

Autoreferat
przedstawiający opis kariery zawodowej
oraz istotnej aktywności naukowej

dr Dariusz Sitkowski

Instytut Sportu – Państwowy Instytut Badawczy

Zakład Fizjologii



Warszawa, Sierpień 2023

Wykaz ważniejszych skrótów

[Hb]	stężenie hemoglobiny
BM	masa ciała
BV	objętość krwi
CaO ₂	zawartość tlenu we krwi tętniczej
CO	pojemność minutowa serca
D _{max} M	próg mleczanowy wyznaczany za pomocą zmodyfikowanej metody D _{max}
DO ₂	dostarczanie tlenu
EPO	erytropoetyna
FFM	beztłuszczowa masa ciała
FiO ₂	frakcja tlenu we wdychanym powietrzu
GXT	test o stopniowo wzrastającej mocy
Hct	hematokryt
HR	częstość skurczów serca
LT ₄	próg mleczanowy przy stężeniu mleczanu = 4 mmol/l
PD _{max} M	moc przy D _{max} M
PGET	moc przy progu wymiany gazowej
PLT ₄	moc przy LT ₄
P _{max}	najwyższa wartość mocy w GXT
PV	objętość osocza
RAAS	układ renina-angiotensyna-aldosteron
RCV	objętość krwinek czerwonych
SaO ₂	wysycenie tlenem krwi tętniczej
SpO ₂	wysycenie tlenem krwi (mierzone za pomocą pulsoksymetru)
SV	objętość wyrzutowa serca
tHb-mass	całkowita masa hemoglobiny
VO ₂ max	maksymalny pobór tlenu
VO ₂ peak	szczytowy pobór tlenu

Spis treści

1. Imię i nazwisko	4
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	4
2.1. Uprawnienia związane z wykonywanym zawodem.....	4
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych	4
3.1. Zatrudnienie w innych placówkach związane z wykonywanym zawodem	4
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy	4
4.1. Tytuł głównego osiągnięcia naukowego	4
4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego	5
4.2.1. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z implikacjami dla praktyki.....	6
4.2.2. Opis publikacji i osiągniętych wyników	15
4.2.3. Podsumowanie i wnioski.....	26
4.3. Pozostałe osiągnięcia naukowe	41
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	56
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	57
7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej	60

1. Imię i nazwisko

Dariusz Sitkowski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Stopień naukowy doktora nauk o kulturze fizycznej, nadany uchwałą Rady Wydziału Wychowania Fizycznego, Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu, na podstawie rozprawy doktorskiej pod tytułem: „*Zmiany wydolności fizycznej kajakarzy od młodzika do seniora*”, 2001 r.

Dyplom ukończenia (z wynikiem bardzo dobrym) wyższych studiów magisterskich (specjalność trenerska – trener II. kl. kajakarstwa), Wydział Wychowania Fizycznego, Akademia Wychowania Fizycznego w Warszawie, 1986 r.

2.1. Uprawnienia związane z wykonywanym zawodem

Uprawnienie do wykonywania zawodu diagnosty laboratoryjnego, Krajowa Izba Diagnostów Laboratoryjnych, 2007 r.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

Zakład Fizjologii, Instytut Sportu – Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Trylogii 2/16, 01-982 Warszawa

1985-1986 – technik

(1986-1987 – służba wojskowa)

1987-2001 – asystent

2001-2009 – adiunkt

2009-2015 – zastępca dyrektora Instytutu Sportu ds. usług i wdrożeń i p.o. dyrektora

2015-do chwili obecnej – adiunkt

3.1. Zatrudnienie w innych placówkach związane z wykonywanym zawodem

2005-2008 – Polski Związek Kajakowy, fizjolog kadry narodowej w sprincie kajakowym.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy

4.1. Tytuł głównego osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe, które objęte jest wspólnym tytułem:

„Hematologiczne adaptacje do treningu wytrzymałościowego”

stanowi jednotematyczny cykl czterech, oryginalnych artykułów naukowych, opublikowanych w latach 2018-2023, w których jestem pierwszym autorem. Wykaz tych artykułów (w kolejności chronologicznej) oraz opis mojego udziału w ich powstaniu zamieszczono poniżej.

4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego

(P1) **Sitkowski D**, Szygula Z, Pokrywka A, Turowski D, Malczewska-Lenczowska J. Interrelationships between changes in erythropoietin, plasma volume, haemoglobin concentration, and total haemoglobin mass in endurance athletes. *Res Sports Med.* 2018 Jul-Sep;26(3):381-389. doi: 10.1080/15438627.2018.1447936. PMID: 29516744.

IF 2,55; KBN/MNiSW/MEiN 20 pkt.

Mój wkład, który oszacowano na **65%**, obejmował: opracowanie koncepcji badań i sformułowanie hipotezy badawczej, pozyskanie środków finansowych na realizację badań, organizację i przeprowadzenie badań, opracowanie wyników i przeprowadzenie analizy statystycznej danych, napisanie manuskryptu pracy oraz odpowiedzi na recenzje.

(P2) **Sitkowski D**, Szygula Z, Surała O, Orysiak J, Zdanowicz R, Pokrywka A, Starczewski M, Malczewska-Lenczowska J. Hematological status and endurance performance predictors after low altitude training supported by normobaric hypoxia: a double-blind, placebo controlled study. *Biol Sport.* 2019 Dec;36(4):341-349. doi: 10.5114/biolSport.2019.88760. PMID:31938005.

IF 2,00; KBN/MNiSW/MEiN 70 pkt.

Mój wkład, który oszacowano na **55%**, obejmował: opracowanie koncepcji badań i sformułowanie hipotezy badawczej, pozyskanie środków finansowych na realizację badań, organizację i przeprowadzenie badań, opracowanie wyników i przeprowadzenie analizy statystycznej danych, napisanie manuskryptu pracy oraz odpowiedzi na recenzje.

(P3) **Sitkowski D**, Cisoń T, Szygula Z, Surała O, Starczewski M, Sadowska D, Malczewska-Lenczowska J. Hematological Adaptations to Post-Exercise Sauna Bathing With No Fluid Intake: A Randomized Cross-Over Study. *Res Q Exerc Sport.* 2022 Dec;93(4):795-803. doi: 10.1080/02701367.2021.1921684. PMID: 34727008.

IF 2,20; KBN/MNiSW/MEiN 70 pkt.

Mój wkład, który oszacowano na **50%**, obejmował: opracowanie koncepcji badań i sformułowanie hipotezy badawczej, pozyskanie środków finansowych na realizację badań, organizację i przeprowadzenie badań, opracowanie wyników i przeprowadzenie analizy statystycznej danych, napisanie manuskryptu pracy oraz odpowiedzi na recenzje.

(P4) **Sitkowski D**, Klusiewicz A, Pokrywka A, Jankowski W, Malczewska-Lenczowska J. Relationships between Changes in Hematological Adaptations and Exercise Capacity in Olympic Rowers after a Period of Reduced Training Loads. *J Hum Kinet.* 2023 Jan 20;86:155-164. doi: 10.5114/jhk/159463. PMID: 37181268.

IF 2,30 (2022 r.) KBN/MNiSW/MEiN 140 pkt.

Mój wkład, który oszacowano na **60%**, obejmował: opracowanie koncepcji badań i sformułowanie hipotezy badawczej, pozyskanie środków finansowych na realizację badań, opracowanie wyników i przeprowadzenie analizy statystycznej danych, napisanie manuskryptu pracy oraz odpowiedzi na recenzje.

Bibliometryczne podsumowanie powyższego cyklu publikacji:

IF = 9,05; KBN/MNiSW/MEiN = 300 pkt.

W ww. pracach byłem bezpośrednim twórcą hipotez badawczych i koncepcji badań, a także współwykonawcą badań, osobiście opracowywałem uzyskane wyniki i samodzielnie przeprowadzałem analizę statystyczną danych, a także byłem głównym autorem manuskryptów i odpowiedzi na recenzje.

4.2.1. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z implikacjami dla praktyki

Wprowadzenie do zagadnienia badawczego podjętego w cyklu publikacji

Mięśnie szkieletowe, dla utrzymania swych fizjologicznych funkcji, podobnie jak inne tkanki organizmu, wymagają ciągłego dostarczania tlenu w tempie, które jest precyzyjnie dopasowywane do zmieniających się wymagań metabolicznych (Hawley i in., 2014). W czasie wysiłków fizycznych o dużej intensywności, zużycie tlenu w tej tkance może się zwiększać ponad 30-krotnie w stosunku do stanu spoczynkowego (Egan i Zierath, 2013). W tych warunkach, dla pokrycia tak dużego zapotrzebowania na tlen, prawie cały przyrost pojemności minutowej serca kierowany jest do pracujących mięśni szkieletowych oraz, w mniejszym zakresie, do mięśnia sercowego (Joyner i Casey, 2015).

O sprawności dostarczania tlenu z powietrza atmosferycznego do mięśni, a następnie wykorzystania go w komórkach, decydują czynniki centralne, takie jak: zdolność dyfuzyjna płuc, pojemność minutowa serca i pojemność tlenowa krwi, a także czynniki obwodowe, wśród których wyróżnia się: regulację powinowactwa tlenu do hemoglobiny, gęstość sieci naczyń włosowatych/sprawność perfuzyjną mięśni i ilość/aktywność enzymatyczną zawartych w mięśniach mitochondriów (Green i in., 2012; Mairbaur, 2013; Montero i in., 2015). Efektywne dostarczanie tlenu do pracujących mięśni ma szczególne znaczenie w wysiłkach o charakterze wytrzymałościowym (Bassett i Howley, 2000). Jednak u zdrowych i aktywnych fizycznie osób poprawa zdolności do tego rodzaju wysiłków zachodzi głównie poprzez zmiany zachodzące w sercu, które obejmują zmiany w jego budowie i funkcji (Baggish i in., 2008; Bonne i in., 2014; Poh i in., 2008), oraz poprzez adaptacje hematologiczne, które obejmują zmiany w objętości i składzie krwi (Gifford i in., 2016; Montero i in., 2015). O ile diagnozowanie tych pierwszych, np. za pomocą badania echo serca (Jakubiak i in., 2021; Konopka i in., 2016; Król i in., 2016), jest aktualnie szeroko dostępne, o tyle trudniejsza jest właściwa ocena stanu hematologicznego sportowców (Fellmann, 1992; Shaskey i Green, 2000; Szygula, 1990), u których wartości rutynowo oznaczanych wskaźników morfologii krwi, takich jak stężenie hemoglobiny ([Hb]) i hematokryt (Hct), mogą się zmieniać wraz z powysiłkowymi zmianami objętości osocza (PV) (Astolfi i in., 2021; Schmidt i in., 2000; Thirup, 2003). Na PV mają również wpływ warunki środowiskowe, w jakich trenują i współzawodniczą sportowcy - np. góry, upalny/chłodny klimat, a także sezonowe zmiany temperatury otoczenia (Barcroft i in., 1923; Doupe i in., 1957; Sawka i in., 2000).

Wskaźnikiem, który lepiej niż [Hb] i Hct pozwala ocenić stan hematologiczny w zakresie układu erytrocytarnego jest objętość krwinek czerwonych (RCV). RCV wyraża całkowitą objętość erytrocytów znajdujących się w krążeniu i wraz z PV determinuje objętość krwi (BV). Przez wiele lat złotym standardem określania RCV były metody oparte na wprowadzaniu do krwiobiegu radioaktywnych znaczników, takich jak np. znakowany chrom (^{51}Cr) lub znakowany jod ($^{131}\text{I}/^{125}\text{I}$), oraz błękitu Evansa (Gore i in., 2005; Sawka i in., 2000). Były one wykorzystywane m.in. w badaniach klinicznych nad polycytemią, przy ocenie skuteczności leczenia erytropoetyną oraz w badaniach nad czynnikami wpływającymi na transport tlenu. Jednak wykorzystywanie tych metod w rutynowych badaniach sportowców było zbyt skomplikowane, a w przypadku niektórych z nich mogło także stwarzać zagrożenia zdrowotne (Fassy i in., 2017; Haque i in., 1997).

Możliwość znacznie dokładniejszego, a przy tym mniej czasochłonnego, określania stanu hematologicznego (badanie trwa ok. 20 min) otworzyła modyfikacja (Schmidt i Prommer, 2005), znanej od ponad 100 lat metody oddychania zwrotnego tlenkiem węgla (Grehant i Quinquard, 1882). Podstawowym wskaźnikiem pomiarowym, z którego wylicza się objętości wewnątrznaczyniowe, tj. RCV, PV i BV (Heinicke i in., 2001) jest w tej metodzie całkowita masa hemoglobiny (tHb-mass). W odróżnieniu od [Hb] i Hct, tHb-mass jest niezależna od zmian PV, co zwiększa trafność oceny stanu hematologicznego sportowców i zmian zachodzących u nich pod wpływem treningu. Na podstawie analizy wyników 13 badań oszacowano również, że $\text{RCV} = \text{tHb-mass} \times 2,899$ (Rasmussen i in., 2013). Dzięki swej niewielkiej inwazyjności (pobierana jest krew włośniczkowa), a także przy braku zagrożeń dla zdrowia badanego (podawana jest niewielka dawka tlenku węgla rozpuszczonego w czystym tlenie), metoda oddychania zwrotnego tlenkiem węgla znalazła zastosowanie nie tylko w badaniach sportowców, ale też w badaniach dzieci (Prommer i in., 2018). Jako że nie była ona stosowana nigdzie w Polsce, ani w badaniach naukowych, ani klinicznych, w 2010 r. odbyłem (poświadczony certyfikatem) szkolenie u jej autorów, tj. u prof. dr. hab. Waltera Schmidta i dr. hab. Nicole Prommer (Zakład Medycyny Sportowej i Fizjologii Sportu, Uniwersytet w Bayreuth, Niemcy), po którym to szkoleniu metoda ta, przy moim znaczącym udziale, została wdrożona do procedur badawczych Instytutu Sportu w Warszawie. (Dla potwierdzenia, że przyjęcie stosowanej dawki tlenku węgla nie wywołuje niepożądanych efektów, w czasie tego szkolenia sam poddałem się badaniu.) Warto podkreślić, że Instytut Sportu cały czas jest jedyną placówką w naszym kraju, w której za pomocą metody oddychania zwrotnego tlenkiem węgla można wykonywać pomiary tHb-mass i objętości wewnątrznaczyniowych.

Wyniki badań przeprowadzonych przez różnych autorów (Heinicke i in., 2001; Zelenkova i in., 2019), w tym także przez nasz zespół (Malczewska-Lenczowska i in., 2013) pokazują, że w odróżnieniu od takich wskaźników jak [Hb] i Hct (Degens i in., 2019; Mayr i in., 2006; Ulrich i in., 2011), tHb-mass i objętości wewnątrznaczyniowe są znacznie wyższe u wysokiej klasy zawodników z dyscyplin wytrzymałościowych niż u osób nietreningujących i zawodników z dyscyplin o innym charakterze wysiłku niż wysiłki wytrzymałościowe. Warto podkreślić, że niższe wartości tej zmiennej obserwowano także u zawodników z tej samej dyscypliny, którzy osiągnęli gorsze wyniki sportowe w konkurencjach wytrzymałościowych (Zelenkova i in., 2019). Jednocześnie tHb-mass istotnie koreluje ze wskaźnikami określającymi zdolność do wysiłków wytrzymałościowych, takimi jak np. maksymalny pobór tlenu ($VO_2\max$), najwyższa moc w teście o stopniowo narastającym obciążeniu i moc przy 4 mmol/l mleczanu we krwi (Heinicke i in., 2001; Malczewska-Lenczowska i in., 2016; Schmidt i Prommer, 2010; Treff, Schmidt, Wachsmuth, Volzke i in., 2014b). Ostatnio uzyskane wyniki badań retrospektywnych dostarczyły dowodów, że pomiary tHb-mass mogą być wartościowym narzędziem diagnostycznym w identyfikacji sportowych talentów, ponieważ u młodocianych kolarzy z dużą dokładnością pozwoliły przewidzieć osiągnięcie elitarnego poziomu w ich przyszłej karierze sportowej (Sitkowski i in., praca w recenzji). Reasumując, można zatem stwierdzić, że wdrożenie metody oddychania zwrotnego tlenkiem węgla otworzyło możliwość trafniejszej, niż wcześniej, oceny stanu hematologicznego polskich sportowców, co może mieć znacznie nie tylko dla optymalizacji ich procesu treningowego, ale także dla ochrony ich zdrowia (np. poprzez lepsze diagnozowanie niedokrwistości i precyzyjniejszą ocenę skuteczności jej leczenia).

Uzasadnienie podjęcia badań

Dostarczanie tlenu do mięśni ma kluczowe znaczenie dla zdolności do długotrwałych wysiłków fizycznych, szczególnie wtedy gdy są one wykonywane przy udziale dużych grup mięśniowych (Ekblom, 2000; Gledhill i in., 1999; Szygula, 1990), dlatego w sporcie wyczynowym podejmowane są liczne działania, w tym również niedozwolone (Jelkmann i Lundby, 2011; Pokrywka i in., 2020), w kierunku poprawy stanu hematologicznego zawodników. Pomimo tego, że trening może mieć jedynie umiarkowany wpływ na tHb-mass i BV, gdyż wartości tych wskaźników wydają się głównie zależeć od predyspozycji genetycznych (Heinicke i in., 2001; Martino i in., 2002; Schmidt i Prommer, 2008), to jednak wyniki badań sugerują, że adaptacje hematologiczne do treningu wytrzymałościowego w zakresie układu czerwonokrwinkowego

mogą być nasilone, gdy trening ten jest wykonywany w warunkach niedotlenienia (Schmidt i Prommer, 2008) lub podwyższonej temperatury otoczenia (Oberholzer i in., 2019).

Trenerzy wysokiej klasy zawodników, z którymi współpracowałem w czasie swej kariery zawodowej, zawsze szukali sposobów na poprawę efektywności treningu, który zapewniłby im sukcesy sportowe. Jednocześnie podzielali pogląd (Bishop, 2008), że nauki o sporcie nie zawsze dostarczają im sprawdzonych informacji, które mogliby bezpośrednio zastosować w praktyce. Dlatego podjęta przeze mnie tematyka badawcza, oprócz celów ściśle naukowych, wychodzi naprzeciw zagadnieniom, które były w obszarze zainteresowań także trenerów. Badania z udziałem wysokiej klasy sportowców, które są przeprowadzane stosunkowo rzadko, mają jednak nieodłączne ograniczenia, polegające choćby na braku możliwości modyfikacji planów treningowych i kalendarza zawodów. Dlatego protokoły niektórych z prowadzonych przeze mnie badań musiały uwzględniać te ograniczenia.

