

Katowice, 11.09.2023 r.

mgr Jakub Jarosz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

Prof. dr hab. Adam Kawczyński
Zakład Biomechaniki i Inżynierii Sportu
AWFiS Gdańsk

Odpowiedź na recenzję rozprawy doktorskiej pt.

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

Szanowny Panie Profesorze,

Na wstępie bardzo dziękuję za wnikliwą ocenę merytoryczną mojej rozprawy doktorskiej, pozytywną opinię, jak również zawarte w niej krytyczne uwagi. Stanowią one istotne wskazówki, służące poprawie jakości realizowanych przeze mnie przyszłych projektów badawczych. Wobec wnikliwej oceny merytorycznej oraz zawartych w niej krytycznych uwag, w dalszej części odpowiedzi na recenzję Pana Profesora zostały przeze mnie wyszczególnione komentarze wraz z odpowiedziami.

Pytania/uwagi:

1) Recenzując powyższą pracę muszę wskazać aspekty które powinny zostać mocniej zaakcentowane. BFR jest metodą niebezpieczną, głównie z powodu potencjalnych powikłań ze strony układu naczyniowo-sercowego. Uważam, że autor powinien szerzej opisać ten aspekt ze szczególnym uwzględnieniem zasad bezpieczeństwa.

Odpowiedź: Zgodnie z sugestią Profesora dodano dodatkowy podrozdział uwzględniający zasady bezpieczeństwa w dysertacji doktorskiej.

Dotychczasowe badania wskazują, że podczas stosowania BFR występują znikome skutki uboczne (Nakamija i wsp. 2006; Yasuda i wsp. 2017; Werbohm i wsp. 2020). Badanie Nakamija i wsp. (2006) analizujące zasady bezpieczeństwa podczas stosowania BFR w którym brało udział ponad 12000 uczestników wykazało marginalne występowanie działań niepożądanych wynikających z zastosowania BFR, takich jak: zakrzepica żylna (0,055%), zatorowość płucna (0,008%) i rabdomioliza (0,008%). Jednakże w powtórny badaniu przeprowadzonym przez Yasuda i wsp. (2017) takich skutków ubocznych nie zaobserwowano (Krzysztofik i wsp. 2022). Może to wynikać z faktu, że wiedza na temat BFR stopniowo wzrasta, powodując zmniejszenie wystąpienia poważnych skutków ubocznych. Natomiast w badaniu Loenekke i wsp. (2011) analizowano zasady bezpieczeństwa podczas treningu oporowego z BFR. Wskazano, że potencjalne niepożądane skutki uboczne mogą być związane z wywołanymi przez trening oporowy w połączeniu z BFR zmianami funkcji sercowo-naczyniowych oraz obwodowego układu nerwowego. Dodatkowo Loenekke i wsp. (2011) zwracają szczególną uwagę na

