

Autoreferat

dr Sylwester Kujach
Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku
Wydział Kultury Fizycznej
Katedra Zdrowia i Nauk Przyrodniczych
Zakład Fizjologii

1. Sylwester Kujach
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 i Sportu im. Jędrzeja Śniadeckiego w Gdańsku z dnia 11 maja 2016 roku na podstawie rozprawy doktorskiej: *Trening interwałowy a poziom wybranych czynników neurotroficznych i funkcji poznawczych człowieka* (promotor: prof. dr hab. Radosław Laskowski, recenzenci: prof. dr hab. Jan Górski, prof. dr hab. Wiesław Ziółkowski). Dysertacja naukowa obroniona z wyróżnieniem.
 - Tytuł magistra na wydziale Wychowania Fizycznego, kierunek Wychowanie Fizyczne, specjalność Trenerska, uzyskany 14 maja 2009 roku w Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku. Tytuł pracy: *Wpływ treningu interwałowego na tlenowe i beztlenowe możliwości wysiłkowe organizmu człowieka*.
 - Tytuł magistra na wydziale Biologii, kierunek Biologia, specjalność: Biologia medyczna, uzyskany 10 lipca 2018 roku w Uniwersytecie Gdańskim. Tytuł pracy: *Wpływ fumaranu dimetylu na liczbę komórek mikroglejowych w strukturach przodomózgowia w szczurzym modelu choroby Alzheimera*.
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

01.10.2009 – 31.08.2016

Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku, Wydział Wychowania Fizycznego, Zakład Fizjologii na stanowisku asystenta

01.09.2016 – obecnie

Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku, Wydział Kultury Fizycznej, Zakład Fizjologii na stanowisku adiunkta

30.09.2020 – obecnie

Gdański Uniwersytet Medyczny, Wydział Nauk o Zdrowiu z Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Zakład Neurofizjologii, Neuropsychologii i Neuroinformatyki, Pracownia Spektroskopii Bliskiej Podczerwieni na stanowisku adiunkta

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

a.. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Wpływ wysiłku oraz treningu interwałowego na zmiany metaboliczne i funkcje poznawcze – wzajemne oddziaływanie pomiędzy mięśniami a mózgiem.

b. (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa):

P-1. **Kujach S**, Ziemann E, Grzywacz T, Luszczuk M, Smaruj M, Dzedzej A, Laskowski R. (2016)., Muscle oxygenation in response to high intensity interval exercises among high trained judokas., Isokinetics and Exercise Science, Volume 24, Pages 263-275, doi: 10.3233/IES-160631.

Praca wykonana w ramach grantu NCN „Preludium 4” (nr. 2012/07/N/NZ7/01902),

wskaźnik Impact Factor: **0,241**, Punktacja MEiN: **15**.

Wkład habilitanta: Autorstwo koncepcji badań; zaplanowanie badań; uczestnictwo w projekcie badawczym - przeprowadzenie badania, zebranie danych; analiza wyników badań; przygotowanie manuskryptu - wykonanie przeglądu piśmiennictwa, części metodycznej, omówienia i dyskusji wyników oraz wniosków; przygotowanie odpowiedzi na uwagi recenzentów.

P-2. **Kujach S**, Byun K, Hyodo K, Suwabe K, Fukuie T, Laskowski R, Dan I, Soya H (2018), *A transferable high-intensity intermittent exercise improves executive performance in association with dorsolateral prefrontal activation in young adults*, Neuroimage, Volume 169, Pages 117-125, doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.12.003.

Praca wykonana w ramach grantu NCN „Preludium 4” (nr. 2012/07/N/NZ7/01902) podczas stażu naukowego i współpracy międzynarodowej w Tsukuba University (Japonia).

wskaźnik Impact Factor: **5,812**, Punktacja MEiN: **45**

Wkład habilitanta: Autorstwo koncepcji badań; zaplanowanie badań; uczestnictwo w projekcie badawczym - przeprowadzenie badania, zebranie danych; analiza wyników badań; przygotowanie manuskryptu - wykonanie przeglądu piśmiennictwa, części metodycznej, omówienia i dyskusji wyników oraz wniosków; przygotowanie odpowiedzi na uwagi recenzentów.