Adaptacje hematologiczne do treningu wytrzymałościowego wspomaganego niedotlenieniem

Od dawna wiadomo, że ekspozycja organizmu na hipoksję hipobaryczną (Viault, 1890) lub hipoksję normobaryczną (Jolyet i Sellier, 1895) skutkuje m.in. zwiększeniem liczby czerwonych krwinek i stężenia hemoglobiny (Bert, 1882), co prowadzi do zwiększenia pojemności tlenowej krwi. Od tamtego czasu przeprowadzono wiele badań, które miały na celu wyjaśnienie podłoża hematologicznych i niehematologicznych mechanizmów związanych z odpowiedzią organizmu na niedotlenienie (Gore i in., 2007; Płoszczyca i in., 2018), a także opracowano wiele metod wykorzystania hipoksji w treningu sportowców (Czuba i in., 2018; Millet i in., 2010; Mujika i in., 2019; Wilber, 2007), jednocześnie badając możliwość jej negatywnego oddziaływania (Bärtsch i Saltin, 2008). Dominującym paradygmatem hematologicznej adaptacji do hipoksji jest to, że obniżenie ciśnienia parcjalnego tlenu w atmosferze, skutkujące obniżeniem jego prężności we krwi tętniczej, indukuje produkcję erytropoetyny (EPO) w fibroblastach nerkowych (główne miejsce jej produkcji), która stymuluje produkcję czerwonych krwinek w szpiku kostnym. Proces ten jest regulowany za pomocą indukowanych hipoksją czynników transkrypcyjnych, wśród których HIF-2 odgrywa kluczową rolę w procesie syntezy EPO (Haase, 2013). Czynniki indukowane hipoksją biorą też udział w regulacji niehematologicznych adaptacji do niedotlenienia, które obejmują m.in. (działają za pośrednictwem): angiogenezę (czynnik wzrostu śródbłonna naczyniowego), przesunięcie metabolizmu energetycznego w kierunku przemian beztlenowych (enzymy glikolityczne), zwiększenie wychwytu glukozy i metabolizmu mleczanu w mięśniach

(transportery glukozy i transportery monokarboksyłowe), regulację pH (anhydraza węglanowa), zwiększenie zdolności relaksacyjnej naczyń tętniczych (syntaza tlenu azotu i oksydaza hemowa) oraz przyspieszenie wentylacji płuc (hydroksylaza tyrozyny) (Gore i in., 2007; Sasaki i in., 2000). Innym, niehematologicznym efektem hipoksji, choć nie potwierdzanym we wszystkich badaniach (Clark i in., 2004; Nordsborg i in., 2012), jest zwiększenie pojemności buforowej mięśni (Gore i in., 2001; Mizuno i in., 1990; Saltin i in., 1995). Teoretycznie, wszystkie wyżej wymienione adaptacje, mogą mieć korzystne znaczenie dla wyników sportowych, również na poziomie morza, stąd wielu trenerów i zawodników, zwłaszcza z dyscyplin wytrzymałościowych, regularnie stosuje trening w warunkach hipoksji zarówno hipo- jak i normobarycznej. W praktyce sportowej stosowane są cztery modele treningu hipoksycznego, takie jak: LH + TH (żyj wysoko – trenuj wysoko), LH + TL (żyj wysoko – trenuj nisko), IHE – przerywana ekspozycja na niedotlenienie w spoczynku oraz IHT – przerywana ekspozycja na hipoksję w czasie treningu (Wilber, 2007). Niemniej jednak brak jest jednoznacznego potwierdzenia skuteczności takiego postępowania w przygotowaniach do zawodów rozgrywanych na poziomie morza (Bejder i Nordsborg, 2018; Hauser i in., 2018; Lundby i Robach, 2016). Zaobserwowano, że nawet jeśli za pomocą treningu z niedotlenieniem osiągnane są korzystne efekty hematologiczne w postaci zwiększenia tHb-mass, to nie zawsze przekładają się one na poprawę wydolności fizycznej i wyników sportowych (Gough i in., 2012; Kettunen i in., 2023; Robertson i in., 2010; Saunders i in., 2010). Wywołane przez niedotlenienie zwiększenie produkcji czerwonych krwinek wraz z równoczesnym zmniejszeniem PV, może też prowadzić do nadmiernego zwiększenia lepkości krwi, które ma niekorzystny wpływ na mikrokrążenie i dostarczanie tlenu do tkanek (El-Sayed i in., 2005), choć z drugiej strony, nowopowstałe erytrocyty charakteryzują się dużą płynnością błony komórkowej i zdolności do odkształcania, co ułatwia przepływ krwi przez naczynia włosowate (Kamada i in., 1993; Mairbaurl, 2013).

Możliwość ustalenia ewentualnych korzyści osiąganych poprzez stosowanie treningu wysokościowego/hipoksycznego jeszcze bardziej komplikuje fakt, że na jego rezultaty mogą mieć również wpływ efekty *placebo* i *nocebo* (Bonetti i Hopkins, 2009). Jednak trudno przypuszczać, że tak jak w przypadku zdolności wysiłkowej, efekty hematologiczne mogłyby zależeć od przekonań badanego (Gore i in., 2013). Niemniej jednak niewiele jest badań przeprowadzonych z zastosowaniem podwójnie ślepej próby z kontrolowanym efektem *placebo* (Saunders i in., 2010; Siebenmann i in., 2012), które pomogłyby w ustaleniu, jaki jest rzeczywisty wpływ treningu wysokościowego/hipoksycznego na wartości wskaźników

fizjologicznych, wydolność fizyczną i wyniki sportowe osiągane na poziomie morza przez wysokiej klasy zawodników.

Efekty hematologiczne treningu wytrzymałościowego wspomaganego wysoką temperaturą otoczenia

Wyniki badań pokazują, że tHb-mass może się umiarkowanie zwiększać pod wpływem treningu wytrzymałościowego, zwłaszcza u nietreningujących wcześniej osób (Bonne i in., 2014; Montero i in., 2015, 2017), ale włączenie stresu cieplnego do takiego treningu może jeszcze nasilać te zmiany (Oberholzer i in., 2019; Rønnestad i in., 2021). Mechanizm odpowiedzialny za nasilenie produkcji czerwonych krwinek u osób wykonujących długotrwałe wysiłki fizyczne w wysokiej temperaturze otoczenia nie jest do końca jasny. Jednak jego podłożem może być wspólne oddziaływanie wysiłku i wysokiej temperatury na objętość osocza (Convertino, 1991; Convertino i in., 1980). Wywołana w ten sposób hiperwoleミア powoduje obniżenie Hct i pojemności tlenowej krwi (Adamson, 1968; Montero i Lundby, 2018; Rønnestad i in., 2021), co mogłoby być sygnałem dla (wciąż tylko sugerowanego) nerkowego „miernika” (ang. *critmeter*), regulującego Hct za pośrednictwem erytropoetyny, pobudzającej produkcję czerwonych krwinek (Donnelly, 2003; Jelkmann, 2013; Lundby i in., 2007; Montero i in., 2017). Niektórzy autorzy sugerują bezpośredni wpływ stresu cieplnego na sekrecję erytropoetyny (Maloyan i in., 2005; Rendell i in., 2017).

Stwierdzono, że potreningowe zwiększenie PV i tym samym BV, może przyczyniać się (zgodnie z mechanizmem Franka-Starlinga) do zwiększenia objętości wyrzutowej serca (SV) i, co za tym idzie, pojemności minutowej serca (CO), a w konsekwencji do zwiększenia VO₂max (Lorenzo i in., 2010; Warburton i in., 2004). Wiadomo, że zwiększenie objętości osocza przyczynia się też do zmniejszenia lepkości krwi, co ułatwia jej przepływ i zmniejsza obciążenie pracą mięśni sercowy. Jednak należy zaznaczyć, że wpływ zwiększenia PV na VO₂max może być zredukowany ze względu na zmniejszenie zawartości tlenu w jednostce objętości krwi tętniczej, które jest skutkiem jej rozrzedzenia (Gledhill i in., 1999).

Istnieją też wyniki badań, które pokazują, że umiarkowane odwodnienie organizmu, będące efektem ograniczenia ilości przyjmowania płynów w czasie wykonywania wysiłków fizycznych w wysokiej temperaturze otoczenia, nasila sekrecję aldosteronu, którego stężenie jest dodatnio skorelowane z przyrostem PV (Garrett i in., 2014). Hormon ten należy do układu renina-angiotensyna-aldosteron (RAAS), którego działanie nie tylko związane jest z regulacją gospodarki wodnej organizmu, ale też z regulacją wydzielania erytropoetyny (Montero i Lundby, 2018). Warto podkreślić, że odwodnienie, podobnie jak wysiłek fizyczny i wysoka

temperatura otoczenia, obniża nerkowy przepływ krwi i dostarczanie do nich tlenu (Chapman i in., 2021; Schlader i in., 2019), co mogłoby być dodatkowym bodźcem dla erytropoezy (Donnelly, 2003). Jednak wciąż ma pewności, czy umiarkowane odwodnienie ma rzeczywiście pozytywne działanie na hematologiczną adaptację do wysiłków wytrzymałościowych, wykonywanych w wysokiej temperaturze otoczenia (Pethick i in., 2019).

Obok strategii wykorzystujących ekspozycję organizmu na dodatkowe środowiskowe (aklimatyzacja) lub w warunkach sztucznych/laboratoryjnych (aklimacja) obciążenie termiczne w czasie wysiłku fizycznego (Daanen i in., 2018; Périard i in., 2015; Racinais i in., 2015; Tyler i in., 2016), podejmowane są próby zastosowania strategii polegających na biernym przebywaniu w wysokiej temperaturze otoczenia (np. w saunie lub w wodzie o temperaturze 40°C) bezpośrednio po treningu (Creasy i in., 2003; Heathcote i in., 2018; Scoon i in., 2007; Stanley i in., 2015; Zurawlew i in., 2016; Zurawlew i in., 2019). Szczególnie interesujące wydają się tu wyniki badań, które oceniały hematologiczne i wydolnościowe efekty potreningowej sauny u długodystansowych biegaczy (Scoon i in., 2007). Wykazano bowiem, że po zakończeniu trzytygodniowego okresu stosowania fińskiej sauny (w sumie 12, 30-min sesji, w temperaturze $89.9 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$) wytrzymałość biegowa uległa poprawie w stosunku do okresu treningu bez sauny. Rezultaty tych badań wskazują, że czynnikami leżącymi u podstaw tego zjawiska było zwiększenie PV i BV. Te dwie zmienne były bardzo silnie, dodatnio skorelowane z wydłużeniem czasu biegu do wyczerpania ($r > 0,94$). Warto podkreślić, że z danych zamieszczonych w niniejszym opracowaniu wynika, że podobnie jak PV i BV, zwiększyła się również tHb-mass. Potwierdzenie tych obserwacji mogłoby mieć duże znacznie praktyczne, gdyż w dość prosty i ekonomiczny sposób, można by zwiększać efekty treningu wytrzymałościowego nie tylko u sportowców, ale także u osób z anemią, u których trening wytrzymałościowy rozważany jest jako jedna z metod wspomagania terapii medycznych (Hu i Lin, 2012). Teoretycznie osoby te, mając ograniczoną zdolność do wykonywania wysiłków fizycznych, również z innych powodów niż anemia, mogłyby wykorzystywać pobyt w saunie (poprzez uzupełnienie procesu treningowego/zastąpienie części swojego treningu) dla zwiększenia tHb-mass. Jednak dane na temat korzyści stosowania sauny na układ czerwokrwinkowy są wciąż niejednoznaczne (Creasy i in., 2003; Hu i Lin, 2012; Scoon i in., 2007).

Wpływ zmniejszenia obciążeń treningowych na stan hematologiczny sportowców

Periodyzacja treningu, która jest powszechnie praktykowana przez wysokiej klasy zawodników, polega na stosowaniu zróżnicowanych obciążeń, poprzez modulacje objętości

intensywności oraz częstotliwości treningów, a także udziału w zawodach. Oprócz zmian dietetycznych (Jeukendrup, 2017), uwzględnia ona również kilkutygodniowy okres przejściowy, charakteryzujący się znacznym zmniejszeniem obciążeń treningowych (a nawet całkowitym zaprzestaniem treningu), który jest konieczny dla właściwej odnowy biologicznej i regeneracji psychofizycznej organizmu zawodnika, przyczyniając się tym samym do zmniejszenia ryzyka zachorowań, urazów, a przede wszystkim uniknięcia zjawiska przetrenowania (Mujika i in., 2018).

Chociaż adaptacje hematologiczne do treningu wytrzymałościowego były przedmiotem licznych badań, to jednak niewiele wiadomo, jaki wpływ na te adaptacje ma częściowa lub całkowita redukcja obciążeń treningowych. Dotychczasowe badania pokazały, że po unieruchomieniu spowodowanym urazem, tHb-mass może się zmniejszyć o 14-19% (Gough i in., 2013; Kjellberg i in., 1949; Schumacher i in., 2008). Zmniejszenie tHb-mass, sięgające aż 28%, odnotowano u wysokiej klasy wioślarza, cierpiącego na utratę krwi z przewodu pokarmowego (spowodowaną zapaleniem błony śluzowej żołądka i krwawiącym uchyłkiem Meckela), pomimo tego, że zawodnik ten nie wykazywał niedoboru żelaza i utrzymywał dużą objętość treningu (Treff, Schmidt, Wachsmuth i Steinacker, 2014a). Jednak u zdrowych i trenujących zgodnie z planem treningowym sportowców, wartości tHb-mass w rocznym cyklu treningowym są względnie stabilne (Eastwood i in., 2008, 2012; Garvican i in., 2010; Prommer i in., 2008), jednak, co ciekawe, w tym samym czasie wskaźniki wydolności fizycznej, które są skorelowane z tHb-mass (Heinicke i in., 2001; Malczewska-Lenczowska i in., 2016; Schmidt i Prommer, 2010; Treff, Schmidt, Wachsmuth, Volzke i in., 2014b), wykazują znaczną zmienność sezonową (Mikulic, 2012; Sassi i in., 2008; Zapico i in., 2007).

Niedostateczna ilość danych na temat efektów zmniejszenia obciążeń treningowych na układ czerwonokrwinkowy u wysokiej klasy zawodników dyscyplin wytrzymałościowych, nie pozwala ustalić, czy zachodzące wówczas zmiany zdolności wysiłkowej są bezpośrednio związane ze zmianami w wartościach wskaźników hematologicznych. Do tej pory wykazywano jedynie słabe korelacje pomiędzy zmianami w VO₂max a zmianami w tHb-mass i BV u triatlonistów po 30-dniowym okresie zmniejszenia obciążeń treningowych o 87% (Eastwood i in., 2012).

Cel badań

Badania, których wyniki przedstawiłem w swoim osiągnięciu habilitacyjnym dotyczą czterech głównych i powiązanych tematycznie obszarów problemowych, to znaczy hematologicznych efektów treningu wytrzymałościowego wykonywanego z udziałem dodatkowej hipoksji (1),

wykonywanego z udziałem dodatkowego obciążenia termicznego (2), a także wzajemnych powiązań pomiędzy zmianami wartości wskaźników hematologicznych a zmianami stężenia erytropoetyny (3) i zdolności wysiłkowej (4) u sportowców i aktywnych fizycznie osób prowadzących trening wytrzymałościowy.

Z dokonanego przeglądu piśmiennictwa naukowego wynika, że hipoksja i obciążenie termiczne mogą nasilać adaptacje hematologiczne do treningu wytrzymałościowego (1 i 2), natomiast nie do końca jest jasne, czy istnieje bezpośredni związek pomiędzy zmianami wartości wskaźników hematologicznych (takich jak tHb-mass, PV, RCV, BV i [Hb]) a zmianami stężenia EPO i zdolności wysiłkowej (3 i 4), które zachodzą pod wpływem treningu wytrzymałościowego.

Wyniki badań prowadzonych w ramach wyżej wymienionych, powiązanych tematycznie obszarów badawczych składają się na moje osiągnięcie o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r.

Wspólnym celem prac, które przedstawiam w czterech oryginalnych publikacjach, jako swoje główne osiągnięcie naukowe, było zbadanie wpływu treningu wytrzymałościowego na stan hematologiczny aktywnych fizycznie osób, ze szczególnym uwzględnieniem wysokiej klasy zawodników.

Dla jego realizacji sformułowano następujące cele szczegółowe i założono następujące hipotezy badawcze:

Cele szczegółowe

- 1) Zbadanie powiązań pomiędzy zmianami w stężeniu EPO, PV, [Hb] i tHb-mass, wywołanymi przez trening wytrzymałościowy wykonywany na różnych wysokościach.
- 2) Określenie wpływu treningu wytrzymałościowego, prowadzonego na małych wysokościach ze wspomaganie hipoksją normobaryczną w spoczynku, na stan hematologiczny i zdolność do wykonywania długotrwałych wysiłków fizycznych.
- 3) Sprawdzenie czy powysiłkowy pobyt w saunie w warunkach umiarkowanego odwodnienia może nasilać adaptacje hematologiczne, które zachodzą pod wpływem treningu wytrzymałościowego.
- 4) Zbadanie związku pomiędzy zmianami w adaptacjach hematologicznych i zmianami w zdolności wysiłkowej po okresie zmniejszenia obciążeń treningowych.

Hipotezy badawcze

- 1) Zmiany w EPO są skorelowane ze zmianami w PV, a tym samym ze zmianami w [Hb].
- 2) Dodatkowa ekspozycja na umiarkowaną hipoksję normobaryczną może zwiększać hematologiczne i wydolnościowe efekty treningu wytrzymałościowego, szczególnie u tych zawodników, którzy odznaczają się stosunkowo niskimi początkowymi wartościami tHb-mass i wskaźników wydolnościowych.
- 3) Powysiłkowy pobyt w saunie bez przyjmowania płynów, zarówno w czasie wysiłku jak i w czasie sauny, może zwiększać adaptacje hematologiczne, wyrażone przez zwiększenie całkowitej masy hemoglobiny i objętości wewnątrznaczyniowych, co może przełożyć się na poprawę efektywności treningu wytrzymałościowego.
- 4) Zmiany w maksymalnej i submaksymalnej (odnoszącej się do progu mleczanowego) mocy w stopniowanym teście wysiłkowym są po okresie zmniejszenia obciążeń treningowych związane ze zmianami objętości wewnątrznaczyniowych.

4.2.2. Opis publikacji i osiągniętych wyników

Publikacja 1

Sitkowski D, Szygula Z, Pokrywka A, Turowski D, Malczewska-Lenczowska J.

Interrelationships between changes in erythropoietin, plasma volume, haemoglobin concentration, and total haemoglobin mass in endurance athletes. *Res Sports Med.*

2018 Jul-Sep;26(3):381-389. doi: 10.1080/15438627.2018.1447936. PMID: 29516744.

Dostęp do pełnego tekstu publikacji:

<https://www.tandfonline.com/eprint/ZbvXTmVJJ2QHd5tw2XR/full>

Istnieją dowody naukowe wskazujące, że oprócz stymulacji erytropoezy, erytropoetyna (EPO) współuczestniczy w regulacji PV (Lundby i in., 2007). Jednak oddziaływanie to jest obustronne, gdyż zmiany PV mogą także modulować produkcję EPO. W warunkach laboratoryjnych zaobserwowano przeciwne zmiany w EPO i PV, tj. spadek PV po iniekcjach EPO (Lundby i in., 2007), zwiększenie stężenia EPO po obniżeniu PV (Ehmke i in., 1995;

Roberts i in., 2000), a także zmniejszenie stężenia EPO po zwiększeniu PV (Szyguła i in., 1995). W przeciwieństwie do wyżej opisanych zjawisk, w warunkach fizjologicznych, np. podczas ciąży (Cotes, 1989) lub po intensywnym wysiłku fizycznym (Schwandt i in., 1991), wraz ze wzrostem PV wykazywano wzrost stężenia EPO, lub zahamowanie wydzielania EPO po obniżeniu PV w wyniku długotrwałego przebywania w pozycji leżącej (Greenleaf, 1984; Gunga i in., 1996). Chociaż niektórzy autorzy sugerowali że hemodilucja powoduje wzrost poziomu EPO (Schmidt i in., 1991), brak było danych, które wykazałyby korelację między zmianami EPO i PV, zwłaszcza u sportowców dyscyplin wytrzymałościowych, u których występują głębokie zmiany PV po wysiłku (Sawka i in., 2000). Dotychczas wykazywane korelacje pomiędzy fizjologicznymi zmianami w EPO a zmianami w tHb-mass (Clark i in., 2009; Friedmann i in., 2005; L. Garvican i in., 2012) były co najwyżej małe (Hopkins i in., 2009). Dlatego przeprowadzono badania, których celem było określenie fizjologicznych zmian w EPO, PV, [Hb] i tHb-mass oraz ich wzajemnych relacji u sportowców dyscyplin wytrzymałościowych trenujących na różnych wysokościach. Postawiono hipotezę, że zmiany EPO mają związek ze zmianami w PV, które z kolei wpływają na [Hb].

Dla weryfikacji tej hipotezy, zostały przeprowadzone badania z udziałem 32 wysokiej klasy zawodników (kadra narodowa), uprawiających kolarstwo szosowe lub/i torowe (konkurencje wytrzymałościowe). Dwanaście osób (mALT: 6 K i 6 M) uczestniczyło w 3-tyg. zgrupowaniu treningowym w naturalnych warunkach górskich (ATC), gdzie były zakwaterowane/trenowały na wysokościach 1900/1800-2300 m, a następnich 8 osób (SL: 2 K i 6 M) mieszkało i trenowało około poziomu morza (80-300 m). Przez 3 tyg. po zgrupowaniu obie grupy prowadziły ujednolicony trening blisko poziomu morza. Kolejnych 12 osób (lALT: 12 K) uczestniczyło w 3-tyg. zgrupowaniu treningowym, mieszkając/trenując na wysokościach 900/700-1100 m, po czym również dalszy trening prowadziło około poziomu morza.

W czterech punktach czasowych, tj. (0) - przed ATC, (1) - w końcowej fazie ATC, (2) - 2 tygodnie po ACT i (3) - 3 tyg. po ACT, w grupie mALT we krwi żyłnej oznaczano stężenie EPO i [Hb] oraz przeprowadzono pomiary tHb-mass i PV. W grupach SL i lALT podobne oznaczenia i pomiary wykonano w punktach (0) i (2).

W grupie mALT, pomiędzy (0) a (1) nastąpiło obniżenie PV, któremu towarzyszył istotny przyrost [Hb]. Odwrotne zmiany wartości tych wskaźników obserwowano w (2) i (3), tj. po przeniesieniu treningu nad poziom morza. Pomędzy (0) a (1) stężenia EPO wzrosło (nieistotnie) o 14%, ale następnie obniżyło się poniżej wartości wyjściowej. Nie zaobserwowano istotnych zmian (Δ) w wartościach tHb-mass, choć wykazywały one tendencję wzrostową ($p = 0,081$), która utrzymywała się do ostatniego pomiaru (3). W grupie SL,

między (0) a (2) zaobserwowano istotne obniżenie [Hb], któremu towarzyszył istotny przyrost PV; związany on był z 19% (nieistotnym) przyrostem EPO, natomiast tHb-mass pozostawała bez zmian. W grupie IALT nastąpił istotny przyrost [Hb] i tHb-mass przy braku zmian w PV i EPO.

