin Gene Expression. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(3), 406–412. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318233b4bc>
 28. Lawson, C. S., & Downey, J. M. (1993). Preconditioning: State of the Art Myocardial Protection. *Cardiovascular research*, 27(4), 542–550. <https://doi.org/10.1093/cvr/27.4.542>
 29. Li, X. D., Cheng, Y. T., Yang, Y. J., Meng, X. M., Zhao, J. L., Zhang, H. T., Wu, Y. J., You, S. J., & Wu, Y. L. (2012). PKA-Mediated eNOS Phosphorylation in the Protection of Ischemic Preconditioning Against No-Reflow. *Microvascular research*, 84(1), 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2012.04.002>
 30. Libonati, J. R., M. Cox, N. Incanno, S. K. Melville, F. C. Musante, H. L. Glassberg, i M. Guazzi. 1998. Brief Periods of Occlusion and Reperfusion Increase Skeletal Muscle Force Output in Humans. *Cardiologia (Rome, Italy)* 43(12):1355–60
 31. Liu, G. S., Thornton, J., Van Winkle, D. M., Stanley, A. W., Olsson, R. A., & Downey, J. M. (1991). Protection Against Infarction Afforded by Preconditioning is Mediated by A1 Adenosine Receptors in Rabbit Heart. *Circulation*, 84(1), 350–356. <https://doi.org/10.1161/01.cir.84.1.350>
 32. Loenneke, J. P., R. S. Thiebaud, T. Abe, i M. G. Bemben. 2014. Blood Flow Restriction Pressure Recommendations: The Hormesis Hypothesis. *Medical Hypotheses* 82(5):623–26. doi: 10.1016/j.mehy.2014.02.023
 33. Loenneke, J. P., Abe, T., Wilson, J. M., Ugrinowitsch, C., & Bemben, M. G. (2012c). Blood Flow Restriction: How Does it Work? *Frontiers in physiology*, 3, 392. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00392>
 34. Loenneke, J. P., Balapur, A., Thrower, A. D., Barnes, J., & Pujol, T. J. (2012b). Blood Flow Restriction Reduces Time to Muscular Failure. *European journal of sport science*, 12(3), 238-243
 35. Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2012a). Effects of Cuff Width on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restricted Exercise. *European journal of applied physiology*, 112(8), 2903–2912. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2266-8>
 36. Luebbers, P. E., Fry, A. C., Kriley, L. M., & Butler, M. S. (2014). The Effects of a 7-

Week Practical Blood Flow Restriction Program on Well-Trained Collegiate Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 28(8), 2270–2280.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000385>

37. Maestroni, L., Read, P., Bishop, C., Papadopoulos, K., Suchomel, T. J., Comfort, P., & Turner, A. (2020). The Benefits of Strength Training on Musculoskeletal System Health: Practical Applications for Interdisciplinary Care. *Sports Medicine*, 50(8), 1431-1450
38. Manimmanakorn, A., Hamlin, M. J., Ross, J. J., Taylor, R., & Manimmanakorn, N. (2013). Effects of Low-Load Resistance Training Combined With Blood Flow Restriction or Hypoxia on Muscle Function and Performance in Netball Athletes. *Journal of science and medicine in sport*, 16(4), 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.08.009>
39. Manini, T. M., Vincent, K. R., Leeuwenburgh, C. L., Lees, H. A., Kavazis, A. N., Borst, S. E., & Clark, B. C. (2011). Myogenic and Proteolytic mRNA Expression Following Blood Flow Restricted Exercise. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 201(2), 255–263. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2010.02172.x>
40. Marocolo, M., G. da Mota, V. Pelegrini, i H. J. Appell Coriolano. 2015. Are the Beneficial Effects of Ischemic Preconditioning on Performance Partly a Placebo Effect? *International Journal of Sports Medicine* 36(10):822–25. doi: 10.1055/s-0035-1549857
41. Marocolo, M., Billaut, F., & Da Mota, G. R. (2018). Ischemic Preconditioning and Exercise Performance: an Ergogenic Aid for Whom? *Frontiers in Physiology*, 1874
42. McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2019). Why is it Crucial to Use Personalized Occlusion Pressures in Blood Flow Restriction (BFR) Rehabilitation? *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39(2), 173-177
43. Neto, G. R., Novaes, J. S., Salerno, V. P., Gonçalves, M. M., Batista, G. R., & Cirilo-Sousa, M. S. (2018). Does a Resistance Exercise Session With Continuous or Intermittent Blood Flow Restriction Promote Muscle Damage and Increase Oxidative Stress? *Journal of sports sciences*, 36(1), 104–110. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1283430>
44. Nunes, J. P., Grgic, J., Cunha, P. M., Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., de Salles, B. F., & Cyrino, E. S. (2021). What Influence Does Resistance Exercise Order Have on Muscular Strength Gains and Muscle Hypertrophy? A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Journal of Sport Science*, 21(2), 149-157
45. Okita, K., Takada, S., Morita, N., Takahashi, M., Hirabayashi, K., Yokota, T., &