potencjalnie zwiększony stres oksydacyjny, odpowiedź enzymów antyoksydacyjnych (Cumming i wsp. (2017) oraz uszkodzenia włókien mięśniowych, które występują podczas stosowania treningu oporowego z BFR (Werbom i wsp. 2020; 2021). Również niedotlenienie i nagromadzenie metabolitów w mięśniach zaangażowanych podczas treningu oporowego z BFR, może nasilać „metaboreflex”, powodując wzrost ciśnienia tętniczego krwi i przyspieszoną pracę serca. Powyższy fakt potwierdzają badania Sprangera i wsp. (2015), Cristina-Oliveiry i wsp. (2020) oraz Wonga i wsp. (2021), rekomendując, że regularny trening oporowy z BFR istotnie zwiększa ciśnienie tętnicze krwi w porównaniu z tradycyjnym treningiem oporowym. Ponadto zjawisko to może być szczególnie widoczne u osób z nadciśnieniem tętniczym (Cristina-Oliveira i wsp. 2020). W badaniu Maciela i wsp. (2021) odnotowano gwałtowne obniżenie ciśnienia tętniczego krwi po treningu oporowym z BFR z 60% AOP, jednakże zaobserwowano wzrost skurczowego ciśnienia krwi o 15 mmHg po BFR z 80% AOP. Niemniej jednak potencjalne skutki uboczne do których należą m.in. zmiany ciśnienia tętniczego krwi występujące w trakcie treningu oporowego z BFR mogą być zależne m.in. od: stosowanego schematu BFR, ciśnienia ucisku w mankietach, szerokości mankietów oraz długości trwania BFR. Ponadto wysokie i niskie ciśnienie tętnicze krwi wiąże się ze zwiększonym ryzykiem wystąpienia jaskry (Leeman i Kestelyn 2019). Jednakże wpływ treningu oporowego na zdrowie oczu (Vieira 2006; Rüfer i wsp. 2014; Vera i wsp. 2018; Gene-Morales i wsp. 2022) został szeroko przebadany. Najprawdopodobniej dotychczas istnieje tylko jedno niepublikowane badanie porównujące: trening oporowy, trening oporowy z BFR oraz stosowanie BFR bez aktywności fizycznej na poziom ciśnienia tętniczego krwi, pulsu oraz ciśnienia wewnątrz gałkowego (IOP- intraocular pressure) i ciśnienia perfuzji oka, którego jestem koordynatorem. Wyniki potwierdzają, że stosowanie BFR nie wywołuje istotnego wzrostu pulsu i ciśnienia tętniczego krwi, a co ważne z punktu widzenia zasad bezpieczeństwa, powoduje istotny spadek IOP oraz ciśnienia perfuzji oka w porównaniu z tradycyjnym treningiem oporowym, co należy uznać za ogromną zaletę.

Istotnym czynnikiem mającym również wpływ na bezpieczeństwo oraz efektywność treningową wynikającą z zastosowania BFR w treningu oporowym, jest wspomniany rodzaj stosowanej metody treningowej z BFR. 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 mankietów tj.: przed (metoda wstępna), w trakcie wysiłku (metoda przerywana), przez cały trening oporowy (metoda ciągła) lub wyłącznie w czasie przerwy wypoczynkowej (metoda międzywysiłkowa), co może istotnie wpływać na poziom bezpieczeństwa, powysiłkowych reakcji fizjologicznych oraz wartość pracy mechanicznej, skutkując odmiennymi reakcjami adaptacyjnymi w wyniku treningu oporowego z BFR. W celu niwelowania nasilonych skutków ubocznych wynikających ze stosowania mankietów w trakcie wysiłku podczas metody ciągłego i przerywanego BFR, do których należą m.in.: wzrost reakcji sercowo-naczyniowych (tętno i ciśnienie krwi) i percepcyjnych (nasilenie zmęczenia i uczucia dyskomfortu badanych) oraz zmiana struktury wykonywanego ruchu, metoda międzywysiłkowego BFR może być najkorzystniejsza (Schwiete i wsp. 2021). Co więcej, metoda międzywysiłkowego BFR oprócz niwelowania skutków ubocznych utrzymuje poprawę generowanej prędkości sztangi w porównaniu do metody ciągłego i przerywanego BFR. Dlatego analizą metody międzywysiłkowego BFR zająłem się w prezentowanej dysertacji.

Kolejnym ważnym parametrem bezpieczeństwa podczas stosowania BFR jest wpływ różnych szerokości mankietów na występowanie bezpośrednich reakcji. Podczas treningu oporowego z BFR stosuje się różne szerokości mankietów. Przykładowo wąskie mankiety (np. 5 cm) wymagają wyższych wartości %AOP do ograniczenia przepływu krwi, niż szersze mankiety (np. 13,5 cm) (Jesse i wsp. 2016). Ponadto Loenneke i wsp. (2012) wykazali, że zastosowanie szerszego mankieta (13,5 cm) powoduje podobne zmiany adaptacyjne przy zastosowaniu niższych wartości %AOP w porównaniu z wąskim mankiem (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 mankietów

w celu uniknięcia negatywnych skutków ubocznych (Rossow i wsp. 2012), które również zastosowano w prezentowanej dysertacji tj. (10,5 cm).