Niezależnie od różnego kierunku zmian badanych wskaźników, we wszystkich trzech grupach zawodników stwierdzono silne i bardzo silne, dodatnie korelacje pomiędzy Δ EPO i Δ PV ($r =$ od 0,643 do 0,769; r [połączone wyniki] = 0.783, $p < 0,001$) oraz ujemne pomiędzy Δ EPO i Δ [Hb] ($r =$ od -0,671 do -0,804; r [połączone wyniki] = -0,704, $p < 0,001$). Podobne korelacje stwierdzono we wszystkich punktach czasowych w grupie mALT, w której trzykrotnie porównano zmiany względem wartości wyjściowych (Δ EPO/ Δ PV: $r =$ od 0,608 do 0,769; Δ EPO/ Δ [Hb]: $r =$ od -0,559 do -0,804). Potwierdziło to przyjętą hipotezę badawczą, zakładającą, że w warunkach fizjologicznych zmiany EPO są dodatnio skorelowane ze zmianami w PV i ujemnie ze zmianami w [Hb]. Jednocześnie, podobnie jak inni autorzy, w większości porównań stwierdziliśmy co najwyżej słabe korelacje pomiędzy Δ EPO i Δ tHb-mass (Clark i in., 2009; Friedmann i in., 2005; Garvican i in., 2012) i bardzo silne, ujemne pomiędzy Δ [Hb] and Δ PV (Siga i in., 2014).

Przy interpretacji uzyskanych wyników rozważano możliwość działania mechanizmu ujemnego sprzężenia zwrotnego pomiędzy wydzielaniem EPO a zawartością tlenu we krwi tętniczej ($CaO_2 = [Hb \times 1.34 \times SaO_2] + [0.0031 \times PaO_2]$) (Savourey i in., 2004), która wraz z przepływem krwi ma decydujące znaczenia dla dostarczaniu tlenu do mięśni (Gonzalez-Alonso i in., 2001). W warunkach niedotlenienia dochodzi do obniżenia CaO_2 głównie z powodu obniżenia wysycenia krwi tętniczej tlenem (SaO_2). Warto dodać, że chociaż zwiększona wentylacja płuc przyczynia się tu do zwiększenia SaO_2 i tym samym CaO_2 (Sawka i in., 2000; Wachsmuth i in., 2013), to jednak przywracanie wartości CaO_2 odbywa się również przy udziale przyrostu [Hb]. Początkowo odbywa się to za sprawą zmniejszenia PV (Hannon i in., 1969), a dopiero potem poprzez przyspieszenie tempa erytropoezy. Ujemne korelacje pomiędzy Δ [Hb] i Δ EPO oraz dodatnie pomiędzy Δ PV and Δ EPO mogłyby, przynajmniej częściowo, wytłumaczyć dlaczego EPO po początkowym przyroście, osiągającym maksimum zwykle po około 2 dniach pobytu w górach (Garvican i in., 2012; Heinicke i in., 2003), obniża się mimo dalszej ekspozycji na niedotlenienie (hamowanie sekrecji EPO może być wynikiem obniżenia PV, które powoduje przyrost [Hb]).

Obniżenie CaO_2 może również występować u osób wykonujących trening wytrzymałościowy, u których dochodzi do zwiększenia PV, co prowadzi do zmniejszenia [Hb]. Zmniejszenie [Hb] mogłoby powodować redukcję ciśnienia tlenu w nerkach, w wyniku

czego dochodziłoby do zwiększenia produkcji EPO (Donnelly, 2003). Wzrost produkcji EPO mógłby jednocześnie przeciwdziałać dalszemu przyrostowi PV. Za taką interpretacją uzyskanych wyników przemawiają dodatnie korelacje pomiędzy ΔPV a ΔEPO i ujemne pomiędzy $\Delta[Hb]$ a ΔEPO .

Głównym wnioskiem tych badań jest, że EPO może nie tylko regulować $[Hb]$ poprzez regulację erytropoezy (opóźniony efekt) lecz także za sprawą modulacji PV (szybki efekt), co prawdopodobnie ma na celu zachowanie właściwego poziomu CaO_2 , warunkującej odpowiednie dostarczanie tlenu do tkanek.

Publikacja 2

Sitkowski D, Szygula Z, Surała O, Orysiak J, Zdanowicz R, Pokrywka A, Starczewski M, Malczewska-Lenczowska J. Hematological status and endurance performance predictors after low altitude training supported by normobaric hypoxia: a double-blind, placebo controlled study. *Biol Sport*. 2019 Dec;36(4):341-349. doi: 10.5114/biolSport.2019.88760. Epub 2019 Oct 31. PMID: 31938005; PMCID: PMC6945048.

Dostęp do pełnego tekstu publikacji:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6945048/pdf/JBS-36-88760.pdf>

Chociaż korzyści z treningu wysokościowego nie są do końca potwierdzone, szczególnie u wysokiej klasy zawodników (Lundby i Robach, 2016), to jednak tego rodzaju trening jest szeroko stosowany w kolarstwie szosowym, jak i w innych dyscyplinach wytrzymałościowych. Wśród różnych modeli treningu wysokościowego, szczególną popularnością cieszy się model LHTL – żyj wysoko (na średniej wysokości), trenuj nisko (na małej wysokości) (Stray-Gundersen i in., 2001), którego założeniem jest wywoływanie fizjologicznych adaptacji do niedotlenienia (podczas pobytu na średniej wysokości) z jednoczesnym zachowaniem możliwości realizowania treningu o dużej intensywności (na małej wysokości). Jak wiadomo, zdolności wysiłkowe ulegają zmniejszeniu wraz ze wzrostem wysokością (Wehrlin i Hallén, 2006).

Dla sprawdzenia, czy trening na małej wysokości, wspomagany pobytem w warunkach normobarycznej hipoksji symulującej średnią wysokość, może poprawić efekty treningu wytrzymałościowego, przeprowadzono badania oparte na podwójnie ślepej próbie z kontrolowanym efektem *placebo*. Na podstawie danych zebranych z piśmiennictwa naukowego sformułowano następującą hipotezę: dodatkowa ekspozycja na hipoksję

normobaryczną w spoczynku może zwiększać hematologiczne i wydolnościowe efekty treningu wytrzymałościowego, szczególnie u tych zawodników, którzy odznaczają się stosunkowo niskimi wartościami wyjściowymi tHb-mass i wskaźników zdolności do wysiłków wytrzymałościowych.

W badaniach uczestniczyły 22 zawodniczki kadry narodowej w kolarstwie szosowym lub/i torowym (uprawiające konkurencje wytrzymałościowe), które w trzech grupach realizowały ujednolicony plan trening. Międzygrupowe różnice w objętości treningu i jego intensywności nie były istotne i odpowiednio wynosiły: $p = 0,824$ i $p = 0,771-0,919$). W czasie 3-tyg. zgrupowania treningowego, 15 z nich trenowało na wysokościach pomiędzy 700 a 1000 m i było zakwaterowanych w pokojach hipoksyjnych na wysokość ok. 900 m, gdzie miały przebywać co najmniej 13 godz./dobę. W pokojach, które zajmowało 8 zawodniczek (grupa +NH), frakcja tlenu (FiO_2) w otaczającym powietrzu była na bieżąco regulowana przez automatyczny system hipoksyjny, tak aby symulować wysokość ok. 2200 m ($FiO_2 \times \text{ciśn. atmosferyczne} = \text{ciśn. parcjalne} \sim 122 \text{ mmHg}$), natomiast u pozostałych 7. zawodniczek (grupa placebo), wysokość 1000 m ($FiO_2 \times \text{ciśn. atmosferyczne} = \text{ciśn. parcjalne} \sim 141 \text{ mmHg}$). Niemal w tym samym czasie grupa 7. innych zawodniczek uprawiających kolarstwo, stanowiąca grupę kontrolną, uczestniczyła w zgrupowaniu treningowym, gdzie warunki pobytowe i treningowe były zbliżone do tych, jakie miały grupy +NH i placebo; tj. 900/700-1050 m. Miejsca obu zgrupowań były oddalone od siebie o ok. 300 km.

Na 2-6 dni przed zgrupowaniami oraz 13-15 dni po ich zakończeniu, wszystkie zawodniczki uczestniczyły w badaniach laboratoryjnych (na wysokości ok. 90 m), które obejmowały m.in. spoczynkowe pobrania krwi żyłnej, test o stopniowo wzrastającej mocy do odmowy na ergometrze rowerowym (GXT) oraz pomiary tHb-mass i objętości wewnątrznaczyniowych. Ustalenie drugiego terminu badań oparte było na założeniu trenerów, iż w tym czasie zawodniczki powinny uzyskać maksymalne efekty wydolnościowe zgrupowań, a także na danych z piśmiennictwa naukowego, które zgodnie pokazują, że bezpośrednio po treningu wysokościowym może nastąpić przejściowe pogorszenie zdolności wysiłkowej, a okres ok. 2 tyg. treningu na poziomie morza jest niezbędny dla uzyskania maksymalnych korzyści z treningu wysokościowego (Chapman i in., 2014; Hamlin i in., 2018; Rodriguez i in., 2015; Wachsmuth i in., 2013).

Pomiędzy dwoma przeprowadzonymi seriami badań zaobserwowano istotny przyrost całkowitej masy hemoglobiny (tHb-mass: $p = 0,008$, $p = 0,025$) oraz wyników w GXT w postaci zwiększenia mocy przy 4 mmol/l mleczanu (PLT4: $p = 0,004$, $p = 0,005$) (odpowiednio w wartościach bezwzględnych oraz przeliczonych na kg masy ciała) i mocy

końcowej (P_{max} : $p = 0,034$) (w wartościach bezwzględnych). Jednak dwuczynnikowa analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami pokazała, że przyrosty te nie były związane ze stosowaniem dodatkowej hipoksji normobarycznej (interakcje grupa x czas: $p =$ od 0,595 do 0,911). Zmiany w tHb-mass/kg ($r = -0,53$, $p = 0,012$), P_{max} ($r = -0,53$, $p = 0,01$) i PLT4 ($r = -0,65$, $p = 0,001$) były odwrotnie skorelowane z wartościami początkowymi. Ponadto zmiany w tHb-mass i PLT4 były ze sobą dodatnio skorelowane ($r = 0,50$, $p = 0,017$; $r = 0,47$, $p = 0,028$ - odpowiednio w wartościach bezwzględnych i w przeliczeniu na kg/masy ciała).

Wyniki tych badań częściowo potwierdziły przyjętą hipotezę, gdyż przyrosty w tHb-mass, PLT4 i P_{max} były rzeczywiście związane z wartościami wyjściowymi, ale dodatkowa hipoksja normobaryczna (288 ± 21 godz. w warunkach symulujących wysokość 2200 m) nie wzmocniła korzystnych efektów prowadzonego treningu. Niemniej jednak, badania te pokazały, że wysokiej klasy zawodniczki, mogą uzyskiwać korzystne efekty - zarówno hematologiczne jak i wydolnościowe, trenując nawet na małej wysokości.

Wyniki te są zbieżne z wynikami innych autorów, którzy badali hematologiczne i wydolnościowe efekty LHTL u biegaczy narciarskich (Robach i in., 2018), którzy wspólnie trenowali na wysokościach pomiędzy 500 a 1500 m, natomiast mieszkali na wysokościach 1035 lub 2207 m. Generalnie badania tych autorów pokazały, że spanie na średniej wysokości nie wywołało większej poprawy zarówno w tHb-mass jak i we wskaźnikach wydolności fizycznej, niż procedura polegająca na spaniu i trenowaniu na małej wysokości. Poza tym średnie przyrosty tHb-mass, które w obu grupach (podobnie jak w naszych badaniach) oscylowały w okolicy 3%, utrzymywały się jeszcze do 18-20 dnia po zgrupowaniu. Istotnych różnic międzygrupowych w zmianach tHb-mass nie udało się również wykazać u triathlonistów, którzy trenowali na wysokościach poniżej 1200 m, a spali w warunkach hipoksji hipobarycznej lub normobarycznej odpowiadającej wysokości 2250 lub 1200 m (Hauser i in., 2016).

Najważniejszym wnioskiem z omówionych wyników badań, które były wykonywane z wykorzystaniem metodologii podwójnie ślepej próby z kontrolowanym efektem *placebo*, jest to, że 3-tyg. trening na małej wysokości, a następnie 2-tyg. trening około poziomu morza, może poprawić stan hematologiczny zawodniczek uprawiających kolarstwo, co może przełożyć się na poprawę zdolności do długotrwałych wysiłków fizycznych. Jednak zmiany w tHb-mass, PLT4 i P_{max} są związane z wyjściowymi wartościami tych wskaźników.

Publikacja 3

Sitkowski D, Cisoń T, Szygula Z, Surała O, Starczewski M, Sadowska D, Malczewska-Lenczowska J. Hematological Adaptations to Post-Exercise Sauna Bathing With No Fluid Intake: A Randomized Cross-Over Study. *Res Q Exerc Sport*. 2022 Dec;93(4):795-803. doi: 10.1080/02701367.2021.1921684. Epub 2021 Nov 2. PMID: 34727008.

Dostęp do pełnego tekstu publikacji:

<https://www.tandfonline.com/eprint/CECNXKPPXGBTH4YKWSM8/full?target=10.1080/02701367.2021.1921684>

Z danych z piśmiennictwa wynika, że oprócz korzyści zdrowotnych sauny (Hannuksela i Ellahham, 2001), systematyczne jej stosowanie po treningu wytrzymałościowym może wzmacniać jego efekty hematologiczne i wydolnościowe (Scoon i in., 2007). Wydaje się, że efekty hematologiczne mogą być jeszcze bardziej nasilone poprzez umiarkowane odwodnienie organizmu (Garrett i in., 2014), co jednak nie zostało dotąd potwierdzone. Dlatego przeprowadzono randomizowane badanie w układzie naprzemiennym (ang. *cross-over study*), z udziałem 13 aktywnych fizycznie, młodych mężczyzn, w którym weryfikowano hipotezę zakładającą, że potreningowy pobyt w saunie w warunkach umiarkowanego odwodnienia może zwiększyć adaptacje hematologiczne do wysiłku, wyrażone przez przyrost tHb-mass i objętości wewnątrznaczyniowych, co może się przełożyć na poprawę efektywności treningu wytrzymałościowego.

W czasie dwóch, 4-tyg. okresów interwencji, oddzielonych 10-tyg. okresem wypłukania (mającym na celu zanik efektów poprzedniej interwencji), 3 razy w tygodniu, w grupach 3-7 osobowych, badani wykonywali 60-min, kontrolowany trening (temperatura 22-23°C; wilgotność względna 30-33%) na ergometrze rowerowym. W jednym z okresów interwencji, niemal bezpośrednio po każdym treningu, część badanych, którzy na początku eksperymentu zostali losowo podzieleni na grupy, udawała się do sauny, w której spędzała kolejne 30 minut. Kąpiel w saunie składała się z dwóch, 15-min pobyków, oddzielonych 3-min prysznicem o temperaturze ok. 16-18°C. Średnia temperatura powietrza w saunie, mierzona na poziomie głowy i mostka, wynosiła odpowiednio $105 \pm 7^{\circ}\text{C}$ i $89 \pm 3^{\circ}\text{C}$, przy względnej wilgotności powietrza wynoszącej $10 \pm 2\%$. Zarówno w czasie treningu, jak i w czasie pobytu w saunie, badani całkowicie powstrzymywali się od przyjmowania płynów, natomiast po zakończeniu sesji mogli je spożywać w dowolnej ilości. Przed, a także po każdym treningu i pobycie w saunie mierzona była masa ciała badanych. Ponadto w ostatniej minucie pierwszego,

szóstego i dwunastego treningu na ergometrze rowerowym, za pomocą pulsoksymetru mierzono u nich częstość skurczów serca (HR) i wysycenie krwi obwodowej tlenem (SpO₂), a także przy użyciu skali Borga rejestrowano, jak postrzegają wysiłek (RPE₆₋₂₀). W tych samych dniach (tj. 1, 6 i 12), u osób przebywających w saunie, za pomocą odwróconej skali Bedforda (ThC₇₋₁) zbierano informacje nt. postrzegania komfortu termicznego.

Przed i po każdym z okresów interwencji u badanych wykonywano pobrania krwi żyłnej oraz dwukrotne pomiary tHb-mass i objętości wewnątrznaczyniowych, a także przeprowadzano wysiłkowy test o stopniowo wzrastającej mocy do odmowy na ergometrze rowerowym (GXT). Wyznaczanie P_{max} w GXT w badaniach przed interwencjami służyło również do określenia intensywności prowadzonego treningu, która wynosiła 50% i 60% P_{max}, odpowiednio w pierwszych dwóch i ostatnich dwóch tygodniach treningu. W badaniach tych zastosowano pojedyncze zaślepienie, polegające na tym, że badacze, którzy przeprowadzali pomiary i testy, do samego końca doświadczalnej części eksperymentu, nie byli świadomi przydziału uczestników do poszczególnych grup treningowych.

Średnia zmiana masy ciała (BM) po treningu na ergometrze rowerowym (ET) wynosiła: $-1.10 \pm 0.31\%$ (-0.85 ± 0.25 kg), natomiast skumulowana zmiana BM po treningu zakończonym sauną (ET+S): $-2.06 \pm 0.59\%$ (-1.60 ± 0.48 kg), z czego $-1.14 \pm 0.39\%$ (-0.89 ± 0.31 kg) - trening oraz $-0.92 \pm 0.30\%$ (-0.71 ± 0.24 kg) - sauna. Treningowe wartości HR, SpO₂ i RPE₆₋₂₀ nie różniły się pomiędzy interwencjami, ale ich wartości ulegały stopniowemu obniżeniu w kolejnych pomiarach (dwuczynnikowa ANOVA z powt. pomiarami, efekt główny – czas, we wszystkich przypadkach $p < 0,001$) - HR ET: 169 ± 5 , 165 ± 6 , 159 ± 6 sk/min, HR ET przed sauną: 166 ± 5 , 163 ± 6 , 158 ± 5 sk/min. SpO₂ ET: $94,2 \pm 1,3$; $95,5 \pm 0,9$; $96,2 \pm 0,6\%$, SpO₂ ET przed sauną: $94,6 \pm 1,1$; $95,5 \pm 0,8$; $96,5 \pm 0,5\%$. RPE₆₋₂₀ ET: $14,5 \pm 0,7$; $13,6 \pm 0,7$; $13,0 \pm 0,4$ pkt., RPE₆₋₂₀ ET przed sauną: $14,1 \pm 0,5$; $13,2 \pm 0,6$; $12,8 \pm 0,6$ pkt. W podobny sposób obniżały się wartości ThC₇₋₁ (jednoczynnikowa ANOVA z powt. pomiarami, $p < 0,001$) - ThC₇₋₁: $6,2 \pm 0,6$; $5,4 \pm 0,5$; $4,5 \pm 0,5$ pkt.

Spośród mierzonych wskaźników istotny efekt główny – czas (dwuczynnikowa ANOVA z powt. pomiarami), stwierdzono w przypadku takich zmiennych jak: tHb-mass (g), $p = 0,014$ (ET +1,6%; ET+S +1,4%); ferrytyna (ng/ml), $p = 0,027$ (ET -5,9%; ET+S -17,7%); P_{max} (W), $p < 0,001$ (ET +9,2%, ET+S +5,7%); P_{max} (W/kg), $p < 0,001$ (ET +8,9%, ET+S +5,1%); VO_{2peak} (l/min), $p = 0,002$ (ET +3,7%, ET+S +6,0%); VO_{2peak} (ml/kg/min), $p = 0,010$, (ET +3,4%, ET+S +5,5%); moc przy progu wymiany gazowej - P_{GET} (W), $p < 0,001$ (ET +10,2%, ET+S +12,5%); P_{GET} (W/kg), $p < 0,001$ (ET +9,8%, ET+S +10,7%). Jednak w żadnym z tych przypadków ani efekt interwencji, ani efekt interakcji (interwencja x czas)

nie były istotne. Jednocześnie, w żadnej z badanych zmiennych nie wykryto występowania efektu przeniesienia, czyli wpływu poprzedniej interwencji na wyniki w następnej (analiza kowariancji – ANCOVA). Poza tym w obu okresach interwencji stwierdzono dodatnie korelacje pomiędzy ΔPV a ΔEPO : ET $r = 0,578$, $p = 0,039$; ET+S $r = 0,730$, $p = 0,005$.