- Kinugawa, S. (2019). Resistance Training With Interval Blood Flow Restriction Effectively Enhances Intramuscular Metabolic Stress With Less Ischemic Duration and Discomfort. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, *44*(7), 759–764. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0321>
46. Paradis-Deschênes, P., Joannisse, D. R., & Billaut, F. (2016). Ischemic Preconditioning Increases Muscle Perfusion, Oxygen Uptake, and Force in Strength-Trained Athletes. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, *41*(9), 938–944. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0561>
47. Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in physiology*, *10*, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
48. Pang, C. Y., Yang, R. Z., Zhong, A., Xu, N., Boyd, B., & Forrest, C. R. (1995). Acute Ischaemic Preconditioning Protects Against Skeletal Muscle Infarction in the Pig. *Cardiovascular research*, *29*(6), 782–788
49. Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2014). A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports medicine*, *45*(2), 187-200
50. Rawska, M., Gepfert, M., Mostowik, A., Krzysztofik, M., Wojdala, G., Lulinska, A., & Wilk, M. (2019). Does Blood Flow Restriction Influence the Maximal Number of Repetitions Performed During the Bench Press? A Pilot Study. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, *11*(4), 2
51. Rossow, L. M., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Sherk, V. D., Abe, T., & Bemben, M. G. (2012). Cardiovascular and Perceptual Responses to Blood-Flow-Restricted Resistance Exercise With Differing Restrictive Cuffs. *Clinical physiology and functional imaging*, *32*(5), 331–337. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2012.01131.x>
52. Sabino-Carvalho, J. L., Lopes, T. R., Obeid-Freitas, T., Ferreira, T. N., Succi, J. E., Silva, A. C., & Silva, B. M. (2017). Effect of Ischemic Preconditioning on Endurance Performance Does Not Surpass Placebo. *Medicine and science in sports and exercise*, *49*(1), 124–132. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001088>
53. Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017a). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low-vs. High-Load Resistance Training: a

- Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12), 3508-3523
54. Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017b). Dose-Response Relationship Between Weekly Resistance Coaching Quantity and Will Increase in Muscle Mass: A Scientific Assessment and Meta-Analysis. *Journal of sports activities sciences*, 35(11), 1073-1082
55. Schroeder, C. A., Jr, Lee, H. T., Shah, P. M., Babu, S. C., Thompson, C. I., & Belloni, F. L. (1996). Preconditioning With Ischemia or Adenosine Protects Skeletal Muscle From Ischemic Tissue Reperfusion Injury. *The Journal of surgical research*, 63(1), 29–34. <https://doi.org/10.1006/jsre.1996.0217>
56. Schwiete, C., Franz, A., Roth, C., & Behringer, M. (2021). Effects of Resting vs. Continuous Blood-Flow Restriction-Training on Strength, Fatigue Resistance, Muscle Thickness, and Perceived Discomfort. *Frontiers in physiology*, 12, 663665. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.663665>
57. Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise With Blood Flow Restriction: an Updated Evidence-Based Approach for Enhanced Muscular Development. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(3), 313–325. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0288-1>
58. Sharma, V., Cunniffe, B., Verma, A. P., Cardinale, M., & Yellon, D. (2014). Characterization of Acute Ischemia-Related Physiological Responses Associated With Remote Ischemic Preconditioning: a Randomized Controlled, Crossover Human Study. *Physiological reports*, 2(11), e12200. <https://doi.org/10.14814/phy2.12200>
59. Shimano, T., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., Vingren, J. L., Fragala, M. S., Maresh, C. M., Fleck, S. J., Newton, R. U., Spreuwenberg, L. P., & Häkkinen, K. (2006). Relationship Between The Number of Repetitions and Selected Percentages of One Repetition Maximum in Free Weight Exercises in Trained and Untrained Men. *Journal of strength and conditioning research*, 20(4), 819–823. <https://doi.org/10.1519/R-18195.1>
60. Shimizu, R., Hotta, K., Yamamoto, S., Matsumoto, T., Kamiya, K., Kato, M., Hamazaki, N., Kamekawa, D., Akiyama, A., Kamada, Y., Tanaka, S., & Masuda, T. (2016). Low-Intensity Resistance Training With Blood Flow Restriction Improves Vascular Endothelial Function and Peripheral Blood Circulation in Healthy Elderly People. *European journal of applied physiology*, 116(4), 749–757. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3328-8>