P-3. Olek RA, **Kujach S**, Ziemann E, Ziółkowski W, Wąz P and Laskowski R, (2018), *Adaptive Changes after 2 weeks of 10-s sprint interval training with various recovery times*, Frontiers in Physiology, Volume 9, Pages 1-8, doi: 10.3389/fphys.2018.00392,

wskaźnik Impact Factor: **3,201**, Punktacja MEiN: **35**.

Wkład habilitanta: Współautorstwo koncepcji badań; zaplanowanie badań; uczestnictwo w projekcie badawczym - przeprowadzenie badania; analiza wyników badań; przygotowanie manuskryptu - wykonanie przeglądu piśmiennictwa, omówienie dyskusji, wyników oraz wniosków.

P-4. **Kujach S**, Olek RA, Byun K, Suwabe K, Sitek EJ, Ziemann E, Laskowski R, Soya H (2020), *Acute Sprint Interval Exercise Increases Both Cognitive Functions and Peripheral Neurotrophic Factors in Humans: The Possible Involvement of Lactate*, Front Neuroscience, Volume 13, Pages 1-14, doi: 10.3389/fnins.2019.01455.

Praca wykonana w ramach współpracy międzynarodowej z Tsukuba University (Japonia),

wskaźnik Impact Factor: **4,677**, Punktacja MEiN: **100**.

Wkład habilitanta: Autorstwo koncepcji badań; zaplanowanie badań; uczestnictwo w projekcie badawczym - przeprowadzenie badania, zebranie danych; analiza wyników badań; przygotowanie manuskryptu - wykonanie przeglądu piśmiennictwa, części metodycznej, omówienia i dyskusji wyników oraz wniosków; przygotowanie odpowiedzi na uwagi recenzentów.

P-5. **Kujach S**, Chroboczek M, Jaworska J, Sawicka A, Smaruj M, Winklewski P, Laskowski R. (2022), *Judo training program improves brain and muscle function and elevates the peripheral BDNF concentration among the elderly*, Scientific Reports, Volume 12, Pages 1-9, doi: 10.1038/s41598-022-17719-6.

Praca wykonana w ramach grantu NCN „Opus 17” (nr. 2019/33/B/NZ7/01980),

wskaźnik Impact Factor: **4,996**, Punktacja MEiN: **140**.

Wkład habilitanta: Autorstwo koncepcji badań; zaplanowanie badań; uczestnictwo w projekcie badawczym - przeprowadzenie badania, zebranie danych; analiza wyników badań; przygotowanie manuskryptu - wykonanie przeglądu piśmiennictwa, części metodycznej, omówienia i dyskusji wyników oraz wniosków; przygotowanie odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Sumaryczny Impact Factor dla jednotematycznego cyklu publikacji: **18,927**

Sumaryczna punktacja MEiN dla jednotematycznego cyklu publikacji: **335**

c. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wstęp

Regularnie podejmowana aktywność fizyczna wiąże się z wieloma korzyściami zdrowotnymi między innymi konwersją składu ciała zwłaszcza w kierunku tkanek metabolicznie aktywnych, zwiększeniem wydolności i sprawności fizycznej oraz poprawą szeregu wskaźników zdrowotnych takich jak ciśnienie tętnicze, profil lipidowy czy spoczynkowy poziom glukozy we krwi [1]. Wykazano także, iż trening fizyczny zmniejsza ryzyko powikłań i śmiertelności w obszarze chorób sercowo-naczyniowych czy nowotworowych [2, 3].