Głównym wnioskiem wynikającym z niniejszego badania było to, że 4-tyg. okres stosowania potreningowej sauny z umiarkowanym odwodnieniem organizmu, nie nasilił zmian w tHb-mass i wskaźnikach wydolności fizycznej ponad te, jakie notowano po samym treningu. Tym samym przyjęta hipoteza badawcza nie została potwierdzona.

Wyniki te są rozbieżne z wynikami innych autorów, którzy w początkowym okresie badań nad tym zagadnieniem wskazywali na szkodliwy wpływ powysiłkowej sauny na zdolność do wysiłków wytrzymałościowych u wioślarzy (Creasy i in., 2003), ale w kolejnych wykazywali hematologiczne i wydolnościowe korzyści z jej stosowania u triathlonistów (Scoon i in., 2007). Jedną z przyczyn tych rozbieżności, może być wpływ pozycji ciała podczas wysiłku na powysiłkową hiperwolemię. Wykazywano (Nagashima i in., 1999; Ray i in., 1990), że trening wykonywany w pozycji pionowej prowadzi do aktywacji RAAS i zwiększenia PV i RCV, natomiast po treningu w pozycji poziomej następuje hamowanie tego układu, co skutkuje brakiem zmian w PV i RCV. Można przypuszczać, że trening biegowy wykonywany przez triathlonistów (pionowa pozycja ciała), mógł być związany z większymi, niż w czasie treningu na rowerze (gdzie tułów jest pochylony), utrudnieniami w powrocie żylnym i w utrzymaniu ośrodkowego ciśnienia żylnego, co mogło nasilać aktywację RAAS (Nagashima i in., 1999) i jednocześnie blokować wzrost przedsionkowego peptydu natriuretycznego (Yoshiga i in., 2019), który hamuje RAAS. Biorąc pod uwagę powyższą argumentację, wyższy początkowy poziom hormonów regulujących objętość krwi i erytropoezę (Montero i Lundby, 2018) mógł sprzyjać u triathlonistów wzrostowi wyżej wymienionych wskaźników objętości wewnątrznaczyniowych.

Pobyt w wysokiej temperaturze otoczenia w warunkach odwodnienia organizmu może prowadzić do nadmiernego zwiększenia Hct i lepkości krwi, a hamowanie wydzielania EPO mogłoby przeciwdziałać tym niekorzystnym zmianom (Kilbridge i in., 1969). W odróżnieniu od ET, po którym zmiany w EPO wyniosły średnio +11,5%, po ET+S zaobserwowano obniżenie EPO o 8,9%, aczkolwiek ze względu na stosunkowo duże dyspersje, różnice między grupami nie były istotne. Warto dodać, że triathloniści, u których obserwowano korzystne efekty kąpieli w saunie po wysiłku fizycznym, w czasie pojedynczej sesji mieli możliwość dowolnego uzupełniania płynów i przyjmowali średnio 990 ± 210 ml wody (Scoon i in., 2007). Poza tym zmiany stanu hematologicznego, po pobycie w wysokiej temperaturze w warunkach

umiarkowanego odwodnienia organizmu, mogą zależeć od utrzymywanej wówczas aktywności fizycznej, gdyż osoby wykonujące wysiłek w temperaturze 37,5-38,5°C i wilgotności 64-66%, mimo odwodnienia, uzyskały istotny przyrost tHb-mass (Rønnestad i in., 2021).

Z omówionych powyżej wyników badań wynika aplikacyjny wniosek, który wskazuje, że korzystanie z sauny po wysiłku fizycznym, przynajmniej w zastosowanym przez nas modelu, nie zapewnia dodatkowych korzyści hematologicznych i wydolnościowych ponad te, jakie uzyskiwane są przez sam trening wytrzymałościowy. Należy dodać, że potencjalny wpływ pozycji ciała w czasie treningu poprzedzającego saunę oraz wpływ stanu nawodnienia na wywoływane przez nią efekty hematologiczne wymagają dalszych badań.

Publikacja 4

Sitkowski D, Klusiewicz A, Pokrywka A, Jankowski W, Malczewska-Lenczowska J.

Relationships between Changes in Hematological Adaptations and Exercise Capacity in Olympic Rowers after a Period of Reduced Training Loads. *J Hum Kinet.* 2023

Jan 20;86:155-164. doi: 10.5114/jhk/159463. PMID: 37181268; PMCID: PMC10170542.

Dostęp do pełnego tekstu publikacji:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10170542/pdf/JHK-86-159463.pdf>

Maksymalny pobór tlenu i zdolność do wysiłków wytrzymałościowych w znacznym stopniu zależą od efektywnego dostarczania tlenu (DO₂) do pracujących mięśni (Bassett i Howley, 2000), stąd VO₂max oraz średnia moc w maksymalnych wysiłkach wytrzymałościowych oraz moc przy progu mleczanowym bardzo silnie, dodatnio korelują z tHb-mass (Schmidt i Prommer, 2010; Treff, Schmidt, Wachsmuth, Volzke i in., 2014b). U wysokiej klasy zawodników dyscyplin wytrzymałościowych, w ciągu rocznego cyklu roku treningowego obserwuje się wyraźną zmienność sezonową wyników w testach wysiłkowych (Mikulic, 2012; Sassi i in., 2008). Jednocześnie tHb-mass pozostaje wtedy względnie stabilna. Ponieważ DO₂ jest iloczynem pomiędzy zawartością tlenu we krwi tętniczej (CaO₂), a pojemnością minutową serca (CO), zmiany w zdolności wysiłkowej po okresie zmniejszenia obciążeń treningowych mogłyby być także efektem zmian w PV i BV (Gledhill i in., 1999). Jednak brak jest dowodów, które potwierdziłyby bezpośredni związek pomiędzy tymi zmiennymi fizjologicznymi (Eastwood i in., 2012).

Dlatego sformułowano hipotezę badawczą zakładającą, że u wysokiej klasy wioślarzy po okresie redukcji obciążeń treningowych, wynikającej z realizowanego przez nich planu treningowego, zmiany mocy maksymalnej i submaksymalnej (tj. odpowiadającej progowi

mleczanowemu) w GXT są bezpośrednio związane ze zmianami objętości wewnątrznaczyniowych.

Dla weryfikacji tej hipotezy przeprowadzono badania z udziałem dziesięciu światowej klasy wioślarzy (wchodzących w skład jednej osady - męska ósemka i dwóch zmienników), którzy realizowali ten sam program treningowy. W dwóch terminach rocznego cyklu treningowego, reprezentujących zgodnie z założeniami planu treningowego szczytową formę zawodników (okres przed MŚ) i najniższy jej poziom (okres przygotowawczy - podokres przygotowania wszechstronnego - 34% redukcja objętości treningu względem okresu startowego) zawodnicy zostali poddani serii badań, w skład których wchodziły m.in.: GXT do odmowy na ergometrze wioślarskim oraz pomiary tHb-mass i objętości wewnątrznaczyniowych. Próg mleczanowy w GXT wyznaczany był zmodyfikowaną metodą Dmax (DmaxM) i metodą OBLA przy stężeniu mleczanu = 4,0 mmol/l (LT4) (Jamnick i in., 2018).

Pomiędzy seriami badań stwierdzono obniżenie maksymalnych wartości w GXT, takich wskaźników jak: Pmax/kg BM ($p = 0,028$), stężenie mleczanu ($p = 0,005$) i częstość skurczów serca ($p = 0,017$). W tym samym czasie doszło do zmniejszenia bezwzględnych ($p = 0,017$) i względnych ($p = 0,005$) wartości PV. Zmiany w PV ($rS = 0,842$; $p = 0,002$) i BV ($rS = 0,818$; $p = 0,004$), ale nie w tHb-mass ($rS = 0,588$; $p = 0,074$) i [Hb] ($rS = -0,188$; $p = 0,602$), były dodatnio i bardzo silnie skorelowane ze zmianami maksymalnej mocy w GXT. Zmiany mocy przy progu mleczanowym (PLT4 i PDmaxM) nie były istotnie skorelowane ze zmianami w PV, BV, tHb-mass i [Hb].

Uzyskane wyniki tylko częściowo potwierdziły przyjętą hipotezę badawczą, gdyż po okresie redukcji obciążeń treningowych, zmiany mocy maksymalnej (ale nie progowej) w GXT były związane ze zmianami objętości wewnątrznaczyniowych (PV i BV).

Średnie wartości PV były związane z obciążeniem treningowym; tzn. były wyższe w okresie startowym (lato) i niższe w okresie przygotowawczym (zima). Jest to zbieżne z wynikami innych autorów, którzy wykazywali dodatnią zależność pomiędzy obciążeniami treningowymi a PV (Astolfi i in., 2021; Sawka i in., 2000). Jednak należy uwzględnić, że część tych zmian mogła być również efektem oddziaływania czynników środowiskowych, np. temperatury otoczenia, związanych z porami roku (Astolfi i in., 2021; Vogelaere i in., 1990).

W innych badaniach (Coyle i in., 1986) stwierdzono, że 2-4 tygodniowy okres braku aktywności fizycznej u wcześniej trenujących wytrzymałościowo mężczyzn skutkowało obniżeniem BV (średnio o 9%), któremu towarzyszyło, średnio o 6%, obniżenie VO₂max. Jednak kiedy BV została przywrócona do poziomu wyjściowego poprzez infuzję dekstranu,

wartości tych wskaźników osiągnęły niemal wyjściowy poziom. Również inni autorzy (Bonne i in., 2014; Montero i in., 2015), choć nie wszyscy (Skattebo i in., 2020) wykazywali, że eliminacja adaptacji hematologicznych, poprzez pobranie krwi, wywołanych treningiem wytrzymałościowym u osób, które nie były sportowcami, była związana z utratą potreningowych przyrostów szczytowych wartości poboru tlenu i mocy w GXT. U olimpijskich wioślarzy, którzy uczestniczyli w omawianej serii badań wykazano bardzo silne, dodatnie korelacje pomiędzy ΔP_{max} a ΔPV i ΔBV po okresie zmniejszenia obciążeń treningowych. Potwierdza to silny związek pomiędzy adaptacjami hematologicznymi a maksymalnymi zdolnościami wysiłkowymi u wysokiej klasy sportowców uprawiających dyscypliny wytrzymałościowe. Jednak należy zaznaczyć, że w odróżnieniu od osób nietreningowych indukowany wzrost objętości osocza u sportowców, którzy już posiadają dużą BV, nie poprawia ich zdolności wytrzymałościowych i VO_{2max} (Warburton i in., 1999).

W podsumowaniu można stwierdzić, że po okresie zmniejszenia obciążeń treningowych u światowej klasy wioślarzy, zmiany w P_{max} były silnie skorelowane ze zmianami w PV i BV, ale nie ze zmianami w tHb-mass i [Hb]. Podkreśla to bezpośredni związek pomiędzy zmianami objętości wewnątrznaczyniowych a zdolnością wysiłkową u wysokiej klasy zawodników z dyscyplin wytrzymałościowych.

4.2.3. Podsumowanie i wnioski

Prace, które zostały wykazane jako moje główne osiągnięcie naukowe, skupiały się na efektach hematologicznych treningu wytrzymałościowego, wykonywanego z wykorzystaniem niedotlenienia i wysokiej temperatury otoczenia, a także na badaniu wzajemnych powiązań pomiędzy zmianami wartości wskaźników hematologicznych, zdolności wysiłkowej i stężenia erytropoetyny. Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięte zostały następujące wnioski:

1. EPO może nie tylko regulować [Hb] poprzez wpływ na tempo erytropoezy (opóźniony efekt) lecz także za sprawą modulacji PV (szybki efekt).
2. Trening na małej wysokości, po którym następuje trening na poziomie morza, jest w stanie poprawić stan hematologiczny, co może przełożyć się na poprawę zdolności do długotrwałych wysiłków fizycznych.

3. Korzystanie z powysiłkowej sauny w warunkach umiarkowanego odwodnienia organizmu nie wzmacnia efektów hematologicznych i wydolnościowych treningu wytrzymałościowego.
4. Istnieje bezpośredni związek pomiędzy zmianami objętości wewnątrznaczyniowych (PV i BV) a zmianami maksymalnej zdolności wysiłkowej po okresie zmniejszenia obciążeń treningowych.

Warte podkreślenia jest to, że dzięki zastosowaniu zmodyfikowanej metody oddychania zwrotnego tlenkiem węgla (która przy moim udziale została sprowadzona do Polski i wdrożona do procedur badawczych Instytutu Sportu - PIB), byłem w stanie bardziej obiektywnie, niż wcześniej to było możliwe, oceniać efekty hematologiczne treningu u wysokiej klasy polskich sportowców. Ponadto w swoich poszukiwaniach badawczych zastosowałem m.in. podwójnie ślełą próbę z kontrolowanym efektem *placebo*, a także randomizowane badania w układzie naprzemiennym (przy dodatkowym zastosowaniu pojedynczego zaślepienia, tj. osoby przeprowadzające pomiary nie posiadały wiedzy nt. alokacji badanych), co jeszcze bardziej zwiększyło wartość uzyskanych przeze mnie wyników. Tym samym cykl przeprowadzonych przeze mnie badań przyczynił się do poszerzenia wiedzy na temat hematologicznych adaptacji do treningu wytrzymałościowego i wniósł istotny wkład w rozwój nauk o kulturze fizycznej w zakresie fizjologii sportu, a jako że większość z tych badań przeprowadziłem przy udziale wysokiej klasy sportowców (którzy stosunkowo rzadko uczestniczą w tego typu badaniach), uzyskane przeze mnie wyniki dają możliwość bezpośredniego zastosowania ich w sporcie wyczynowym.

Piśmiennictwo

- Adamson, J. W. (1968). The erythropoietin-hematocrit relationship in normal and polycythemic man: implications of marrow regulation. *Blood*, 32(4), 597–609.
- Astolfi, T., Crettaz von Roten, F., Kayser, B., Saugy, M. i Faiss, R. (2021). The Influence of Training Load on Hematological Athlete Biological Passport Variables in Elite Cyclists. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 618285. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.618285>
- Baggish, A. L., Wang, F., Weiner, R. B., Elinoff, J. M., Tournoux, F., Boland, A., Picard, M. H., Hutter, A. M. J. i Wood, M. J. (2008). Training-specific changes in cardiac structure and function: a prospective and longitudinal assessment of competitive athletes. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 104(4), 1121–1128. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01170.2007>
- Barcroft, J., Binger, C. A., Bock, A. V., Daggart, J. H., Forbes, H. S., Harrop, G., Meakins, J. C. i Redfield, A. C. (1923). Observations upon the effect of high altitude on the physiological processes of the human body, carried out in the Peruvian Andes, chiefly at Cerro de Pasco. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 211, 51–480.
- Bärtsch, P. i Saltin, B. (2008). General introduction to altitude adaptation and mountain sickness. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18 Suppl 1, 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00827.x>
- Bassett, D. R. J. i Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Bejder, J. i Nordsborg, N. B. (2018). Specificity of „Live High-Train Low” Altitude Training on Exercise Performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 46(2), 129–136. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000144>
- Bert, P. (1882). Sur la richesse en hemoglobine du sang des animaux vivant sur les haut lieux. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 94, 805–807.
- Bishop, D. (2008). An applied research model for the sport sciences. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(3), 253–263. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838030-00005>
- Bonetti, D. L. i Hopkins, W. G. (2009). Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: a meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(2), 107–127. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00002>
- Bonne, T. C., Doucende, G., Fluck, D., Jacobs, R. A., Nordsborg, N. B., Robach, P., Walther, G. i Lundby, C. (2014). Phlebotomy eliminates the maximal cardiac output response to six weeks of exercise training. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 306(10), R752-60. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00028.2014>
- Chapman, C. L., Johnson, B. D., Parker, M. D., Hostler, D., Pryor, R. R. i Schlader, Z. (2021). Kidney physiology and pathophysiology during heat stress and the modification by exercise, dehydration, heat acclimation and aging. *Temperature (Austin, Tex.)*, 8(2), 108–159. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1826841>
- Chapman, R. F., Laymon Stickford, A. S., Lundby, C. i Levine, B. D. (2014). Timing of return from altitude training for optimal sea level performance. *Journal of Applied*

- Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 116(7), 837–843.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00663.2013>
- Clark, S. A., Aughey, R. J., Gore, C. J., Hahn, A. G., Townsend, N. E., Kinsman, T. A., Chow, C.-M., McKenna, M. J. i Hawley, J. A. (2004). Effects of live high, train low hypoxic exposure on lactate metabolism in trained humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 96(2), 517–525.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00799.2003>
- Clark, S. A., Quod, M. J., Clark, M. A., Martin, D. T., Saunders, P. U. i Gore, C. J. (2009). Time course of haemoglobin mass during 21 days live high:train low simulated altitude. *European Journal of Applied Physiology*, 106(3), 399–406.
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1027-4>
- Convertino, V. A. (1991). Blood volume: its adaptation to endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(12), 1338–1348.
- Convertino, V. A., Greenleaf, J. E. i Bernauer, E. M. (1980). Role of thermal and exercise factors in the mechanism of hypervolemia. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 48(4), 657–664.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1980.48.4.657>
- Cotes, P. (1989). Physiological studies of erythropoietin in plasma. W W. Jelkmann i A. J. Gross (Red.), *Erythropoietin* (ss. 57–79). Springer-Verlag.
- Coyle, E. F., Hemmert, M. K. i Coggan, A. R. (1986). Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: role of blood volume. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 60(1), 95–99. <https://doi.org/10.1152/jappl.1986.60.1.95>
- Creasy, R., Hopkins, W., Scoon, G., Mayhew, S. i Cotter, J. (2003). Effects of post-exercise sauna bathing on 2000-m rowing performance and blood volumes. *Med Sci Sports Exerc*, 35(5), S35.
- Czuba, M., Fidos-Czuba, O., Płoszczyca, K., Zając, A. i Langfort, J. (2018). Comparison of the effect of intermittent hypoxic training vs. the live high, train low strategy on aerobic capacity and sports performance in cyclists in normoxia. *Biology of Sport*, 35(1), 39–48.
<https://doi.org/10.5114/biol sport.2018.70750>
- Daanen, H. A. M., Racinais, S. i Périard, J. D. (2018). Heat Acclimation Decay and Re-Induction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(2), 409–430. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0808-x>
- Degens, H., Stasiulis, A., Skurvydas, A., Statkeviciene, B. i Venckunas, T. (2019). Physiological comparison between non-athletes, endurance, power and team athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 119(6), 1377–1386.
<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04128-3>
- Donnelly, S. (2003). Why is erythropoietin made in the kidney? The kidney functions as a „critmeter” to regulate the hematocrit. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 543, 73–87. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8997-0_6
- Doupe, J., Ferguson, M. H. i Hildes, J. A. (1957). Seasonal fluctuations in blood volume. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 35(3), 203–213.
- Eastwood, A., Bourdon, P. C., Snowden, K. R. i Gore, C. J. (2012). Detraining decreases Hb(mass) of triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 33(4), 253–257.