61. Singh, L., Randhawa, P. K., Singh, N., & Jaggi, A. S. (2017). Redox Signaling in Remote Ischemic Preconditioning-Induced Cardioprotection: Evidences Mechanisms. *European journal of pharmacology*, *809*, 151–155. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2017.05.033>
62. de Souza, H., Arriel, R. A., Hohl, R., da Mota, G. R., & Marocolo, M. (2021). Is Ischemic Preconditioning Intervention Occlusion-Dependent to Enhance Resistance Exercise Performance? *Journal of strength and conditioning research*, *35*(10), 2706–2712. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003224>
63. Suga, T., Okita, K., Takada, S., Omokawa, M., Kadoguchi, T., Yokota, T., Hirabayashi, K., Takahashi, M., Morita, N., Horiuchi, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2012). Effect of Multiple Set on Intramuscular Metabolic Stress During Low-Intensity Resistance Exercise With Blood Flow Restriction. *European journal of applied physiology*, *112*(11), 3915–3920. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2377-x>
64. Takano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K., Kato, M., Uno, K., Hirose, K., Matsumoto, A., Takenaka, K., Hirata, Y., Eto, F., Nagai, R., Sato, Y., & Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and Hormonal Responses to a Short-Term Low-Intensity Resistance Exercise With the Reduction of Muscle Blood Flow. *European journal of applied physiology*, *95*(1), 65–73. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1389-1>
65. Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000). Rapid Increase in Plasma Growth Hormone After Low-Intensity Resistance Exercise With Vascular Occlusion. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *88*(1), 61–65. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.1.61>
66. Takarada, Y., Sato, Y., & Ishii, N. (2002). Effects of Resistance Exercise Combined With Vascular Occlusion on Muscle Function in Athletes. *European journal of applied physiology*, *86*(4), 308–314. <https://doi.org/10.1007/s00421-001-0561-5>
67. Takarada, Y., Tsuruta, T., & Ishii, N. (2004). Cooperative Effects of Exercise and Occlusive Stimuli on Muscular Function in Low-Intensity Resistance Exercise With Moderate Vascular Occlusion. *The Japanese journal of physiology*, *54*(6), 585–592. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.54.585>
68. Tanaka, D., Suga, T., Tanaka, T., Kido, K., Honjo, T., Fujita, S., Hamaoka, T., & Isaka, T. (2016). Ischemic Preconditioning Enhances Muscle Endurance during Sustained Isometric Exercise. *International journal of sports medicine*, *37*(8), 614–618. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1565141>
69. Taylor, A. G., Goehler, L. E., Galper, D. I., Innes, K. E., & Bourguignon, C. (2010).

- Top-Down and Bottom-Up Mechanisms in Mind-Body Medicine: Development of an Integrative Framework for Psychophysiological Research. *Explore (New York, N.Y.)*, 6(1), 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2009.10.004>
70. Teixeira, E. L., Barroso, R., Silva-Batista, C., Laurentino, G. C., Loenneke, J. P., Roschel, H., Ugrinowitsch, C., & Tricoli, V. (2018). Blood Flow Restriction Increases Metabolic Stress But Decreases Muscle Activation During High-Load Resistance Exercise. *Muscle & nerve*, 57(1), 107–111. <https://doi.org/10.1002/mus.25616>
 71. Torma, F., Gombos, Z., Fridvalszki, M., Langmar, G., Tarcza, Z., Merkely, B., Naito, H., Ichinoseki-Sekine, N., Takeda, M., Murlasits, Z., Osvath, P., & Radak, Z. (2021). Blood Flow Restriction in Human Skeletal Muscle During Rest Periods After High-Load Resistance Training Down-Regulates miR-206 and Induces Pax7. *Journal of sport and health science*, 10(4), 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.08.004>
 72. Trybulski, R., Jarosz, J., Krzysztofik, M., Lachowicz, M., Trybek, G., Zajac, A., & Wilk, M. (2022). Ischemia During Rest Intervals Between Sets Prevents Decreases in Fatigue During the Explosive Squat Exercise. A Randomized, Crossover Study. *Scientific reports*, 12(1), 5922. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10022-4>
 73. Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomeé, R. (2006). Effects of Vascular Occlusion on Muscular Endurance in Dynamic Knee Extension Exercise at Different Submaximal Loads. *Journal of strength and conditioning research*, 20(2), 372–377. <https://doi.org/10.1519/R-16884.1>
 74. Wernbom, M., Järrebring, R., Andreasson, M. A., & Augustsson, J. (2009). Acute Effects of Blood Flow Restriction on Muscle Activity and Endurance During Fatiguing Dynamic Knee Extensions at Low Load. *Journal of strength and conditioning research*, 23(8), 2389–2395. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bc1c2a>
 75. Wernbom, M., Paulsen, G., Bjørnsen, T., Cumming, K., & Raastad, T. (2021). Risk of Muscle Damage With Blood Flow-Restricted Exercise Should Not Be Overlooked. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 31(3), 223–224. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000755>
 76. Wilk, M., Gepfert, M., Krzysztofik, M., Mostowik, A., Filip, A., Hajduk, G., & Zajac, A. (2020a). Impact of Duration of Eccentric Movement in the One-Repetition Maximum Test Result in the Bench Press Among Women. *Journal of sports science & medicine*, 19(2), 317
 77. Wilk, M., Gepfert, M., Krzysztofik, M., Stastny, P., Zajac, A., & Bogdanis, G. C.