Podsumowując w celu zmniejszenia niepożądanych skutków ubocznych wynikających z aplikowania BFR podczas treningu oporowego, rekomenduje się wprowadzenie kryterium włączenia i wyłączenia w procedurach badawczych. Kryterium wyłączenia w protokołach badawczych z BFR podczas treningu oporowego powinny uwzględniać: choroby układu sercowo-naczyniowego (m.in.: nadciśnienie tętnicze, migotanie przedsionków, zakrzepica oraz skłonność do dziedziczenia zakrzepicy, niewydolność serca), nowotwór złośliwy, porażenie czterokończynowe, ciąża, stosowanie środków antykoncepcyjne, hiperlipidemia, wysoki poziom hemoglobiny, oraz urazy układu mięśniowo-szkieletowego co najmniej 6 miesięcy przed rozpoczęciem badania (Australian Institute of Sport 2021). Jednakże wciąż w literaturze naukowej nie określono optymalnych parametrów i zasad bezpieczeństwa 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. 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.

Uwzględniając rozważania podjęte w powyższej dysertacji doktorskiej oraz dotychczasową wiedzę w celu zmniejszenia niepożądanych skutków ubocznych wynikających z aplikowania BFR podczas treningu oporowego oprócz kryterium włączenia i wyłączenia w procedurze badawczej zastosowano międzywysiłkowe BFR z 4,5 min czasem trwania BFR, zróżnicowane ciśnienie mankietów (w celu poszukiwania optymalnych wartości) 20mmHg, 50 i 80%AOP, oraz szerokość mankietów równą 10,5 cm podczas wyciskania sztangi leżąc na ławce poziomej.

2) Brakuje również akapitu poświęconego ograniczeniom metodologicznym wynikającym z zastosowania BFR

Odpowiedź: Zgodnie z sugestią Profesora dodano akapit poświęcony ograniczeniom metodologicznym wynikającym z zastosowania BFR w prezentowanej dysertacji.

Pomimo, że stosowanie międzywysiłkowego BFR podczas treningu oporowego przynosi wiele korzyści adaptacyjnych, istnieją także pewne ograniczenia metodologiczne związane z jego zastosowaniem, do których należą m.in.:

- Brak kwestionariusza wywiadu w trakcie badania, zawierającego pytanie dotyczące występowania potencjalnych skutków ubocznych uczestników oraz brak oceny efektywności zaślepienia. Jednakże podczas przeprowadzonego badania nie zanotowano incydentów podważających bezpieczeństwo stosowania metody międzywysiłkowego BFR. Niemniej jednak bezpieczeństwo nie było bezpośrednio badane.

Podsumowując, chociaż trening oporowy z wykorzystaniem międzywysiłkowego BFR jest skuteczną metodą treningową, istnieje kilka ograniczeń metodologicznych takich jak: brak kwestionariusza wywiadu w trakcie badania oraz brak oceny efektywności zaślepienia, które należy uwzględnić w planowaniu jednostek treningowych oraz procedur badawczych. Wobec tego konieczne jest kontynuowanie badań podczas treningu oporowego z międzywysiłkowym BFR w celu wyznaczenia optymalnych parametrów metodologicznych uwzględniających powyższe ograniczenia badawcze.

3) Prosiłbym również o wyraźne określenie jaka jest rola prędkości sztangi w treningu siłowym. Proszę o wskazanie jakie są najważniejsze aspekty treningu siłowego związane z tym parametrem.

Odpowiedź: Dziękuję za uwagę Profesorze.

Prędkość sztangi odgrywa istotną rolę w treningu siłowym mając bezpośredni wpływ na osiągnięcie cele treningowe. Do najważniejszych aspektów treningu siłowego związanych z wystąpieniem określonych adaptacji należą m.in.: siła maksymalna, hipertrofia mięśniowa, moc mięśniowa oraz wytrzymałość siłowa.