<https://doi.org/10.1055/s-0031-1291184>

- Eastwood, A., Hopkins, W. G., Bourdon, P. C., Withers, R. T. i Gore, C. J. (2008). Stability of hemoglobin mass over 100 days in active men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 104(4), 982–985.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00719.2007>
- Eastwood, A., Sharpe, K., Bourdon, P. C., Woolford, S. M., Saunders, P. U., Robertson, E. Y., Clark, S. A. i Gore, C. J. (2012). Within-subject variation in hemoglobin mass in elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(4), 725–732.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318238ea7f>
- Egan, B. i Zierath, J. R. (2013). Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metabolism*, 17(2), 162–184.
<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>
- Ehmke, H., Just, A., Eckardt, K. U., Persson, P. B., Bauer, C. i Kirchheim, H. R. (1995). Modulation of erythropoietin formation by changes in blood volume in conscious dogs. *The Journal of Physiology*, 488 (Pt 1(Pt 1), 181–191.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1995.sp020956>
- Ekblom, B. T. (2000). Blood boosting and sport. *Bailliere's Best Practice i Research. Clinical Endocrinology i Metabolism*, 14(1), 89–98. <https://doi.org/10.1053/beem.2000.0056>
- El-Sayed, M. S., Ali, N. i El-Sayed Ali, Z. (2005). Haemorheology in exercise and training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(8), 649–670. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535080-00001>
- Fassy, J., Tsalkitzi, K., Salavagione, E., Hamouda-Tekaya, N. i Braud, V. M. (2017). A real-time digital bio-imaging system to quantify cellular cytotoxicity as an alternative to the standard chromium-51 release assay. *Immunology*, 150(4), 489–494.
<https://doi.org/10.1111/imm.12702>
- Fellmann, N. (1992). Hormonal and plasma volume alterations following endurance exercise. A brief review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 13(1), 37–49.
<https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00004>
- Friedmann, B., Frese, F., Menold, E., Kauper, F., Jost, J. i Bartsch, P. (2005). Individual variation in the erythropoietic response to altitude training in elite junior swimmers. *British Journal of Sports Medicine*, 39(3), 148–153.
<https://doi.org/10.1136/bjism.2003.011387>
- Garrett, A. T., Goosens, N. G., Rehrer, N. J., Patterson, M. J., Harrison, J., Sammut, I. i Cotter, J. D. (2014). Short-term heat acclimation is effective and may be enhanced rather than impaired by dehydration. *American Journal of Human Biology : The Official Journal of the Human Biology Council*, 26(3), 311–320.
<https://doi.org/10.1002/ajhb.22509>
- Garvican, L. A., Martin, D. T., McDonald, W. i Gore, C. J. (2010). Seasonal variation of haemoglobin mass in internationally competitive female road cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 221–231. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1349-2>
- Garvican, L., Martin, D., Quod, M., Stephens, B., Sassi, A. i Gore, C. (2012). Time course of the hemoglobin mass response to natural altitude training in elite endurance cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22(1), 95–103.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01145.x>

- Gifford, J. R., Garten, R. S., Nelson, A. D., Trinity, J. D., Layec, G., Witman, M. A. H., Weavil, J. C., Mangum, T., Hart, C., Etheredge, C., Jessop, J., Bledsoe, A., Morgan, D. E., Wray, D. W., Rossman, M. J. i Richardson, R. S. (2016). Symmorphosis and skeletal muscle $\dot{V}O_2$ max : in vivo and in vitro measures reveal differing constraints in the exercise-trained and untrained human. *The Journal of Physiology*, 594(6), 1741–1751. <https://doi.org/10.1113/JP271229>
- Gledhill, N., Warburton, D. i Jamnik, V. (1999). Haemoglobin, blood volume, cardiac function, and aerobic power. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquee*, 24(1), 54–65.
- Gonzalez-Alonso, J., Richardson, R. S. i Saltin, B. (2001). Exercising skeletal muscle blood flow in humans responds to reduction in arterial oxyhaemoglobin, but not to altered free oxygen. *The Journal of Physiology*, 530(Pt 2), 331–341. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.03311.x>
- Gore, C. J., Hahn, A. G., Aughey, R. J., Martin, D. T., Ashenden, M. J., Clark, S. A., Garnham, A. P., Roberts, A. D., Slater, G. J. i McKenna, M. J. (2001). Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiologica Scandinavica*, 173(3), 275–286. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2001.00906.x>
- Gore, C. J., Hopkins, W. G. i Burge, C. M. (2005). Errors of measurement for blood volume parameters: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 99(5), 1745–1758. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00505.2005>
- Gore, C. J., Sharpe, K., Garvican-Lewis, L. A., Saunders, P. U., Humberstone, C. E., Robertson, E. Y., Wachsmuth, N. B., Clark, S. A., McLean, B. D., Friedmann-Bette, B., Neya, M., Pottgiesser, T., Schumacher, Y. O. i Schmidt, W. F. (2013). Altitude training and haemoglobin mass from the optimised carbon monoxide rebreathing method determined by a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 47 Suppl 1 i31-9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092840>
- Gore, C. J., Clark, S. A. i Saunders, P. U. (2007). Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1600–1609. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180de49d3>
- Gough, C. E., Eastwood, A., Saunders, P. U., Anson, J. M. i Gore, C. J. (2012). Spurious Hb mass increases following exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 33(9), 691–695. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1295441>
- Gough, C. E., Sharpe, K., Garvican, L. A., Anson, J. M., Saunders, P. U. i Gore, C. J. (2013). The effects of injury and illness on haemoglobin mass. *International Journal of Sports Medicine*, 34(9), 763–769. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1333692>
- Green, D. J., Spence, A., Rowley, N., Thijssen, D. H. J. i Naylor, L. H. (2012). Vascular adaptation in athletes: is there an „athlete’s artery”? *Experimental Physiology*, 97(3), 295–304. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058826>
- Greenleaf, J. E. (1984). Physiology of fluid and electrolyte responses during inactivity: water immersion and bed rest. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(1), 20–25.
- Grehant, M. i Quinquard, E. (1882). Mesures du volume du sang contenu dans l’organisme

- d'un mammifere vivant. *C R Hebd Seances Acad Sci*, 94, 1450–1453.
- Gunga, H. C., Kirsch, K., Baartz, F., Maillet, A., Gharib, C., Nalishiti, W., Rich, I. i Röcker, L. (1996). Erythropoietin under real and simulated microgravity conditions in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 81(2), 761–773. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.2.761>
- Haase, V. H. (2013). Regulation of erythropoiesis by hypoxia-inducible factors. *Blood Reviews*, 27(1), 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.blre.2012.12.003>
- Hamlin, M. J., Lizamore, C. A. i Hopkins, W. G. (2018). The Effect of Natural or Simulated Altitude Training on High-Intensity Intermittent Running Performance in Team-Sport Athletes: A Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(2), 431–446. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0809-9>
- Hannon, J. P., Shields, J. L. i Harris, C. W. (1969). Effects of altitude acclimatization on blood composition of women. *Journal of Applied Physiology*, 26(5), 540–547. <https://doi.org/10.1152/jappl.1969.26.5.540>
- Hannuksela, M. L. i Ellahham, S. (2001). Benefits and risks of sauna bathing. *The American Journal of Medicine*, 110(2), 118–126. [https://doi.org/10.1016/s0002-9343\(00\)00671-9](https://doi.org/10.1016/s0002-9343(00)00671-9)
- Haque, K., Truman, C., Dittmer, I., Laundry, G., Denning-Kendall, P., Hows, J., Feest, T. i Bradley, B. (1997). Modified cytotoxic T lymphocyte precursor frequency assay by measuring released europium in a time resolved fluorometer. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 45(1), 37–42.
- Hauser, A., Schmitt, L., Troesch, S., Saugy, J. J., Cejuela-Anta, R., Faiss, R., Robinson, N., Wehrlin, J. P. i Millet, G. P. (2016). Similar Hemoglobin Mass Response in Hypobaric and Normobaric Hypoxia in Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(4), 734–741. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000808>
- Hauser, A., Troesch, S., Steiner, T., Brocherie, F., Girard, O., Saugy, J. J., Schmitt, L., Millet, G. P. i Wehrlin, J. P. (2018). Do male athletes with already high initial haemoglobin mass benefit from „live high-train low” altitude training? *Experimental Physiology*, 103(1), 68–76. <https://doi.org/10.1113/EP086590>
- Hawley, J. A., Hargreaves, M., Joyner, M. J. i Zierath, J. R. (2014). Integrative biology of exercise. *Cell*, 159(4), 738–749. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.10.029>
- Heathcote, S. L., Hassmen, P., Zhou, S. i Stevens, C. J. (2018). Passive Heating: Reviewing Practical Heat Acclimation Strategies for Endurance Athletes. *Frontiers in Physiology*, 9, 1851. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01851>
- Heinicke, K., Wolfarth, B., Winchenbach, P., Biermann, B., Schmid, A., Huber, G., Friedmann, B. i Schmidt, W. (2001). Blood volume and hemoglobin mass in elite athletes of different disciplines. *International Journal of Sports Medicine*, 22(7), 504–512. <https://doi.org/10.1055/s-2001-17613>
- Heinicke, K., Prommer, N., Cajigal, J., Viola, T., Behn, C. i Schmidt, W. (2003). Long-term exposure to intermittent hypoxia results in increased hemoglobin mass, reduced plasma volume, and elevated erythropoietin plasma levels in man. *European Journal of Applied Physiology*, 88(6), 535–543. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0732-z>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M. i Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and*

- Exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hu, M. i Lin, W. (2012). Effects of exercise training on red blood cell production: implications for anemia. *Acta Haematologica*, 127(3), 156–164. <https://doi.org/10.1159/000335620>
- Jakubiak, A. A., Konopka, M., Bursa, D., Król, W., Anioł-Strzyżewska, K., Burkhard-Jagodzińska, K., Sitkowski, D., Kuch, M. i Braksator, W. (2021). Benefits and limitations of electrocardiographic and echocardiographic screening in top level endurance athletes. *Biology of Sport*, 38(1), 71–79. <https://doi.org/10.5114/biolport.2020.97670>
- Jamnick, N. A., Botella, J., Pyne, D. B. i Bishop, D. J. (2018). Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and [Formula: see text]. *PLoS One*, 13(7), e0199794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199794>
- Jelkmann, Wolfgang. (2013). Physiology and pharmacology of erythropoietin. *Transfusion Medicine and Hemotherapy: Offizielles Organ Der Deutschen Gesellschaft Fur Transfusionsmedizin Und Immunhamatologie*, 40(5), 302–309. <https://doi.org/10.1159/000356193>
- Jelkmann, Wolfgang i Lundby, C. (2011). Blood doping and its detection. *Blood*, 118(9), 2395–2404. <https://doi.org/10.1182/blood-2011-02-303271>
- Jeukendrup, A. E. (2017). Periodized Nutrition for Athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(Suppl 1), 51–63. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0694-2>
- Jolyet, F. i Sellier, J. (1895). L'hyperglobulie dans l'asphyxie expérimentale. *Compt Rend Hebd Séanc Mémor Soc Biol (Paris)*, 47, 381–382.
- Joyner, M. J. i Casey, D. P. (2015). Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs. *Physiological Reviews*, 95(2), 549–601. <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2013>
- Kamada, T., Tokuda, S., Aozaki, S. i Otsuji, S. (1993). Higher levels of erythrocyte membrane fluidity in sprinters and long-distance runners. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 74(1), 354–358. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.1.354>
- Kettunen, O., Leppävuori, A., Mikkonen, R., Peltonen, J. E., Nummela, A., Wikström, B. i Linnamo, V. (2023). Hemoglobin mass and performance responses during 4 weeks of normobaric „live high-train low and high”. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. <https://doi.org/10.1111/sms.14378>
- Kilbridge, T. M., Fried, W. i Heller, P. (1969). The mechanism by which plethora suppresses erythropoiesis. *Blood*, 33(1), 104–113.
- Kjellberg, S. R., Rudhe, U. L. F. i Sjöstrand, T. (1949). Increase of the Amount of Hemoglobin and Blood Volume in Connection with Physical Training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 19(2-3), 146–151. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1949.tb00146.x>
- Konopka, M., Krol, W., Burkhard-Jagodzińska, K., Jakubiak, A., Klusiewicz, A., Chwalbinska, J., Pokrywka, A., Sitkowski, D., Dłużniewski, M. i Braksator, W. (2016). Echocardiographic assessment of right ventricle adaptation to endurance training in young rowers - speckle tracking echocardiography. *Biology of Sport*, 33(4), 335–343. <https://doi.org/10.5604/20831862.1216659>

- Król, W., Jędrzejewska, I., Konopka, M., Burkhard-Jagodzińska, K., Klusiewicz, A., Pokrywka, A., Chwalbińska, J., Sitkowski, D., Dłużniewski, M., Mamcarz, A. i Braksator, W. (2016). Left Atrial Enlargement in Young High-Level Endurance Athletes - Another Sign of Athlete's Heart? *Journal of Human Kinetics*, 53, 81–90.
<https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0012>
- Lorenzo, S., Halliwill, J. R., Sawka, M. N. i Minson, C. T. (2010). Heat acclimation improves exercise performance. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 109(4), 1140–1147. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00495.2010>
- Lundby, C. i Robach, P. (2016). Does „altitude training” increase exercise performance in elite athletes? *Experimental Physiology*, 101(7), 783–788.
<https://doi.org/10.1113/EP085579>
- Lundby, C., Thomsen, J. J., Boushel, R., Koskolou, M., Warberg, J., Calbet, J. A. L. i Robach, P. (2007). Erythropoietin treatment elevates haemoglobin concentration by increasing red cell volume and depressing plasma volume. *The Journal of Physiology*, 578(Pt 1), 309–314. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.122689>
- Mairbaur, H. (2013). Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Frontiers in Physiology*, 4, 332.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>
- Malczewska-Lenczowska, J., Orysiak, J., Majorczyk, E., Zdanowicz, R., Szczepanska, B., Starczewski, M., Kaczmarski, J., Dybek, T., Pokrywka, A., Ahmetov, I. I. i Sitkowski, D. (2016). Total Hemoglobin Mass, Aerobic Capacity, and HBB Gene in Polish Road Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3512–3519.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001435>
- Malczewska-Lenczowska, J., Sitkowski, D., Orysiak, J., Pokrywka, A. i Szygula, Z. (2013). Total haemoglobin mass, blood volume and morphological indices among athletes from different sport disciplines. *Archives of Medical Science : AMS*, 9(5), 780–787.
<https://doi.org/10.5114/aoms.2013.36926>
- Maloyan, A., Eli-Berchoer, L., Semenza, G. L., Gerstenblith, G., Stern, M. D. i Horowitz, M. (2005). HIF-1 α -targeted pathways are activated by heat acclimation and contribute to acclimation-ischemic cross-tolerance in the heart. *Physiological Genomics*, 23(1), 79–88.
<https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00279.2004>
- Martino, M., Gledhill, N. i Jamnik, V. (2002). High VO₂max with no history of training is primarily due to high blood volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(6), 966–971. <https://doi.org/10.1097/00005768-200206000-00010>
- Mayr, A., Kuipers, H., Falk, M., Santer, P. i Wierer, B. (2006). Comparison of hematologic data in world elite junior speed skaters and in non-athletic juniors. *International Journal of Sports Medicine*, 27(4), 283–288. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865676>
- Mikulic, P. (2012). Seasonal changes in fitness parameters in a world champion rowing crew. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 189–192.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.7.2.189>
- Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X. i Richalet, J. P. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(1), 1–25.
<https://doi.org/10.2165/11317920-000000000-00000>

- Mizuno, M., Juel, C., Bro-Rasmussen, T., Mygind, E., Schibye, B., Rasmussen, B. i Saltin, B. (1990). Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 68(2), 496–502. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.68.2.496>
- Montero, D., Breenfeldt-Andersen, A., Oberholzer, L., Haider, T., Goetze, J. P., Meinild-Lundby, A.-K. i Lundby, C. (2017). Erythropoiesis with endurance training: dynamics and mechanisms. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 312(6), R894–R902. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00012.2017>
- Montero, D., Cathomen, A., Jacobs, R. A., Fluck, D., de Leur, J., Keiser, S., Bonne, T., Kirk, N., Lundby, A.-K. i Lundby, C. (2015). Haematological rather than skeletal muscle adaptations contribute to the increase in peak oxygen uptake induced by moderate endurance training. *The Journal of Physiology*, 593(20), 4677–4688. <https://doi.org/10.1113/JP270250>
- Montero, D. i Lundby, C. (2018). Regulation of Red Blood Cell Volume with Exercise Training. *Comprehensive Physiology*, 9(1), 149–164. <https://doi.org/10.1002/cphy.c180004>
- Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balagué, G. i Farrow, D. (2018). An Integrated, Multifactorial Approach to Periodization for Optimal Performance in Individual and Team Sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 538–561. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0093>
- Mujika, I., Sharma, A. P. i Stellingwerff, T. (2019). Contemporary Periodization of Altitude Training for Elite Endurance Athletes: A Narrative Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(11), 1651–1669. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01165-y>
- Nagashima, K., Mack, G. W., Haskell, A., Nishiyasu, T. i Nadel, E. R. (1999). Mechanism for the posture-specific plasma volume increase after a single intense exercise protocol. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 86(3), 867–873. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.3.867>
- Nordsborg, N. B., Siebenmann, C., Jacobs, R. A., Rasmussen, P., Diaz, V., Robach, P. i Lundby, C. (2012). Four weeks of normobaric „live high-train low” do not alter muscular or systemic capacity for maintaining pH and K⁺ homeostasis during intense exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 112(12), 2027–2036. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01353.2011>
- Oberholzer, L., Siebenmann, C., Mikkelsen, C. J., Junge, N., Piil, J. F., Morris, N. B., Goetze, J. P., Meinild Lundby, A.-K., Nybo, L. i Lundby, C. (2019). Hematological Adaptations to Prolonged Heat Acclimation in Endurance-Trained Males. *Frontiers in Physiology*, 10, 1379. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01379>
- Périard, J. D., Racinais, S. i Sawka, M. N. (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25 Suppl 1, 20–38. <https://doi.org/10.1111/sms.12408>
- Pethick, W. A., Murray, H. J., McFadyen, P., Brodie, R., Gaul, C. A. i Stellingwerff, T. (2019). Effects of hydration status during heat acclimation on plasma volume and performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(2), 189–199. <https://doi.org/10.1111/sms.13319>

- Łoszczyca, K., Langfort, J. i Czuba, M. (2018). The Effects of Altitude Training on Erythropoietic Response and Hematological Variables in Adult Athletes: A Narrative Review. *Frontiers in Physiology*, 9, 375. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00375>
- Poh, K.-K., Ton-Nu, T.-T., Neilan, T. G., Tournoux, F. B., Picard, M. H. i Wood, M. J. (2008). Myocardial adaptation and efficiency in response to intensive physical training in elite speedskaters. *International Journal of Cardiology*, 126(3), 346–351. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2007.04.051>
- Pokrywka, A., Bujalska-Zadrożny, M. i Mamcarz, A. (Red.). (2020). *Doping w sporcie* (1. wyd.). PZWL.
- Prommer, N., Sottas, P.-E., Schoch, C., Schumacher, Y. O. i Schmidt, W. (2008). Total hemoglobin mass - a new parameter to detect blood doping? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(12), 2112–2118. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181820942>
- Prommer, N., Wachsmuth, N., Thieme, I., Wachsmuth, C., Mancera-Soto, E. M., Hohmann, A. i Schmidt, W. F. J. (2018). Influence of Endurance Training During Childhood on Total Hemoglobin Mass. *Frontiers in Physiology*, 9, 251. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00251>
- Racinais, S., Alonso, J. M., Coutts, A. J., Flouris, A. D., Girard, O., González-Alonso, J., Hausswirth, C., Jay, O., Lee, J. K. W., Mitchell, N., Nassis, G. P., Nybo, L., Pluim, B. M., Roelands, B., Sawka, M. N., Wingo, J. i Périard, J. D. (2015). Consensus recommendations on training and competing in the heat. *British Journal of Sports Medicine*, 49(18), 1164–1173. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094915>
- Rasmussen, P., Siebenmann, C., Diaz, V. i Lundby, C. (2013). Red cell volume expansion at altitude: a meta-analysis and Monte Carlo simulation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(9), 1767–1772. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829047e5>
- Ray, C. A., Cureton, K. J. i Ouzts, H. G. (1990). Postural specificity of cardiovascular adaptations to exercise training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 69(6), 2202–2208. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.6.2202>
- Rendell, R. A., Prout, J., Costello, J. T., Massey, H. C., Tipton, M. J., Young, J. S. i Corbett, J. (2017). Effects of 10 days of separate heat and hypoxic exposure on heat acclimation and temperate exercise performance. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 313(3), R191–R201. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00103.2017>
- Robach, P., Hansen, J., Pichon, A., Meinild Lundby, A.-K., Dandanell, S., Slettalokken Falch, G., Hammarstrom, D., Pesta, D. H., Siebenmann, C., Keiser, S., Kerivel, P., Whist, J. E., Ronnestad, B. R. i Lundby, C. (2018). Hypobaric live high-train low does not improve aerobic performance more than live low-train low in cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(6), 1636–1652. <https://doi.org/10.1111/sms.13075>
- Roberts, D., Smith, D. J., Donnelly, S. i Simard, S. (2000). Plasma-volume contraction and exercise-induced hypoxaemia modulate erythropoietin production in healthy humans. *Clinical Science (London, England : 1979)*, 98(1), 39–45.
- Robertson, E. Y., Aughey, R. J., Anson, J. M., Hopkins, W. G. i Pyne, D. B. (2010). Effects of simulated and real altitude exposure in elite swimmers. *Journal of Strength and*