Aktualne badania naukowe ponadto sugerują, iż regularnie podejmowana aktywność fizyczna może być skutecznym środkiem w zakresie poprawy funkcji kognitywnych zarówno młodych jak i starszych osób - szczególnie narażonych na choroby neurodegeneracyjne [4]. Pomimo faktu, iż wielu przedstawicieli filozofii starożytnej wskazywało na potencjalne zwiększenie zdolności poznawczych człowieka w odpowiedzi na trening fizyczny, to relatywnie niedawno zdefiniowano potencjalne mechanizmy leżące u podstaw tych zależności [5–8]. Było to możliwe dzięki m.in. rozwojowi nieinwazyjnych metod neuroobrazowych oraz coraz dokładniejszych metod znakowania cząstek biologicznych.

Międzynarodowe organizacje zajmujące się tematyką zdrowia i jego zachowywania rekomendują podejmowanie 150min wysiłku fizycznego o intensywności umiarkowanej, bądź 75 min o wysokiej intensywności tygodniowo jako minimalną dawkę w profilaktyce zdrowotnej [9]. Mimo wzrastającej świadomości ludzie nie spełniają tych minimalnych wytycznych dotyczących podejmowania aktywności fizycznej [10,11]. Przyczyny, stanowiące główne bariery mogą być różne w zależności od wieku, płci czy stanu zdrowia. Niemniej jednym z najczęściej wskazywanych powodów jest „brak czasu”. Fakt ten skłonił środowisko naukowe do poszukiwania odpowiednich, przynoszących pożądane zmiany adaptacyjne, strategii prewencyjno-terapeutycznych, mogących korzystnie wpływać na stan zdrowia osób w różnym wieku.

Uwzględniając istotnie niższą objętość treningową powyższe kryteria spełnia metoda treningu interwałowego (IT) [12–15]. W poszukiwaniu efektywnych form treningowych już w latach dwudziestych ubiegłego wieku legendarny biegacz długodystansowy Paavo Nurmi zaczął wprowadzać elementy IT do swojego rocznego cyklu treningowego [16]. Metoda „Fartlek”, bo tak pierwotnie nazywano IT, wykorzystywana była przez biegaczy uczestniczących w zawodach biegów przełajowych. Polegała ona na wykonywaniu pracy ze zmienną intensywnością (sprinty lub biegi pod górę przeplatane biegiem z niską prędkością). W latach 50-tych, za sprawą czterokrotnego medalisty igrzysk olimpijskich czeskiego biegacza Emila Zatopka, IT zyskiwała na popularności wśród europejskich atletów reprezentujących różne dyscypliny sportu. Jedną z pierwszych prac naukowych, szczegółowo opisujących założenia metodyczne IT, opublikowano pod koniec lat 50-tych oraz na początku lat 60-tych ubiegłego stulecia [17, 18]. Wskazano, iż metoda interwałowa charakteryzuje się programowym następowaniem faz obciążeń i wypoczynku. Intensywność i czas trwania kolejnych wysiłków, jak też długość przerw są ściśle programowane według zasady, że każdy kolejny wysiłek jest wykonywany na niepełnym wypoczynku [19]. W związku z czym w metodzie tej możemy wyróżnić oraz modyfikować takie składowe jak rodzaj wysiłku, liczbę powtórzeń i serii, intensywność i czas trwania odcinków pracy, czas trwania przerw wypoczynkowych oraz czas trwania całej interwencji treningowej. Mnogość elementów wchodzących w skład metody interwałowej mogących podlegać modyfikacji z jednej strony umożliwia dostosowanie jej do potrzeb ćwiczącego z drugiej zaś strony utrudnia ocenę skuteczności jej stosowania. W światowej literaturze naukowej pojawia się wiele modyfikacji IT, niemniej najczęstszym elementem jest intensywność wysiłku fizycznego. Najnowsza klasyfikacja wyróżnia dwa najczęściej stosowane protokoły - Sprinterski Trening Interwałowy (*ang. Sprint Interval Training: SIT* lub w przypadku pojedynczej sesji treningowej *Sprint Interval Exercise: SIE*) oraz Wysoce Intensywny Trening Interwałowy (*ang. High Intensity Interval Training: HIT* lub w przypadku pojedynczej sesji treningowej *High Intensity Interval Exercise: HIE*) [16]. Trening SIT charakteryzuje się krótkim czasem pracy oraz supramaksymalną intensywnością, natomiast trening HIT ze względu na submaksymalną lub maksymalną intensywność, charakteryzuje się wydłużonym czasem pracy.