Kontrola prędkością sztangi w treningu siłowym prowadzi do uzyskania określonej adaptacji mięśniowej oraz neurologicznej. Stosowanie maksymalnej prędkości ruchu podczas treningu oporowego determinuje wystąpienie adaptacji neurologicznych (zwiększona aktywacja mięśniowa w wyniku zwiększonej rekrutacji jednostek motorycznych i/lub częstotliwości ich rozprężania), powodując większy potencjał do generowania siły i mocy mięśniowej m.in. głównie poprzez zaangażowanie włókien mięśniowych typu II (szybkokurczliwe) (Pareja-Blanco i wsp. 2014). Natomiast stosując wolne tempo ruchu podczas treningu oporowego poza zwiększeniem siły mięśniowej, kontroli i stabilizacji mięśniowej prowadzi do zwiększeniu stresu metabolicznego, napięcia mięśniowego oraz poprawy elastyczności mięśni wywołując hipertrofię mięśniową oraz zmniejszając ryzyko wystąpienia kontuzji u zawodników.

Warto zauważyć, że wpływ prędkości sztangi w treningu oporowym może istotnie różnić się w zależności od stosowanej metody treningowej i określonych celów treningowych. Dlatego ważne jest, aby stosowana prędkość sztangi w treningu oporowym była optymalnie dostosowana do konkretnych celów treningowych oraz poziomu doświadczenia zawodników.

Bibliografia

1. Australian Institute of Sport 2021. Blood flow restriction training guidelines. https://www.ais.gov.au/position_statements/best_practice_content/blood-flow-restriction-training-guidelines
2. Cristina-Oliveira, M.; Meireles, K.; Spranger, M.D.; O'Leary, D.S.; Roschel, H.; Peçanha, T. Clinical Safety of Blood Flow-Restricted Training? A Comprehensive Review of Altered Muscle Metaboreflex in Cardiovascular Disease during Ischemic Exercise. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2020, 318, H90–H109.
3. Cumming, K.T.; Ellefsen, S.; Rønnestad, B.R.; Ugelstad, I.; Raastad, T. Acute and Long-Term Effects of Blood Flow Restricted Training on Heat Shock Proteins and Endogenous Antioxidant Systems. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2017, 27, 1190–1201
4. Gene-Morales, J.; Gené-Sampedro, A.; Salvador-Palmer, R.; Colado, J.C. Effects of Squatting with Elastic Bands or Conventional Resistance—Training Equipment at Different Effort Levels in Post-Exercise Intraocular Pressure of Healthy Men. *Biol. Sport* 2022, 39, 895–903.
5. Jessee, M.B.; Buckner, S.L.; Dankel, S.J.; Counts, B.R.; Abe, T.; Loenneke, J.P. The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research. *Sports Med.* 2016, 46, 913–921.