- Conditioning Research*, 24(2), 487–493. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c06d56>
- Rodriguez, F. A., Iglesias, X., Feriche, B., Calderon-Soto, C., Chaverri, D., Wachsmuth, N. B., Schmidt, W. i Levine, B. D. (2015). Altitude Training in Elite Swimmers for Sea Level Performance (Altitude Project). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(9), 1965–1978. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000626>
- Rønnestad, B. R., Hamarstrand, H., Hansen, J., Holen, E., Montero, D., Whist, J. E. i Lundby, C. (2021). Five weeks of heat training increases haemoglobin mass in elite cyclists. *Experimental Physiology*, 106(1), 316–327. <https://doi.org/10.1113/EP088544>
- Saltin, B., Kim, C. K., Terrados, N., Larsen, H., Svedenhag, J. i Rolf, C. J. (1995). Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5(4), 222–230. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1995.tb00038.x>
- Sasaki, R., Masuda, S. i Nagao, M. (2000). Erythropoietin: multiple physiological functions and regulation of biosynthesis. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 64(9), 1775–1793. <https://doi.org/10.1271/bbb.64.1775>
- Sassi, A., Impellizzeri, F. M., Morelli, A., Menaspà, P. i Rampinini, E. (2008). Seasonal changes in aerobic fitness indices in elite cyclists. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*, 33(4), 735–742. <https://doi.org/10.1139/H08-046>
- Saunders, P. U., Ahlgrim, C., Vallance, B., Green, D. J., Robertson, E. Y., Clark, S. A., Schumacher, Y. O. i Gore, C. J. (2010). An attempt to quantify the placebo effect from a three-week simulated altitude training camp in elite race walkers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 521–534.
- Savourey, G., Launay, J.-C., Besnard, Y., Guinet, A., Bourrilhon, C., Cabane, D., Martin, S., Caravel, J.-P., Péquignot, J.-M. i Cottet-Emard, J.-M. (2004). Control of erythropoiesis after high altitude acclimatization. *European Journal of Applied Physiology*, 93(1–2), 47–56. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1159-5>
- Sawka, M. N., Convertino, V. A., Eichner, E. R., Schnieder, S. M. i Young, A. J. (2000). Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(2), 332–348.
- Schlader, Z. J., Hostler, D., Parker, M. D., Pryor, R. R., Lohr, J. W., Johnson, B. D. i Chapman, C. L. (2019). The Potential for Renal Injury Elicited by Physical Work in the Heat. *Nutrients*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/nu11092087>
- Schmidt, W., Eckardt, K. U., Hilgendorf, A., Strauch, S. i Bauer, C. (1991). Effects of maximal and submaximal exercise under normoxic and hypoxic conditions on serum erythropoietin level. *International Journal of Sports Medicine*, 12(5), 457–461. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024713>
- Schmidt, W., Biermann, B., Winchenbach, P., Lison, S. i Böning, D. (2000). How valid is the determination of hematocrit values to detect blood manipulations? *International Journal of Sports Medicine*, 21(2), 133–138. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8871>
- Schmidt, W. i Prommer, N. (2008). Effects of various training modalities on blood volume. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18 Suppl 1, 57–69. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00833.x>

- Schmidt, W. i Prommer, N. (2005). The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *European Journal of Applied Physiology*, 95(5–6), 486–495. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0050-3>
- Schmidt, W. i Prommer, N. (2010). Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO₂max. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 38(2), 68–75. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181d4957a>
- Schumacher, Y. O., Ahlgrim, C., Ruthardt, S. i Pottgiesser, T. (2008). Hemoglobin mass in an elite endurance athlete before, during, and after injury-related immobility. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(2), 172–173. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31815e981e>
- Schwandt, H. J., Heyduck, B., Gunga, H. C. i Rocker, L. (1991). Influence of prolonged physical exercise on the erythropoietin concentration in blood. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(6), 463–466.
- Scoon, G. S. M., Hopkins, W. G., Mayhew, S. i Cotter, J. D. (2007). Effect of post-exercise sauna bathing on the endurance performance of competitive male runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(4), 259–262. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.06.009>
- Shaskey, D. J. i Green, G. A. (2000). Sports haematology. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 29(1), 27–38. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029010-00003>
- Siebenmann, C., Robach, P., Jacobs, R. A., Rasmussen, P., Nordsborg, N., Diaz, V., Christ, A., Olsen, N. V., Maggiorini, M. i Lundby, C. (2012). „Live high-train low” using normobaric hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled study. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 112(1), 106–117. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00388.2011>
- Siga, E., Fernandez, M., Galarza, M., Mesina, V., De Palma, H. i Coste, R. (2014). Difference between true functional haemoglobin and pre-dialysis haemoglobin is associated with plasma volume variation: a multicentre study. *International Urology and Nephrology*, 46(12), 2379–2384. <https://doi.org/10.1007/s11255-014-0774-2>
- Skattebo, Ø., Bjerring, A. W., Auensen, M., Sarvari, S. I., Cumming, K. T., Capelli, C. i Hallén, J. (2020). Blood volume expansion does not explain the increase in peak oxygen uptake induced by 10 weeks of endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 120(5), 985–999. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04336-2>
- Stanley, J., Halliday, A., D’Auria, S., Buchheit, M. i Leicht, A. S. (2015). Effect of sauna-based heat acclimation on plasma volume and heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*, 115(4), 785–794. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3060-1>
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R. F. i Levine, B. D. (2001). „Living high-training low” altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 91(3), 1113–1120. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.3.1113>
- Szygula, Z. (1990). Erythrocytic system under the influence of physical exercise and training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 10(3), 181–197. <https://doi.org/10.2165/00007256-199010030-00004>
- Szygula, Z., Smitz, J., Roeykens, J., De Meirleir, K. i Klausen, T. (1995). An early effect of

- acute plasma volume expansion in humans on serum erythropoietin concentration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(1–2), 106–110. <https://doi.org/10.1007/BF00964123>
- Thirup, P. (2003). Haematocrit: within-subject and seasonal variation. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(3), 231–243. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333030-00005>
- Treff, G., Schmidt, W., Wachsmuth, N. i Steinacker, J. M. (2014a). Impact of insidious gastrointestinal blood loss on endurance performance in an elite rower. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54(3), 335–339.
- Treff, G., Schmidt, W., Wachsmuth, N., Volzke, C. i Steinacker, J. M. (2014b). Total haemoglobin mass, maximal and submaximal power in elite rowers. *International Journal of Sports Medicine*, 35(7), 571–574. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1358476>
- Tyler, C. J., Reeve, T., Hodges, G. J. i Cheung, S. S. (2016). The Effects of Heat Adaptation on Physiology, Perception and Exercise Performance in the Heat: A Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(11), 1699–1724. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0538-5>
- Ulrich, G., Bärtsch, P. i Friedmann-Bette, B. (2011). Total haemoglobin mass and red blood cell profile in endurance-trained and non-endurance-trained adolescent athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 111(11), 2855–2864. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1920-5>
- Viault, F. (1890). Sur l'augmentation considerable du nombre des globules rouges dans le sang chez les habitants des hauts plateaux de l'Amerique du Sud. *Compt Rend Hebd Séanc Acad Sci (Paris)*, 111, 917–918.
- Vogelaere, P., Brasseur, M., Quirion, A., Leclercq, R., Laurencelle, L. i Bekaert, S. (1990). Hematological variations at rest and during maximal and submaximal exercise in a cold (0 degree C) environment. *International Journal of Biometeorology*, 34(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/BF01045813>
- Wachsmuth, N. B., Volzke, C., Prommer, N., Schmidt-Trucksass, A., Frese, F., Spahl, O., Eastwood, A., Stray-Gundersen, J. i Schmidt, W. (2013). The effects of classic altitude training on hemoglobin mass in swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 113(5), 1199–1211. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2536-0>
- Wachsmuth, N., Kley, M., Spielvogel, H., Aughey, R. J., Gore, C. J., Bourdon, P. C., Hammond, K., Sargent, C., Roach, G. D., Sanchez, R. S., Claros, J. C. J., Schmidt, W. F. i Garvican-Lewis, L. A. (2013). Changes in blood gas transport of altitude native soccer players near sea-level and sea-level native soccer players at altitude (ISA3600). *British Journal of Sports Medicine*, 47 Suppl 1(Suppl 1) i93-9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092761>
- Warburton, D. E., Gledhill, N., Jamnik, V. K., Krip, B. i Card, N. (1999). Induced hypervolemia, cardiac function, VO₂max, and performance of elite cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(6), 800–808. <https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00007>
- Warburton, D. E. R., Haykowsky, M. J., Quinney, H. A., Blackmore, D., Teo, K. K., Taylor, D. A., McGavock, J. i Humen, D. P. (2004). Blood volume expansion and cardiorespiratory function: effects of training modality. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 991–1000. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000128163.88298.cb>

- Wehrlin, J. P. i Hallén, J. (2006). Linear decrease in $\dot{V}O_2\text{max}$ and performance with increasing altitude in endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 96(4), 404–412. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0081-9>
- Wilber, R. L. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1610–1624. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180de49e6>
- Yoshiga, C., Dawson, E. A., Volianitis, S., Warberg, J. i Secher, N. H. (2019). Cardiac output during exercise is related to plasma atrial natriuretic peptide but not to central venous pressure in humans. *Experimental Physiology*, 104(3), 379–384. <https://doi.org/10.1113/EP087522>
- Zapico, A. G., Calderon, F. J., Benito, P. J., Gonzalez, C. B., Parisi, A., Pigozzi, F. i Di Salvo, V. (2007). Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(2), 191–196.
- Zelenkova, I. E., Zotkin, S. V., Korneev, P. V., Koprov, S. V i Grushin, A. A. (2019). Relationship between total hemoglobin mass and competitive performance in endurance athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(3), 352–356. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.07865-9>
- Zelenkova, I., Zotkin, S., Korneev, P., Koprov, S. i Grushin, A. (2019). Comprehensive overview of hemoglobin mass and blood volume in elite athletes across a wide range of different sporting disciplines. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(2), 179–186. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08018-0>
- Zurawlew, M J, Walsh, N. P., Fortes, M. B. i Potter, C. (2016). Post-exercise hot water immersion induces heat acclimation and improves endurance exercise performance in the heat. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 26(7), 745–754. <https://doi.org/10.1111/sms.12638>
- Zurawlew, Michael J, Mee, J. A. i Walsh, N. P. (2019). Post-exercise Hot Water Immersion Elicits Heat Acclimation Adaptations That Are Retained for at Least Two Weeks. *Frontiers in Physiology*, 10, 1080. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01080>

4.3. Pozostałe osiągnięcia naukowe

Poza wyżej omawianą serią badań, które wykazałem jako swoje główne osiągnięcie naukowe po uzyskaniu stopnia doktora, koncentrowałem się głównie na zagadnieniach, które przedstawiam poniżej.

Wyznaczniki sukcesów sportowych i ocena trafności metod wyznaczania progu mleczanowego u wysokiej klasy kajakarzy

Niemal od początku swojej kariery zawodowej ściśle współpracuję z trenerami Polskiego Związku Kajakowego (PZKaj.), bezpośrednio uczestnicząc w przygotowaniach reprezentacji narodowych do najwyższej rangi zawodów, takich jak mistrzostwa świata i igrzyska olimpijskie. Moja współpraca prowadzona jest z ramienia Instytutu Sportu – PIB, gdzie od 1990 r. nieprzerwanie pełnię funkcję kierownika badań dla PZKaj. (więcej patrz str. 40-45 <https://forumtrenera.com/wp-content/uploads/2022/08/ft36.pdf>). Równoległe z tym, w latach 2005-2008, byłem zatrudniony w PZKaj. jako trener-fizjolog.

Chociaż problematyka związana z treningiem kajakarskim była tematem licznych opracowań (McKenzie i Berglund, 2019; Wojcieszak, 1985), to jednak wiele problemów pozostało nierozwiązanych. Należało do nich m.in. ustalenie wyznaczników sukcesów w kajakarstwie. Realizacja projektów badawczych związanych z tym zagadnieniem zaowocowała opublikowaniem trzech, wymienionych poniżej prac (1), (4) i (5).

1. **Sitkowski D.** Some indices distinguishing Olympic or world championship medallists in sprint kayaking. *Biol Sport*. 2002; 19(2): 133-147.
2. **Sitkowski D**, Starczewska-Czapowska J, Burkhard-Jagodzińska K. Determination of anaerobic threshold based on the dynamics of the heart and stroke rates estimated in the upper body progressive test. *Biol Sport*. 2004; 21(4): 337-350)
3. **Sitkowski D.** Anaerobic threshold in canoeists during specific physiological exertion on water or canoe ergometer. *Pol J Sport Tourism*. 2008; 15(4): 166-173.
4. **Sitkowski D**, Grucza R. Age-related changes and gender differences of upper body anaerobic performance in male and female sprint kayakers. *Biol Sport*. 2009; 26(4): 325-338.
5. Orysiak J, **Sitkowski D**, Zmijewski P, Malczewska-Lenczowska J, Cieszczyk P, Zembron-Lacny A, Pokrywka A. Overrepresentation of the ACTN3 XX genotype in elite canoe and kayak paddlers. *J Strength Cond Res*. 2015; 29(4): 1107-1112.

Sumaryczna liczba cytowań ww. 5. prac wg Web of Science (dn. 01.08.2023) **29**

Badania retrospektywne 30. kajakarek i kajakarzy kadry narodowej (1) ujawniły, że niezależnie od płci, zawodnicy, którzy byli medalistami mistrzostw świata seniorów i igrzysk olimpijskich w sprincie kajakowym, już w kategorii wiekowej juniora odznaczali się lepszymi wynikami w 40-s teście wydolności beztlenowej na kończyny górne, niż ich mniej utytułowani rywale, stąd zarówno u kobiet jak i mężczyzn, wyniki tego testu mogą być pomocniczym kryterium ustalania predyspozycji do uprawiania sprintu kajakowego.

W kolejnych badaniach (4) z udziałem 264. kajakarzy i 195. kajakarek ustalono, że zarówno u kobiet jak i mężczyzn, wydolność beztlenowa w 40-s teście na kończyny górne zwiększa się z wiekiem i stażem treningowych przynajmniej do końca drugiej dekady życia. Wraz z wiekiem i stażem zacierają się też różnice międzypłciowe, zarówno we wskaźnikach bezwzględnych, jak i relatywnych (tj. W/kg BM i W/kg FFM), niemniej jednak przez cały okres obserwacji (tj. do 23 roku życia) pozostają one istotne. Wynik tych badań pozwoliły również na określenie wartości odniesienia do oceny wydolności beztlenowej, która we wcześniejszych badaniach (1) została uznana za jeden z głównych czynników determinujących sukcesy w sprincie kajakowym.

Z kolei wyniki badań (5) z udziałem 86. mężczyzn (kajakarzy i kanadyjkarzy) sugerują, że genotyp XX genu ACTN3 może być korzystny dla osiągnięcia sukcesów w wyścigach na dystansie 1000 m, ale wydaje się ograniczać możliwość osiągnięcia sukcesów na 200 m.

Następne badania realizowane w ramach ww. zagadnienia (2) i (3), dotyczyły oceny trafności wyznaczania progu mleczanowego u kajakarzy w oparciu o metody laboratoryjne i terenowe. W badaniach na 12. wysokiej klasy zawodnikach stwierdzono (2), że za pomocą analizy wzajemnych zależności pomiędzy mocą (PO), częstością skurczów serca (HR) i częstością pociągnięć wiosłem (SR) w teście stopniowanym (Conconi i in., 1996) istnieje możliwość wyznaczenia mocy, która nie różni się istotnie od mocy krytycznej (Vanhatalo i in., 2011) oraz mocy przy LT4 i DmaxM, a jednocześnie tylko nieznacznie przeszacowuje moc przy MLSS tj. moc przy najwyższej intensywności wysiłku, przy której zostaje zachowana równowaga pomiędzy pojawianiem się i zanikaniem mleczanu we krwi (Jamnick i in., 2018). Dzięki temu badaniu trenerzy otrzymali proste narzędzie do pośredniego, lecz samodzielnego wyznaczania wartości odnoszących się do progu mleczanowego, co mogą teraz wykorzystywać do bieżącej oceny efektów treningowych oraz wyznaczania intensywności treningu wytrzymałościowego. W badaniach (3) na zawodnikach ścisłej kadry seniorów (n = 8) stwierdzono również, że HR odpowiadające LT4, wyznaczone u kanadyjkarzy w stopniowanej próbie wysiłkowej na wodzie, wykazuje silny związek z wartościami tego wskaźnika, które uzyskiwane są przez nich w testach laboratoryjnych na ergometrze

kanadyjskim. Potwierdza to możliwość bezpośredniego wykorzystania wyników badań laboratoryjnych do regulowania intensywności treningu na wodzie.

W pracach (1)-(4) byłem pomysłodawcą i samodzielnym twórcą koncepcji badań i ich jedynym wykonawcą. Ponadto opracowywałem ich wyniki, pisałem manuskrypty i odpowiadałem na recenzje. W pracy (5) byłem współpomysłodawcą i współtwórcą koncepcji badań oraz uczestniczyłem w pisaniu manuskryptu i odpowiedzi na recenzje.

Zależności pomiędzy polimorfizmem R577X genu ACTN3 a zdolnością do wysiłków szybkościowo-siłowych

W latach 2009-2014 byłem kierownikiem realizowanego przez Instytut Sportu programu badawczego, dotyczącego identyfikacji i wspierania talentów sportowych. W ramach tego programu corocznie przeprowadzane były kompleksowe badania sportowców w wieku od 14 do 23 roku życia, które miały na celu ocenę stanu ich zdrowia, predyspozycji wysiłkowych oraz tempa rozwoju sportowego.

(Więcej na str. 18-21 <https://forumtrenera.com/wp-content/uploads/2022/08/ft09.pdf>)

Wyniki niektórych badań pokazały (Yang i in., 2003), że częstość występowania genotypu RR genu α -aktyniny 3 (ACTN3) jest większa u zawodników z dyscyplin szybkościowo-siłowych niż u zawodników z dyscyplin wytrzymałościowych, wśród których dominuje genotyp XX, stąd określanie polimorfizmu tego genu, przynajmniej potencjalnie, mogłoby być przydatne do przewidywania wrodzonych predyspozycji naszych zawodników do uprawiania różnych dyscyplin/konkurencji sportowych. Dla potwierdzenia tego, przeprowadzono badania (1) i (2) z udziałem mężczyzn uprawiających sporty o zróżnicowanym charakterze wysiłku, takie jak: kajakerstwo, hokej na lodzie, pływanie i piłka siatkowa.

(1) Orysiak J, Buśko K, Michalski R, Mazur-Różycka J, Gajewski J, Malczewska Lenczowska J, **Sitkowski D**, Pokrywka A. Relationship between ACTN3 R577X polymorphism and maximal power output in elite Polish athletes. *Medicina (Kaunas)*. 2014; 50(5): 303-308.

(2) Orysiak J, Busko K, Mazur-Różycka J, Michalski R, Gajewski J, Malczewska-Lenczowska J, **Sitkowski D**. Relationship between ACTN3 R577X polymorphism and physical abilities in Polish athletes. *J Strength Cond Res*. 2015; 29(8): 2333-2339.

Sumaryczna liczba cytowań ww. 2. prac wg Web of Science (dn. 01.08.2023) **29**

Wyniki badań (1) z udziałem 200 zawodników pokazały, że rozkład genotypu genu ACTN3 w analizowanej kohorcie, która była dość jednorodna pod względem poziomu sportowego, nie różnił się istotnie pomiędzy ww. sportami. Stwierdzono za to, że genotyp ACTN3 związany był z wysokością wyskoku i mocą rozwijaną w trzech testach wyskoku na platformie tensometrycznej; sportowcy z genotypem XX mieli niższe wartości mocy i wysokości wyskoku niż homozygoty RR.

W badaniach (2), w których uczestniczyło 185 zawodników reprezentujących te same dyscypliny sportowe co w (1), ustalano związki pomiędzy mocą i skocznością na platformie tensometrycznej oraz maksymalnymi momentami sił mięśniowych w warunkach statyki a polimorfizmem genu ACTN3. Stwierdzono, że zawodnicy z genotypem RR rozwijali większą moc w teście wyskoku z rozbiegu niż z genotypem RX lub XX, natomiast wartości siły mięśniowej nie różniły się pomiędzy grupami genotypowymi. Sugeruje to, że gen ACTN3 może mieć większy wpływ na określanie dynamicznych aktów ruchowych niż na statyczną siłę mięśni.

W ww. pracach byłem współpomysłodawcą i współtwórcą koncepcji badań oraz uczestniczyłem w przygotowaniach manuskryptów.

Całkowita masa hemoglobiny u zawodników różnych dyscyplin sportowych oraz jej genetyczne uwarunkowania

Zawodnicy uprawiający dyscypliny wytrzymałościowe odznaczają się większą całkowitą masą hemoglobiny (tHb-mass), aniżeli osoby nietreningowe lub uprawiające inne dyscypliny niż wytrzymałościowe (Heinicke i in., 2001). Jednak wyniki badań różnych autorów wskazują, że trening może mieć, co najwyżej, umiarkowany wpływ na tHb-mass, stąd sugerują oni, że jej wartości w większym stopniu (niż od treningu) zależą od czynników genetycznych (Schmidt i Prommer, 2008). Znalezienie konkretnych polimorfizmów, które byłyby związane z tHb-mass mogłoby przyczynić się do trafniejszego rozpoznawania wrodzonych predyspozycji do wysiłków wytrzymałościowych u polskich zawodników.

(1) Malczewska-Lenczowska J, **Sitkowski D**, Orysiak J, Pokrywka A, Szygula Z. Total haemoglobin mass, blood volume and morphological indices among athletes from different sport disciplines. Arch Med Sci. 2013 Oct 31;9(5):780-7

(2) Malczewska-Lenczowska J, Orysiak J, Majorczyk E, Pokrywka A, Kaczmarski J, Szygula Z, **Sitkowski D**. No association between tHb-mass and polymorphisms in the HBB gene in endurance athletes. Biol Sport. 2014; 31(2): 115-119.