- (2020b). Acute Effects of Continuous and Intermittent Blood Flow Restriction on Movement Velocity During Bench Press Exercise Against Different Loads. *Frontiers in physiology*, *11*, 569915. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.569915>
78. Wilk, M., Golas, A., Stastny, P., Nawrocka, M., Krzysztofik, M., & Zajac, A. (2018a). Does Tempo of Resistance Exercise Impact Training Volume? *Journal of human kinetics*, *62*(1), 241-250
79. Wilk, M., Jarosz, J., Krzysztofik, M., Filip-Stachnik, A., Bialas, M., Rzeszutko-Belzowska, A., Zajac, A., & Stastny, P. (2021a). Corrigendum: Contrast Tempo of Movement and Its Effect on Power Output and Bar Velocity During Resistance Exercise. *Frontiers in physiology*, *12*, 664495. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.664495>
80. Wilk, M., Krzysztofik, M., Filip, A., Lockie, R. G., & Zajac, A. (2020c). The Acute Effects of External Compression With Blood Flow Restriction on Maximal Strength and Strength-Endurance Performance of the Upper Limbs. *Frontiers in physiology*, *11*, 567. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00567>
81. Wilk, M., Krzysztofik, M., & Bialas, M. (2020e). The Influence of Compressive Gear on Maximal Load Lifted in Competitive Powerlifting. *Biology of sport*. Dec;37(4):437–441. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2021.100145>
82. Wilk, M., Krzysztofik, M., Filip, A., Szkudlarek, A., Lockie, R. G., & Zajac, A. (2020f). Does Post-Activation Performance Enhancement Occur During the Bench Press Exercise under Blood Flow Restriction? *International journal of environmental research and public health*, *17*(11), 3752. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113752>
83. Wilk, M., Krzysztofik, M., Filip, A., Zajac, A., Bogdanis, G. C., & Lockie, R. G. (2020d). Short-Term Blood Flow Restriction Increases Power Output and Bar Velocity During the Bench Press. *Journal of strength and conditioning research*, 10.1519/JSC.0000000000003649. Advance online publication. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003649>
84. Wilk, M., Krzysztofik, M., Gepfert, M., Poprzecki, S., Gołaś, A., & Maszczyk, A. (2018b). Technical and Training Related Aspects of Resistance Training Using Blood Flow Restriction in Competitive Sport - A Review. *Journal of human kinetics*, *65*, 249–260. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0101>
85. Wilk, M., Krzysztofik, M., Jarosz, J., Krol, P., Leznicka, K., Zajac, A., Stastny, P., & Bogdanis, G. C. (2021b). Impact of Ischemic Intra-Conditioning on Power Output and Bar Velocity of the Upper Limbs. *Frontiers in physiology*, *12*, 626915.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.626915>

86. Yasuda, T., Loenneke, J. P., Ogasawara, R., & Abe, T. (2013). Influence of Continuous or Intermittent Blood Flow Restriction on Muscle Activation During Low-Intensity Multiple Sets of Resistance Exercise. *Acta physiologica Hungarica*, *100*(4), 419–426. <https://doi.org/10.1556/APhysiol.100.2013.4.6>