6. Krzysztofik M, Zygadło D, Trybek P, Jarosz J, Zając A, Rolnick N, Wilk M. Resistance Training with Blood Flow Restriction and Ocular Health: A Brief Review. *Journal of Clinical Medicine*. 2022; 11(16):4881. <https://doi.org/10.3390/jcm11164881>
7. Leeman, M.; Kestelyn, P. Glaucoma and Blood Pressure. *Hypertension* 2019, 73, 944–950.
8. Loenneke, J.P.; Wilson, J.M.; Wilson, G.J.; Pujol, T.J.; Bemben, M.G. Potential Safety Issues with Blood Flow Restriction Training: Safety of Blood Flow-Restricted Exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2011, 21, 510–518.
9. Loenneke, J.; Fahs, C.; Thiebaud, R.; Rossow, L.; Abe, T.; Ye, X.; Kim, D.; Bemben, M. The Acute Muscle Swelling Effects of Blood Flow Restriction. *Acta Physiol. Hung.* 2012, 99, 400–410.
10. Maciel, A.W.S.; Pinto, L.M.; Campos, R.C.A.; Ferreira, A.C.; Dias-Filho, C.A.A.; Dias, C.J.M.; Pires, F.d.O.; Urtado, C.B.; Rodrigues, B.; Mostarda, C.T. Acute Effects of Resistance Exercise With Blood Flow Restriction in Elderly Women: A Pilot Study. *J. Aging Phys. Act.* 2021, 29, 361–371.
11. Nakajima, T., Morita, T., & Sato, Y. (2011). Key considerations when conducting KAATSU training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 7(1), 1-6.
12. Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & González-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *International journal of sports medicine*, 916-924.
13. Rossow, L.M.; Fahs, C.A.; Loenneke, J.P.; Thiebaud, R.S.; Sherk, V.D.; Abe, T.; Bemben, M.G. Cardiovascular and Perceptual Responses to Blood-Flow-Restricted Resistance Exercise with Differing Restrictive Cuffs. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 2012, 32, 331–337.
14. Rüfer, F.; Schiller, J.; Klettner, A.; Lanzl, I.; Roeder, J.; Weisser, B. Comparison of the Influence of Aerobic and Resistance Exercise of the Upper and Lower Limb on Intraocular Pressure. *Acta Ophthalmol.* 2014, 92, 249–252.
15. Schwiete, C.; Franz, A.; Roth, C.; Behringer, M. Effects of Resting vs. Continuous Blood-Flow Restriction-Training on Strength, Fatigue Resistance, Muscle Thickness, and Perceived Discomfort. *Front. Physiol.* 2021, 12, 663665.
16. Spranger, M.D.; Krishnan, A.C.; Levy, P.D.; O’Leary, D.S.; Smith, S.A. Blood Flow Restriction Training and the Exercise Pressor Reflex: A Call for Concern. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2015, 309, H1440–H1452.
17. Vera, J.; Perez-Castilla, A.; Redondo, B.; De La Cruz, J.C.; Jiménez, R.; García-Ramos, A. Influence of the Breathing Pattern during Resistance Training on Intraocular Pressure. *Eur. J. Sport Sci.* 2020, 20, 157–165.
18. Vera, J.; Jiménez, R.; Redondo, B.; Cárdenas, D.; García-Ramos, A. Fitness Level Modulates Intraocular Pressure Responses to Strength Exercises. *Curr. Eye Res.* 2018, 43, 740–746.

19. Wernbom, M.; Schoenfeld, B.J.; Paulsen, G.; Bjørnsen, T.; Cumming, K.T.; Aagaard, P.; Clark, B.C.; Raastad, T. Commentary: Can Blood Flow Restricted Exercise Cause Muscle Damage? Commentary on Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front. Physiol.* 2020, 11, 243.
20. Wernbom, M.; Paulsen, G.; Bjørnsen, T.; Cumming, K.; Raastad, T. Risk of Muscle Damage With Blood Flow–Restricted Exercise Should Not Be Overlooked. *Clin. J. Sport Med.* 2021, 31, 223–224.
21. Wong, V.; Song, J.S.; Bell, Z.W.; Yamada, Y.; Spitz, R.W.; Abe, T.; Loenneke, J.P. Blood Flow Restriction Training on Resting Blood Pressure and Heart Rate: A Meta-Analysis of the Available Literature. *J. Hum. Hypertens.* 2021, 36, 738–743.
22. Yasuda, T.; Meguro, M.; Sato, Y.; Nakajima, T. Use and Safety of KAATSU Training: Results of a National Survey in 2016. *Int. J. KAATSU Train. Res.* 2017, 13, 1–9.

W tym miejscu chciałabym jeszcze raz serdecznie podziękować Panu Profesorowi za pozytywną opinię mojej rozprawy doktorskiej i merytoryczne uwagi, które pomogą mi w realizacji przyszłych projektów badawczych.

Z poważaniem
mgr Jakub Jarosz