- (3) Malczewska-Lenczowska J, Orysiak J, Majorczyk E, Zdanowicz R, Szczepańska B, Starczewski M, Kaczmarski J, Dybek T, Pokrywka A, Ahmetov II, **Sitkowski D**. Total hemoglobin mass, aerobic capacity, and HBB gene in Polish road cyclists. *J Strength Cond Res*. 2016; 30(12): 3512-3519.
- (4) Malczewska-Lenczowska J, Orysiak J, Majorczyk E, **Sitkowski D**, Starczewski M, Żmijewski P. HIF-1 α and NFIA-AS2 Polymorphisms as Potential Determinants of Total Hemoglobin Mass in Endurance Athletes. *J Strength Cond Res*. 2022 Jun 1;36(6):1596-1604.
-

Sumaryczna liczba cytowań ww. 4. prac wg Web of Science (dn. 01.08.2023) **36**

Praca (1) była poświęcona porównaniu wartości tHb-mass, objętości wewnątrznaczyniowych i wskaźników morfologii krwi u 176 wysokiej klasy polskich sportowców (69 kobiet i 107 mężczyzn), reprezentujących dyscypliny o różnym charakterze wysiłku startowego, takie jak: judo, pięciobój nowoczesny, kombinacja norweska, narciarstwo biegowe i lekkoatletyka (biegi na średnich i długich dystansach). Stwierdzono, że pod względem relatywnie wyrażonych wartości (tj. /kg BM i /kg FFM) tHb-mass i objętości wewnątrznaczyniowe judoków istotnie różniły się od wyników przedstawicieli pozostałych dyscyplin, w obrębie których wartości tych wskaźników nie różniły się istotnie. Natomiast pod względem [Hb] i Hct i liczby czerwonych krwinek wyniki judoków nie różniły się od wyników zawodników z pozostałych dyscyplin, aczkolwiek Hct u judoczek był istotnie wyższy niż u pięcioboistek. Wyniki te potwierdziły spostrzeżenia innych autorów (Heinicke i in., 2001) dotyczące zróżnicowania tHb-mass i objętości wewnątrznaczyniowych pomiędzy sportowcami z dyscyplin o różnym charakterze wysiłku. Jednocześnie wskazały na ograniczoną wartość diagnostyczną [Hb] i Hct w ocenie stanu hematologicznego sportowców.

Zbadanie związku pomiędzy tHb-mass i polimorfizmami genu HBB (kodującego β -globinę) było tematem pracy (2), w której uczestniczyło 82 zawodników (26 kobiet i 46 mężczyzn) uprawiających biegi narciarskie oraz średnie i długie biegi lekkoatletyczne. Nie stwierdzono różnic w częstości występowania genotypów i alleli genu HBB między sportowcami płci męskiej i żeńskiej. Nie stwierdzono też zależności pomiędzy genotypami i allelami genu HBB a względnymi wartościami tHb-mass, wyrażonymi /kg BM, zarówno u kobiet, jak i mężczyzn. Wyniki te sugerują, że polimorfizmy -551 C/T i intron 2, +16 C/G genu HBB nie mają związku z tHb-mass u sportowców z dyscyplin wytrzymałościowych.

Badanie (3) miało na celu ustalenie związku pomiędzy polimorfizmami -551C/T i intronu 2, +16 C/G genu HBB a tHb-mass i wydolnością tlenową u kobiet (n = 39) i mężczyzn (n = 50) uprawiających kolarstwo szosowe. Względne wartości wskaźników wydolności tlenowej

różniły się istotnie między wariantami genu HBB (polimorfizm intronu 2, +16 C/G) tylko u kobiet; zawodniczki z genotypem GG miały istotnie wyższe wartości VO₂max, VO₂AT₄, PAT₄ i P_{max} niż nosicielki allelu C. Nie stwierdzono natomiast zależności między modelem nosicielstwa allelu C (CC + CG vs. GG w przypadku intronu 2, +16 C/G i CC + CT vs. TT dla polimorfizmu -551 C/T genu HBB) a względnymi wartościami tHb-mass. Wyniki te sugerują, że gen HBB może być związany z wydolnością tlenową, lecz raczej nie determinuje większej zawartości hemoglobiny we krwi.

Celem pracy (4) z udziałem 238 zawodników dyscyplin wytrzymałościowych (61 wioślarzy, 93 kolarzy szosowych, 40 biegaczy narciarskich, 44 biegaczy na średnich i długich dystansach) było: 1) zbadanie międzygrupowego rozkładu genotypu rs11549465:C.T genu HIF-1 α (kodującego podjednostkę alfa czynnika transkrypcyjnego indukowanego hipoksją: HIF-1) i genotypu rs1572312: C.A genu NFIA-AS2 (bierze udział w regulacji ekspresji jądrowego czynnika IA, który jako czynnik transkrypcyjny może indukować erytropoezę), 2) zbadanie związku pomiędzy tymi genami a stanem hematologicznym zawodników, 3) zbadanie związku pomiędzy genem NFIA-AS2 a zdolnością do wysiłków wytrzymałościowych u kolarzy szosowych. Stwierdzono, że w przypadku obu genów w badanych grupach sportowców dominował genotyp CC. W genie HIF-1 α nie było różnic w genotypie i rozkładzie alleli pomiędzy sportowcami z różnych dyscyplin i pomiędzy płciami, natomiast rozkład genotypów i alleli genu NFIA-AS2 znacząco różnił się u mężczyzn. Polimorfizm NFIA-AS2 rs1572312:C.A był związany ze stanem hematologicznym (genotyp CC był związany z wyższymi wartościami tHb-mass, RCV, PV i BV), a także (ale tylko u kolarzy) z mocą przy LT₄. Najważniejszym wnioskiem z tych badań było, że polimorfizm ten może być czynnikiem determinującym całkowitą zawartość hemoglobiny we krwi i objętości wewnątrznaczyniowe, co z kolei może mieć przełożenie na zdolność do wysiłków wytrzymałościowych.

W ww. pracach byłem współpomysłodawcą badań, wykonawcą analiz statystycznych oraz uczestniczyłem w przygotowaniach manuskryptów.

Zakażenia górnych dróg oddechowych u wyczynowych sportowców

Kolejnym zagadnieniem, którym zajmowałem się w ramach swojej działalności naukowej, były infekcje górnych dróg oddechowych (URTI) u wyczynowych sportowców.

W pracy z wysokiej klasy sportowcami wielokrotnie stykałem się z tego rodzaju problemem u zawodników będących często w szczytowej formie, co np. w kajakarstwie ma

miejsce latem, a więc w okresie, kiedy zagrożenie tego typu infekcjami jest relatywnie mniejsze niż w chłodniejszych porach roku (Moriyama i in., 2020). Problem ten jest na tyle poważny, że spośród 758 przypadków chorób stwierdzonych u sportowców w czasie Igrzysk Olimpijskich w Londynie, aż 41% dotyczyło układu oddechowego (Engebretsen i in., 2013). Dlatego pojęto badania, które pozwoliłyby lepiej poznać to zagrożenie, co potencjalnie miało poprawić ochronę sportowców przed negatywnymi skutkami URTI.

Dla uzyskania jednorodnej, a przy tym odpowiednio licznej grupy, wszystkie badania nad tym zagadnieniem przeprowadzono przy udziale zawodników hokeja na lodzie, którzy prowadzili trening w zimnym i suchym otoczeniu, co mogło sprzyjać zakażeniom układu oddechowego (Moriyama i in., 2020).

1. Orysiak J, Witek K, Zembron-Lacny A, Morawin B, Malczewska-Lenczowska J, **Sitkowski D**. Mucosal immunity and upper respiratory tract infections during a 24-week competitive season in young ice hockey players. *J Sports Sci.* 2017; 35(13): 1255-1263.
2. Orysiak, J, Witek K. Malczewska-Lenczowska J, Zembron-Lacny A, Pokrywka A, **Sitkowski D**. Upper respiratory tract infection and mucosal immunity in young ice hockey players during the pre-tournament training period. *J Strength Cond Res.* 2019 Nov;33(11):3129-3135.
3. Orysiak J, Tripathi JK, Brodaczewska K, Sharma A, Witek K, **Sitkowski D**, Malczewska-Lenczowska J. The impact of physical training on neutrophil extracellular traps in young male athletes - a pilot study. *Biol Sport.* 2021 Sep;38(3):459-464.
4. Orysiak J, Fitzgerald JS, Malczewska-Lenczowska J, Witek K, Gajewski J, Zembron-Lacny A, Morawin B, **Sitkowski D**. Vitamin D and upper respiratory tract infections in young active males exposed to cold environments. *Ann Agric Environ Med.* 2021 Sep 16;28(3):446-451.

Sumaryczna liczba cytowań ww. 4. prac wg Web of Science (dn. 01.08.2023) **21**

Celem 24-tygodniowych badań (1) z udziałem 21 hokeistów była analiza powiązań przebytych epizodów URTI ze spoczynkowymi wartościami wskaźników immunologicznych i hormonalnych w ślinie. W czasie URTI zaobserwowano niższe stężenia immunoglobulin (sIgA, sIgA1 i sIgA2) oraz wyższe wartości parametrów krwi (leukocytów, neutrofilii, monocytów i eozynofili oraz stężenia IL-1ra - antagonisty receptora interleukiny 1). Wyniki te wskazywały na zachodzącą wówczas supresję odporności błon śluzowych i inicjację odpowiedzi na zakażenie przez odporność wrodzoną.

W badaniach (2), których celem była ocena efektów treningu prowadzonego w 17-dniowym okresie bezpośrednio poprzedzającym mistrzostwa świata w kat. do 18 lat,

uczestniczyło 12 zawodników. Na 4 dni przed wyjazdem na zawody stwierdzono istotne zwiększenie stężeń sIgA1 i sIgA2 względem tych, jakie obserwowano bezpośrednio po okresie intensyfikacji treningu. Wyniki te sugerują, że przedstartowa redukcja obciążeń treningowych (tapering), może pozytywnie wpłynąć na funkcjonowanie układu odpornościowego błon śluzowych.

Granulocyty obojętnochłonne (neutrofile) są jedną z pierwszych i najliczniejszą populacją komórek, które docierają do miejsca dotkniętego zakażeniem i stanem zapalnym. Celem badań pilotażowych (3), w których wykorzystano ilościowy pomiar zewnątrzkomórkowych sieci neutrofilowych (NET), było określenie wpływu 19-dniowego okresu treningu (charakteryzującego się zmiennymi obciążeniami) na wrodzoną odporność u młodych hokeistów ($n = 6$). Po zgrupowaniu treningowym stwierdzono tendencję w kierunku zwiększenia aktywności kinazy kreatynowej ($p = 0,06$), której towarzyszyły tendencje wzrostowe w powstawaniu NET i spadkowe w liczbie neutrofilii. Sugeruje to, że neutrofile i NET mogą być zaangażowane w procesy związane z wywołanym przez trening uszkodzeniem mięśni i miejscowym stanem zapalnym.

Dwudziestu trzech hokeistów uczestniczyło w 19-tygodniowych badaniach (4), których celem było określenie związku pomiędzy statusem witaminy D a odpornością błon śluzowych, liczbą białych krwinek, stężeniem cytokin i częstością występowania epizodów URTI. W badanej grupie nie zaobserwowano wpływu stężenia 25(OH)D na odporność śluzówkową i ogólnoustrojową ani na częstość epizodów URTI. Przemawiał za tym brak istotnych korelacji pomiędzy markerami błony śluzowej i krwi lub częstością występowania URTI a stężeniami 25(OH)D na początku i w końcowej fazie okresu obserwacji. Zmienne immunologiczne, endokrynologiczne i częstość URTI też nie różniły się między grupami z niedoborem i wystarczającym poziomem witaminy D.

W pracach (1)-(2) byłem współpomysłodawcą badań i, jako kierownik projektu, w ramach którego były one realizowane, nadzorowałem ich przebieg, a także uczestniczyłem w analizie statystycznej wyników i pisaniu manuskryptów. W pracach (3-4) uczestniczyłem w pisaniu manuskryptów i odpowiedzi na recenzje.

Monografie naukowe

Byłem również współredaktorem monografii naukowej i współautorem rozdziału do monografii naukowej.

1. Gajewski J, **Sitkowski D.** (red.) Wybrane zagadnienia treningu sportowego w badaniach naukowych. 2012, Instytut Sportu, Warszawa.
2. Pokrywka A, Lewandowska-Pachecka S, **Sitkowski D.** Doping nieświadomy. W: Pokrywka A, Bujalska-Zadrożny M, Mamcarz A. (red.) Doping w sporcie. s. 411-427, 2020, PZWL, Warszawa.

Inne publikacje

Poza publikacjami stanowiącymi moje główne i pozostałe osiągnięcia naukowe, po uzyskaniu stopnia doktora miałem również udział w powstaniu innych publikacji, które skupiały się wokół takich zagadnień jak:

Budowa i czynność elektryczna serca sportowców dyscyplin wytrzymałościowych

1. Konopka M, Burkhard-Jagodzińska K, Anioł-Strzyżewska K, Król W, Klusiewicz A, Chwalbińska J, Pokrywka A, **Sitkowski D.** Dłużniewski M, Braksator W. Prevalence and determinants of the early repolarisation pattern in a group of young high endurance rowers. *Kardiol Pol.* 2016; 74(3): 289-299.
2. Konopka M, Krol W, Burkhard-Jagodzinska K, Jakubiak A, Klusiewicz A, Chwalbinska J, Pokrywka A, **Sitkowski D.** Dłużniewski M, Braksator W. Echocardiographic assessment of right ventricle adaptation to endurance training in young rowers - speckle tracking echocardiography. *Biol Sport.* 2016; 33(4): 335-343.
3. Król W, Jędrzejewska I, Konopka M, Burkhard-Jagodzińska K, Klusiewicz A, Pokrywka A, Chwalbińska J, **Sitkowski D.** Dłużniewski M, Mamcarz A, Braksator W. Left Atrial Enlargement in Young High-Level Endurance Athletes - Another Sign of Athlete's Heart? *J Hum Kinet.* 2016; 14;53: 81-90.
4. Jakubiak AA, Burkhard-Jagodzińska K, Król W, Konopka M, Bursa D, **Sitkowski D.** Kuch M, Braksator W. The differences in ECGs' interpretation in top-level athletes. *Kardiol Pol.* 2017; 75(6): 535-544.
5. Jakubiak AA, Konopka M, Bursa D, Król W, Anioł-Strzyżewska K, Burkhard-Jagodzińska K, **Sitkowski D.** Kuch M, Braksator W. Benefits and limitations of electrocardiographic and echocardiographic screening in top level endurance athletes. *Biol Sport.* 2021 Mar;38(1):71-79.

Sumaryczna liczba cytowań 5. ww. prac wg Web of Science (dn. 01.08.2023) **29**

Fizjologiczne odpowiedzi na wysiłki wykonywane przez sportowców dyscyplin wytrzymałościowych

1. Lutosławska G, Hübner-Woźniak E, **Sitkowski D**. Plasma glucose and blood lactate response to incremental cycling until exhaustion in active young men with different maximal oxygen uptake. *Biol Sport*. 2002; 19(2):163-174.
2. Gajewski J, **Sitkowski D**, Obmiński Z. Changes in tremor and hormonal responses to high-intensity exercise on kayak ergometer. *Biol Sport*. 2006; 23(3): 237-253.
3. Burkhard-Jagodzińska K, Zdanowicz R, Kozera J, Borkowski L, **Sitkowski D**, Karpiłowski B. Verification of the basic values of respiratory indices due to Polish kayakers. *Biol Sport*. 2007; 24(1): 34-46.
4. Faff J, **Sitkowski D**, Ładyga M, Klusiewicz A, Borkowski L, Starczewska-Czapowska J. Maximal heart rate in athletes. *Biol Sport*. 2007; 24(2): 129-142.
5. Klusiewicz A, Starczewski M, Ładyga M, Długołęcka B, Braksator W, Mamcarz A, **Sitkowski D**. Reference values of maximal oxygen uptake for Polish rowers. *J Hum Kinet*. 2014; 30;44: 121-127.
6. Klusiewicz A, Borkowski L, **Sitkowski D**, Burkhard-Jagodzińska K, Szczepańska B, Ładyga M. Indirect Methods of Assessing Maximal Oxygen Uptake in Rowers: Practical Implications for Evaluating Physical Fitness in a Training Cycle. *J Hum Kinet*. 2016; 13;50: 187-194.
7. Mazur-Różycka, J. Gajewski, J. Orysiak, J. **Sitkowski, D**. Buśko, K. The Influence of Fatigue on the Characteristics of Physiological Tremor and Hoffmann Reflex in Young Men. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 3436.
8. Surąła O, Malczewska-Lenczowska J, **Sitkowski D**, Witek K, Słomiński P, Certa M. Effect of training load on sleep parameters and biochemical fatigue markers in elite swimmers. *Biol Sport*. 2023;40(4):1229–1237.

Sumaryczna liczba cytowań 8. ww. prac wg Web of Science (dn. 01.08.2023) 42

Fizjologiczne aspekty aktywności fizycznej

1. Hübner-Woźniak E, Lutosławska G, Panczenko-Kresowska B, Malczewska J, **Sitkowski D**. Plasma antioxidant defence status in subjects with different fractional oxygen utilization at the lactate threshold. *Biol. Sport*. 2001; 18(4): 297-309.
2. Hübner-Woźniak E, Lutosławska G, Panczenko-Kresowska B, **Sitkowski D**. The effect of oxygen uptake at anaerobic threshold on resting plasma concentrations of reduced glutathione and tiobarbituric acid reactive substances (TBARS), and on the antioxidant enzyme activities in blood. *Biol Sport*. 2005; 22(2): 151-161.
3. Pokrywka A, Zembron-Lacny A, Baldy-Chudzik K, Orysiak J, **Sitkowski D**, Banach M. The influence of hypoxic physical activity on cfDNA as a new marker of vascular inflammation. *Arch Med Sci*. 2015; 11(6): 1156-1163.
4. Malczewska-Lenczowska J, **Sitkowski D**, Surąła O, Orysiak J, Szczepanska B, Witek K. The association between iron and vitamin D status in female elite athletes. *Nutrients*. 2018; Jan 31;10(2). pii: E167.

5. Karolkiewicz J, Nieman DC, Cisoń T, Szurkowska J, Gałęcka M, **Sitkowski D**, Szygula Z. No effects of a 4-week post-exercise sauna bathing on targeted gut microbiota and intestinal barrier function, and hsCRP in healthy men: a pilot randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022 Jun 16;14(1):107.
 6. Malczewska-Lenczowska J, Surała O, **Sitkowski D**, Szczepańska B, Zawadzki M. The effect of body size and composition on lumbar spine trabecular bone score in morphologically diverse subjects. *PLoS One* 2023 Jul 3;18(7):e0287330
-

Sumaryczna liczba cytowań ww. 6. prac wg Web of Science (dn. 01.08.2023) **49**

Publikacja w recenzji

Aktualnie jedna z moich prac jest w trakcie recenzji w *Int J Sports Physiol Perform.*

1. **Sitkowski D**, Malczewska-Lenczowska J, Zdanowicz R, Starczewski M, Pokrywka A, Faiss R. Predicting future athletic performance in young female road cyclists based on aerobic fitness and hematological variables.

Piśmiennictwo (do podrozdziału 4.3.)