Próbie naukowej weryfikacji skuteczności wysoce intensywnych protokołów interwałowych zweryfikowano ponownie na początku lat 90-tych [20] oraz dwutysięcznych

[21]. Na podstawie uzyskanych wyników autorzy badań stwierdzili, iż HIT może być metodą prowadzącą do osiągnięcia pożądanych zmian adaptacyjnych przy jednoczesnym, relatywnie niewielkim zaangażowaniu czasowym (*ang. time-efficient strategy*) [22]. Wnioski badań wskazują również na po treningowe zwiększenie maksymalnego poboru tlenu (VO_{2max}) [23, 24], poprawę funkcji śródbłonna naczyniowego [25], obniżenia stężenia glukozy we krwi oraz redukcji tkanki tłuszczowej zarówno w populacji osób starszych jak i zawodników reprezentujących różne dyscypliny sportowe [26]. Pojedyncza sesja IT istotnie zwiększa wskaźniki charakteryzujące czynność układów krążenia i oddechowego [24, 27, 28]. Zaobserwowano także, iż 3 godziny po sesji IT kilkukrotnie zwiększa się mRNA dla koaktywatora proliferatora peroksyzomów 1 alfa (*ang. peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR)-gamma coactivator 1alpha: PGC-1 α*) będącego głównym regulatorem biogenezy mitochondriów [29–31]. Co więcej już 2-tygodniowa interwencja treningu interwałowego prowadziła do zwiększenia aktywności enzymów mitochondrialnych takich jak syntaza cytrynianowa czy dehydrogenaza β -OHacyloCoA oraz oksydazy cytochromu C [12, 24, 32]. Dlatego też pomimo wysokiej intensywności oraz relatywnie niewielkiej objętości treningowej aplikacja IT prowadzi do aerobowego charakteru zmian adaptacyjnych [24, 26]. Niemniej z uwagi na wcześniej wspomnianą różnicę w stosowanych protokołach treningowych trudno jest jednoznacznie ocenić powysiłkowe jak i po treningowe zmiany na poziomie poszczególnych układów, narządów czy tkanek.

Wzrastająca ilość dowodów naukowych wskazuje na możliwy, korzystny wpływ wysiłku i treningu fizycznego na funkcje poznawcze człowieka, między innymi uwagę czy funkcje wykonawcze [8, 33, 34]. Wśród przeprowadzonych eksperymentów większość koncentrowała się na aerobowym wysiłku/treningu fizycznym, w którym intensywność oscylowała między lekką, a umiarkowaną (z uwzględnieniem klasyfikacji Amerykańskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej) [35]. Autorzy wcześniejszych badań wskazywali, iż zbyt wysoka intensywność wysiłku mogłaby prowadzić do wzrastającego zmęczenia prowadząc do obniżenia funkcji kognitywnych człowieka [36, 37]. Dlatego też badania dotyczące wpływu wysiłku fizycznego o wysokiej intensywności, na funkcje poznawcze nie były dotąd szeroko podejmowane. Niemniej z uwagi na wcześniej opisane korzyści zdrowotne wynikające z stosowania IT (m.in. wzrost wydolności krążeniowo-oddechowej, zmniejszenie insulinooporności oraz ilości tkanki tłuszczowej) podjąłem się próby weryfikacji skuteczności tej metody w kontekście zdrowia mózgu i funkcji poznawczych człowieka.