- Conconi, F., Grazi, G., Casoni, I., Guglielmini, C., Borsetto, C., Ballarin, E., Mazzoni, G., Patracchini, M. i Manfredini, F. (1996). The Conconi test: methodology after 12 years of application. *International Journal of Sports Medicine*, 17(7), 509–519. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972887>
- Engebretsen, L., Soligard, T., Steffen, K., Alonso, J. M., Aubry, M., Budgett, R., Dvorak, J., Jegathesan, M., Meeuwisse, W. H., Mountjoy, M., Palmer-Green, D., Vanhegan, I. i Renström, P. A. (2013). Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. *British Journal of Sports Medicine*, 47(7), 407–414. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092380>
- Heinicke, K., Wolfarth, B., Winchenbach, P., Biermann, B., Schmid, A., Huber, G., Friedmann, B. i Schmidt, W. (2001). Blood volume and hemoglobin mass in elite athletes of different disciplines. *International Journal of Sports Medicine*, 22(7), 504–512. <https://doi.org/10.1055/s-2001-17613>
- Jamnick, N. A., Botella, J., Pyne, D. B. i Bishop, D. J. (2018). Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO₂peak. *PLoS One*, 13(7), e0199794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199794>
- McKenzie, D. i Berglund, B. (Eds.). (2019). *Handbook of Sports Medicine and Science; Canoeing*. Wiley Blackwell, Oxford.
- Moriyama, M., Hugentobler, W. J. i Iwasaki, A. (2020). Seasonality of Respiratory Viral Infections. *Annual Review of Virology*, 7(1), 83–101. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>
- Schmidt, W. i Prommer, N. (2008). Effects of various training modalities on blood volume. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18 Suppl 1, 57–69. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00833.x>
- Vanhatalo, A., Jones, A. M. i Burnley, M. (2011). Application of critical power in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 128–136. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.1.128>
- Wojcieszak, I. (1985). *Problemy naukowo-metodyczne w kajakerstwie*. Instytut Sportu, Warszawa.
- Yang, N., MacArthur, D. G., Gulbin, J. P., Hahn, A. G., Beggs, A. H., Easteal, S. i North, K. (2003). ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *American Journal of Human Genetics*, 73(3), 627–631. <https://doi.org/10.1086/377590>

Udział w konferencjach naukowych

Po uzyskaniu stopnia doktora, uczestniczyłem w następujących konferencjach naukowych (wykaz chronologiczny):

1. **Sitkowski D.** Starczewska-Czapowska J, Burkhard-Jagodzińska K, Borkowski L, Szczepańska B. Determination of the anaerobic threshold based on heart rate and stroke rate analysis in increasing power exercise in kayakers. W: Advances in Sports Medicine. 5th International Symposium Medicina Sportiva 2004. Kraków, 5-8.9.2004. Abstracts Med. Sportiva 2004, 8, s. 159-160. (**Uznane przez Komitet Naukowy Sympozjum za najlepsze [ex aequo] doniesienie ustne**)
2. Staniak Z., Karpiłowski B., Nosarzewski Z., Buśko K., **Sitkowski D.**, Domaradzki J.: Analiza serii wyskoków na platformie dynamograficznej w cyklu szkoleniowym u piłkarzy nożnych. W: Proceedings of the International Conference "Biomechanics 2004". Gdańsk, 9-11.9.2004. Ed. W.S. Erdmann, P. Aschenbrenner, D. Dancewicz. Acta Bioengin. Biomech. 2004, 6, Suppl. 1, s. 307-311.
3. **Sitkowski D.**: Longitudinal development of female sprint kayakers - physiological and performance aspects. W: 9th International Scientific Conference, International Assoc. of Sport Kinetics, s. 238, 2005, Rimini, Italy.
4. Szczepańska B, Malczewska-Lenczowska J, **Sitkowski D.** Fat mass in female athletes representing various sports. Int Congr Pol Soc Sports Med. Medicina Sportiva, 2006, 10:1-2, S1.
5. Burkhard-Jagodzińska K., **Sitkowski D.**, Anioł-Strzyżewska K., Szczypaczewska M., Karpiłowski B.: Zmiany w układzie krążenia stwierdzone u młodzieży różnych dyscyplin, rozpoczynającej uprawianie sportu w wymiarze wyczynowym. W: Kongres Naukowy Polskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej: Rola medycyny sportowej w sporcie dzieci i młodzieży. Aktywność ruchowa w profilaktyce i leczeniu chorób cywilizacyjnych. Warszawa, 25-26.06.2010. Streszczenia. Med. Sportowa 2010, 26 (Suppl. 1), s. 9-10.a
6. Szczepańska B., Malczewska-Lenczowska J., Śliwińska J., **Sitkowski D.**: Zawartość tkanki tłuszczowej u trenującej młodzieży. W: Kongres Naukowy Polskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej: Rola medycyny sportowej w sporcie dzieci i młodzieży. Aktywność ruchowa w profilaktyce i leczeniu chorób cywilizacyjnych. Warszawa, 25-26.06.2010. Streszczenia. Med. Sportowa 2010, 26 (Suppl. 1), s. 35-36.
7. Malczewska-Lenczowska J., **Sitkowski D.**, Pokrywka A., Błach W., Maj A., Borowiak W.: Total haemoglobin mass and selected anthropometric parameters in male and female judokas. International Sports Sciences and Sports Medicine Conference, Newcastle. Br. J. Sports Med. 2011, 45, A5. doi:10.1136/bjsports-2011-090606.
8. Anioł-Strzyżewska K., Burkhard-Jagodzińska K., **Sitkowski D.**: Stan zdrowia młodzieży uprawiającej piłkę siatkową, piłkę ręczną i hokej na lodzie stwierdzony

- podczas badań w ramach identyfikacji talentów sportowych. W: Medycyna sportowa w grach zespołowych. I Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Szkoleniowa czasopisma „Medycyna Sportowa”. Warszawa, 1-2.07.2011. Program, streszczenia informacyjne. Med. Sportowa 2011, 27, s. 153.
9. Burkhard-Jagodzińska K., **Sitkowski D.**, Anioł-Strzyżewska K., Szczypaczewska M., Kaczmarek I.: Reakcja układu krążenia u utalentowanej młodzieży na trening w wymiarze wyczynowym w grach zespołowych. W: Medycyna w sporcie i aktywności fizycznej. XXIX Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej. Bydgoszcz, 13-15.10.2011. Program. Streszczenia. Med. Sportowa 2011, 27, (Suppl 2), s. 39-40.
 10. Zdanowicz R., **Sitkowski D.**, Żmijewski P., Kryk T., Grądzka E.: Wpływ treningu wysokościowego na zmiany progu beztlenowego u kajakarek. W: Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej. XX Międzynarodowa Konferencja Naukowa, 2011, s., Spała.
 11. Anioł-Strzyżewska K., Burkhard-Jagodzińska K., **Sitkowski D.**, Kaczmarek I., Witek K., Szczepańska B., Karpiłowski B.: Wpływ jednorocznego treningu specjalistycznego na zmianę wybranych parametrów antropometrycznych oraz morfologii i biochemii krwi młodych zawodników wioślarstwa. Jubileuszowy Kongres Polskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej. Poznań, 18-20.10.2012. Med. Sportowa 2012, 28, (Suppl. 1), s. 37.
 12. Burkhard-Jagodzińska K., Gierlak W., Anioł-Strzyżewska K., **Sitkowski D.**, Kaczmarek I.: Elektrokardiograficzne i echokardiograficzne badania serca młodzieży w wioślarstwie. W: Jubileuszowy Kongres Polskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej. Med. Sportowa 2012, 28, (Suppl. 1), s. 38-39, Poznań
 13. Malczewska-Lenczowska J., Zdanowicz R., **Sitkowski D.**, Pokrywka A., Grądzka E., Grochowska J.: Changes of total haemoglobin mass, blood volume indices and VO₂max in adolescent runners over six months of endurance training. XXXII World Congress of Sports Medicine. s. 29, 2012, Rome, Italy.
 14. Malczewska-Lenczowska J., **Sitkowski D.**, Pokrywka A., Kryk T., Szygula Z., Orysiak J. Effects of altitude exposure on total haemoglobin mass in female kayakers. 6th European Hypoxia Symposium, Medicina Sportiva, 2013, 17(3): s. 159, Zakopane.
 15. Malczewska-Lenczowska J., Orysiak J, **Sitkowski D.**, Majorczyk E., Pokrywka A. Total haemoglobin mass and I/D polymorphism of ACE gene in young endurance athletes. XXX Jubileuszowy Międzynarodowy Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej. Medycyna Sportowa, 2013, 29 (Suppl. 2): s. 50-51, Wrocław.
 16. Malczewska-Lenczowska J., **Sitkowski D.**, Pokrywka A., Kryk T., Szygula Z., Grochowska J. Effects of conventional altitude training on total haemoglobin mass in female kayakers. W: 18th Annual Congress of the European College of Sport Science, s. 633, 2013, Barcelona, Spain.

17. Orysiak J, Żmijewski P, **Sitkowski D**, Majorczyk E, Dybek T, Zembroń-Łacny A, Grochowska J, Pokrywka A. No association of the ACTN3 genotype with the upper body anaerobic capacity in young swimmers. W: 18th Annual Congress of the European College of Sport Science, s. 132, 2013, Barcelona, Spain.
18. Witek K, Orysiak J, **Sitkowski D**, Lerczak K, Malczewska-Lenczowska J, Grochowska J, Pintera M, Hübner-Woźniak E, Pokrywka A. Serum immunoglobulins and white blood cells in Polish athletes from different sport disciplines. W: 19th Annual Congress of the European College of Sport Science, s. 699, 2014, Amsterdam, The Netherlands.
19. Malczewska-Lenczowska J., **Sitkowski D.**, Orysiak J., Pokrywka A., Szczepanska B. The impact of training in natural hypoxia on total haemoglobin mass in male cyclists. W: 20th Annual Congress of the European College of Sport Science, s. 544, 2015, Malmö, Sweden.
20. Morawin B., Rynkiewicz M., Pokrywka A., Orysiak J., Żmijewski P, **Sitkowski D.**, Zembroń-Łacny, A. cfDNA changes in response to swimming training; a pilot study. W: 21st Annual Congress of the European College of Sport Science, s. 677-678, 2016, Vienna, Austria.
21. Konopka M, Burkhard-Jagodzińska K, Jakubiak A, Król W, Klusiewicz A, Zdanowicz R, **Sitkowski D**, Dłużniewski M, Braksator W. Electrocardiographic criteria for atrial enlargement are not useful in the evaluation of junior high-dynamic high-static athletes. 20-th Annual meeting of the European Association of Echocardiography. Abstr. Eur Heart J. ii 138, 2016, Leipzig, Germany.
22. Malczewska-Lenczowska J, Orysiak J, Szczepańska B, Surała O, Sitkowski D, Witek K. Relationships between vitamin D and iron status in male and female athletes. International Sports and Exercise Nutrition Conference, Int J Sport Nutrit Exerc Metabol, S11, 2017, Newcastle upon Tyne. Great Britain.
23. Ozimek M., Orysiak J., Malczewska-Lenczowska J., **Sitkowski D.**, Surała O., Szczepańska B. Vitamin D concentration in ice hockey players over the annual training cycle. W: 24th Annual Congress of the European College of Sport Science, s. 706, 2019, Prague, Czech Republic.
24. Malczewska-Lenczowska J, Surała O, Granda D, Szczepańska B, **Sitkowski D**, Ładyga M. The effect of physical effort on total- and free fraction of hydroxyvitamin D in national team male triathletes. W: 28th Annual Congress of the European College of Sport Science, Abstr. ID: 1637, 2023, Paris, France.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Wszystkie publikacje, które wykazują jako swoje główne osiągnięcie naukowe, są efektem współpracy międzyuczelnianej/międzyinstytucjonalnej. Dowodem na to są afiliacje współautorów moich prac, którzy pochodzą z innych instytucji niż Instytut Sportu – PIB, takich jak: Warszawski Uniwersytet Medyczny (3 z 4 prac), Akademia Wychowania Fizycznego w Krakowie (2 z 4 prac), Akademia Nauk Stosowanych w Tarnowie (1 z 4 prac), Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu (1 z 4 prac) i jedną instytucją kultury, jaką jest Polski Związek Towarzystw Wioślarskich (1 z 4 prac). Jednak dla zbudowania warsztatu badawczego, który był konieczny do przeprowadzenia cyklu badań wykorzystanych w tych publikacjach, najpierw niezbędne było wdrożenie metody pomiaru całkowitej masy hemoglobiny, co zrealizowałem poprzez staż pod kierunkiem prof. dr. hab. Waltera Schmidta i dr. hab. Nicole Prommer z Zakładu Medycyny Sportowej i Fizjologii Sportu, Uniwersytetu w Bayreuth, Niemcy, którzy są autorami optymalizacji metody oddychania zwrotnego tlenkiem węgla (Schmidt i Prommer, 2005). W późniejszym czasie oboje ww. autorzy zostali zaproszeni do Instytutu Sportu – dr. Prommer w celu dalszego szkolenia zespołu wykonującego pomiary tHb-mass, a następnie prof. Schmidt, aby zweryfikować poprawność ich wykonywania.

Ponadto uczestniczyłem w pracach zespołu naukowego, prowadzonego przez lekarzy Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego (WUM), którzy zajmowali się badaniem zmian w budowie i czynności serca, zachodzących u sportowców pod wpływem treningu wytrzymałościowego; przyczynkiem do podjęcia tego tematu były obserwacje poczynione u młodych zawodników badanych w Instytucie Sportu, z których wynikało, że u wielu z nich już na wstępnych etapach szkolenia pojawiają się cechy określane jako „serce sportowca”. (Efektem tej współpracy jest m.in. cykl publikacji wymienionych w pkt. pn. Inne publikacje oraz jedno doniesienie konferencyjne.) Poza tym byłem promotorem pomocniczym pracy doktorskiej zatytułowanej „Porównanie trzech różnych kryteriów interpretacji EKG w aspekcie różnicowania zmian adaptacyjnych od patologicznych u polskich sportowców wyczynowych”, która w 2019 r. została obroniona na II. Wydziale Lekarskim WUM przez lek. med. Agnieszka Jakubiak. Również we współpracy z WUM uczestniczyłem w pisaniu

rozdziału zatytułowanego „Doping nieświadomy”, który to rozdział jest częścią monografii pt. „Doping w sporcie” (Pokrywka i in., 2020).

Dodatkowo we współpracy z Uniwersytetem Zielonogórskim (prof. dr hab. Agnieszka Zembroń-Łacny) uczestniczyłem w pracach nad projektem naukowym (MNiSzW 0047 RS3 2015 53), zatytułowanym „cfDNA nowy wskaźnik w monitorowaniu obciążeń treningowych i stanu przemęczenia u sportowców” - efektem tego jest wspólna publikacja naukowa (PMID: 26788076). Z kolei we współpracy z Akademią Wychowania Fizycznego w Poznaniu (prof. AWF, dr hab. Joanna Karolkiewicz) uczestniczyłem w badaniach nad wpływem powysiłkowej sauny na mikrobiotę jelitową i funkcje bariery jelitowej; również efektem tej współpracy jest wspólna publikacja naukowa (PMID: 35710395).

Aktualnie współpracuję z dr. Raphaellem Faiss ze szwajcarskiego Instytutu Nauk o Sporcie na Uniwersytecie w Lozannie (ISSUL). Przy udziale dr Faiss napisałem manuskrypt pracy (aktualnie manuskrypt ten jest on w recenzji w Int J Sports Physiol Perform), będącej kontynuacją moich głównych zainteresowań naukowych. Roboczy tytuł tej pracy brzmi: „Predicting future athletic performance in young female road cyclists based on aerobic fitness and hematological variables”.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

Osiągnięcia dydaktyczne

Moja praca zawodowa prowadzona była wyłącznie w instytucji naukowo-badawczej, jaką jest Instytut Sportu w Warszawie (od 2015 r. Instytut Sportu – Państwowy Instytut Badawczy), stąd odbiorcami mojej działalności dydaktycznej byli trenerzy, lekarze sportowi, fizjoterapeuci i studenci fizjoterapii, którzy uczestniczyli w szkoleniach i wykładach prowadzonych w ramach:

1. Akademii Trenerskiej (trenerzy różnych dyscyplin sportowych)
2. Konferencji Trenerów Szkolenia Olimpijskiego (trenerzy różnych dyscyplin sportowych)
3. Konferencji Trenerów Polskiego Związku Kajakowego
4. Konferencji Trenerów Polskiego Związku Kolarskiego
5. Konferencji Trenerów Polskiego Związku Łyżwiarstwa Szybkiego
6. Konferencji Lekarzy Polskiego Związku Piłki Nożnej

7. Seminarium dla studentów Wydziału Fizjoterapii WUM
8. Kursu dla lekarzy w ramach specjalizacji z medycyny sportowej

Osiągnięcia organizacyjne

Do swoich najważniejszych osiągnięć organizacyjnych zaliczam funkcję zastępcy dyrektora Instytutu Sportu (IS) ds. spraw usług i wdrożeń, którą sprawowałem w latach 2009-2015, jednocześnie nie przerywając wypełniania obowiązków adiunkta w Zakładzie Fizjologii. W ramach tej funkcji, moim zadaniem było m.in. koordynowanie współpracy IS z polskimi związkami sportowymi (pzs), organizowanie i nadzór merytoryczny nad przebiegiem badań diagnostycznych, które IS wykonywał w tym czasie u zawodników różnych związków i federacji sportowych (nie tylko polskich), a także dla klientów indywidualnych. Poza tym zajmowałem się formułowaniem zadań naukowych i organizacją badań, które IS prowadził w ramach różnego rodzaju projektów badawczych. Równocześnie, w całym okresie pełnienia funkcji zastępcy dyrektora, byłem koordynatorem projektu Ministerstwa Sportu i Turystyki (MSiT), działającego pod nazwą „Identyfikacja i wspieranie rozwoju talentów sportowych” https://fs.siteor.com/msport/article_attachments/attachments/10886/original/TID11Xprezentacja.pdf?1334723398. Ponadto od 2010 r. pełniłem funkcję koordynatora naukowego w projekcie MSiT - „Klubu Polska - Londyn 2012” (<https://www.msit.gov.pl/pl/aktualnosci/4171,Poland-Club-Klub-Polska-new-strategy-for-Olympic-preparations.html>), a następnie „Klub Polska - Soczi 2014”. Znaczący udział kierowanego przeze mnie zespołu w przygotowaniach reprezentacji Polski do Igrzysk w Soczi, które jak dotąd były najlepszymi w historii startów polskich zawodników na zimowych igrzyskach, został oficjalnie doceniony przez MSiT (<https://msit.gov.pl/pl/aktualnosci/6892,Sukces-nie-jest-dzielem-przypadku.html>). Dodatkowo niemal od początku swej kariery zawodowej nieprzerwanie pełniłem funkcję kierownika badań/kierownika zespołu naukowo-metodycznego ds. kajakarstwa (a w latach 2003-2009 również ds. łyżwiarstwa szybkiego), która związana jest z działalnością organizacyjną, badawczą, edukacyjną i doradczą. Tym samym, na przestrzeni ww. okresu bezpośrednio uczestniczyłem i nadal uczestniczę w przygotowaniach polskich reprezentacji do udziału w najwyższej rangi zawodach, takich jak mistrzostwa świata i igrzyska olimpijskie (patrz str. 40-45 <https://forumtrenera.com/wp-content/uploads/2022/08/ft36.pdf>).

Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki

W ramach swojej działalności upowszechniających naukę opublikowałem następujące artykuły w czasopiśmie Sport Wyczyny:

1. **Sitkowski D.** Wyznaczanie progowej intensywności obciążeń specjalnych w kajakarstwie. Sport Wycz. 1993; 31(1/2): 77-83.
2. **Sitkowski D, Pośnik J.** Kilka uwag na temat bezpośredniego przygotowania do zawodów. Sport Wycz. 1994; 32(11/12): 25-31.
3. **Sitkowski D, Klusiewicz A, Pośnik J, Pawelec W.** Fizjologiczna reakcja kajakarzy-juniorów na specyficzną próbę wysiłkową w różnych okresach treningowych. Sport Wycz. 1995; 33(3/4): 65-70.
4. **Sitkowski D.** Odnowa i przetrenowanie w interdyscyplinarnej perspektywie. (Recenzja wykonana na zaproszenie redakcji czasopisma książki pt. „*Enhancing recovery; preventing underperformance in athletes*”, red. M. Kellmann.) Sport Wycz. 2008; 48(10/12):177-185
5. **Sitkowski D.** O niektórych środkach i metodach tzw. wspomaganie treningu sportowego. Sport Wycz. 2009; 49(1): 35-44.

Ponadto w następujących numerach czasopisma Forum Trenera (<https://forumtrenera.com/>): 2011,1(8):46-47, 2011,2(9):18-21, 2012,1(10):46-47, 2012,1(10):60, 2015,1(17):10-13, 2021,3(36):40-45, byłem autorem artykułów, felietonów i udzielałem wywiadów nt. zagadnień związanych z nauką w sporcie.

Kolejnym przykładem moich działań na rzecz popularyzacji nauki jest prowadzenie na stronie (<https://sport-olimpijski.pl/artykuly/archiwum/page:3pn>) zakładki pn. „Czy wiecie, że...”, prezentującej ciekawostki z zakresu nauk o sporcie (17 notatek w latach 2011-2015).

Poza tym, do tego typu działań można również zaliczyć mój udział w 17. Pikniku Naukowym (15.06.2013 r.), w czasie którego zostały przeprowadzone pokazowe badania medalistki olimpijskiej w łyżwiarstwie szybkim <https://www.sport-olimpijski.pl/p/luiza-zlotkowska-przebadana-na-pikniku-naukowym>.

7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej

Najważniejsze odznaczenia, jakie otrzymałem za osiągnięcia związane z karierą zawodową:

1. Złoty Krzyż Zasługi: *Za zasługi dla ochrony zdrowia, za działalność na rzecz rozwoju i upowszechniania sportu* (2016 r.)
2. Złoty medal Za zasługi dla Polskiego Związku Kajakowego (2016 r.)
3. Złota odznaka Za Zasługi dla Sportu (2018 r.)
4. Srebrny medal Za Zasługi dla Polskiego Ruchu Olimpijskiego (2021 r.)



Podpis wnioskodawcy