Już pojedyncza sesja wysiłku fizycznego (w tym IT) może prowadzić do wzbudzenia ośrodkowego układu nerwowego (OUN) poprzez zwiększenie syntezy oraz uwalniania neurotransmiterów, hormonów czy białek troficznych [28, 34, 38–41]. Zwiększone powysiłkowe pobudzenie OUN może konsekwentnie zwiększać mózgowy przepływ krwi [39, 42]. Metabolizm tkanki mózgowej w tym obszarów krytycznych dla funkcjonowania poznawczego zmienia się w wyniku lepszego utlenowania oraz pod wpływem syntetyzowanych obwodowo molekuł, które pokonują barierę krew-mózg) [5, 28, 39, 43, 44]. Powtarzany cyklicznie wysiłek fizyczny (proces treningowy) zatem inicjuje zarówno proces plastyczności synaptycznej jak i powstawanie nowych neurocytów – neurogenezę [6, 33]. Końcowym rezultatem obu powyżej opisanych procesów jest zwiększenie funkcjonowania poznawczego [44]. Czynność skurczowa mięśni szkieletowych wiąże się z uwalnianiem białek określanych miokinami, które mogą oddziaływać na inne narządy (np. mózg, wątrobę, tkankę tłuszczową) i stymulować je do uwalniania białek nazywanych exerkinami (*ang. exercise, cyto-kine, myo-kine*) [28, 44, 45]. Należą do nich białka, peptydy, mikro RNA. Większość z nich może oddziaływać w sposób auto-, para-, oraz endokrynnny. Spośród wielu uwalnianych w trakcie wysiłku fizycznego molekuł niektóre charakteryzują się potencjałem prozapalnym, podczas gdy inne mają właściwości przeciwzapalne i neuroprotektoryjne [46]. Te dwa przeciwstawne procesy uważane są również za silne modulatory plastyczności synaptycznej oraz neurogenyzy. Za różnice w syntezie i uwalnianiu tychże białek mogą także odpowiadać, rodzaj, czas trwania i intensywność wysiłku fizycznego.

Organizacje zajmujące się tematyką zdrowia mózgu prognozują, iż liczba osób zmagających się z zaburzeniami funkcji poznawczych będzie dramatycznie wzrastać sięgając 139mln w roku 2050. Każdego roku na całym świecie odnotowuje się ponad 10 milionów nowych przypadków demencji. Stanowi to jeden nowy przypadek co 3,2 sekundy [47]. Wzrastająca populacja osób z zaburzeniami poznawczymi będzie powodowała znaczne zwiększenie wydatków na leczenie, opiekę instytucjonalną i rehabilitację. Co więcej choroby mózgu stanowią nie tylko istotne obciążenie systemowe, ale również indywidulane rodzin i opiekunów osób chorych. Warto wspomnieć, iż zaburzenia poznawcze dotyczą nie tylko osób starszych, ale również dotyczą młodszych pacjentów innych chorób neurodegeneracyjnych. Ocenia się, że szacowany światowy koszt leczenia jedynie demencji przekracza obecnie 1,3 biliona dolarów, a w 2030 roku wzrośnie do 2,8 biliona dolarów [47]. Dlatego też wzrasta ranga metod nefarmakologicznego wsparcia mogącego efektywnie modulować proces

leczenia. Naukowcy sugerują, iż główne wysiłki należałoby skoncentrować na profilaktyce, z naciskiem na modyfikowalne czynniki ryzyka takie jak aktywność fizyczna [48].

Omówienie prac:

(P-1) Sprinterski wysiłek interwałowy (SIE) - reakcja fizjologiczna:

Na pierwszym etapie prowadzonych badań **(P-1)** wraz z zespołem badawczym zweryfikowałem wpływ pojedynczej sesji SIE (trzy 30 sekundowe odcinki pracy supramaksymalnej rozdzielonych 4 minutową bierną przerwą wypoczynkową) na zmiany wskaźników charakteryzujących tlenową i beztlenową wydolność fizyczną, równowagę kwasowo-zasadową oraz oksigenację mięśniową młodych aktywnych fizycznie osób. Z uwagi na specyficzną strukturę metody interwałowej do badań zostali włączeni zawodnicy trenujący sporty walki. Nasze badania wykazały, iż pojedyncza sesja SIE nasila zarówno metabolizm anaerobowy jak i aerobowy, czego wyrazem było istotne zwiększenie stężenia mleczanu we krwi wraz z jednoczesnym nasileniem zmian w zakresie wskaźników sercowo-oddechowych. Zaobserwowaliśmy zmiany w oksigenacji tkanki mięśniowej w mięśniu czworogłowym uda oraz zmiany równowagi kwasowo-zasadowej w odpowiedzi na pojedynczą sesję SIE. Metabolizm beztlenowy został nasilony w celu pokrycia olbrzymiego zapotrzebowania energetycznego pracujących mięśni. Spowodowało to istotne zwiększenie stężenia mleczanu we krwi prowadzące do zaburzenia równowagi kwasowo-zasadowej (obniżenia pH, spadku HCO_3^- i przesunięcia w prawo krzywej dysocjacji hemoglobiny). Akumulacja mleczanu we krwi i wynikający z niej spadek pH skutkowały obniżeniem się mocy beztlenowej i pracy całkowitej jak również wzrostem w zakresie deoksyhemoglobiny w mięśniu czworogłowym uda. Ponadto zmiany deoksyhemoglobiny były dodatnio skorelowane ze stężeniem mleczanu. Dzięki zastosowaniu nieinwazyjnej metody spektroskopii bliskiej podczerwieni (*ang. near infrared spectroscopy: NIRS*) dowiodłem, iż pomimo intensywności supramaksymalnej silnie skorelowanej nasileniem metabolizmu beztlenowego, zużycie tlenu w tkance mięśniowej wzrasta sukcesywnie już od początkowych sekund wysiłku. Zatem zastosowanie metody NIRS pozwoliło ocenić zmienność metabolizmu energetycznego aktywnych fizycznie osób. Indukowane zmiany można wyjaśnić wcześniejszymi badaniami, w których stwierdzono, że pojedyncza sesja treningu interwałowego aktywuje transkrypcję mRNA oraz syntezę (PGC-1 α) będącego głównym

modulatorem biogenezy mitochondriów. Co ciekawe powysiłkowa indukcja PGC-1 α , obserwowana nie tylko w mięśniach szkieletowych, ale również mózgu, stymuluje syntezę neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego (*ang. brain derived neurotrophic factor: BDNF*) mogącego wpływać na zwiększenie funkcjonowania poznawczego. Dlatego też badania własne oraz przytoczone doniesienia innych autorów skłoniły mnie do prowadzenia kolejnych eksperymentów weryfikujących rolę pojedynczej jednostki wysiłku i systematycznego treningu interwałowego w modulowaniu funkcji poznawczych.

(P-2) Wysoce intensywny wysiłek interwałowy (HIE) - funkcje poznawcze a zmiany aktywności neuronalnej kory mózgu (sprężenie nerwowo-naczyniowe):

Chcąc zweryfikować czy HIE będzie prowadził do zwiększenia neuroaktywacji obszarów korowych odpowiedzialnych za regulację procesów poznawczych człowieka, wraz z zespołem badawczym zmodyfikowałem protokół wysiłku w taki sposób, aby mógł być z powodzeniem wykonany przez osoby z niskim poziomem wydolności fizycznej m.in. nieaktywne fizycznie, seniorzy, pacjenci, tym samym dostępny szerszemu gronu populacji. Wcześniej prowadzone badania obrazowe opierające się o metody rezonansu magnetycznego (MRI) oraz pozytonowej tomografii emisyjnej (PET) wskazywały na udział czołowych obszarów kory mózgu w funkcjonowaniu poznawczym człowieka (m.in. funkcje wykonawcze). Niemniej z uwagi na wielkość aparatu MRI oraz inwazyjność badania PET związaną z podawaną badanemu substancją promieniotwórczą intensywne wykorzystanie tych metod jest problematyczne. Dlatego też zastosowałem nieinwazyjną technikę spektroskopii bliskiej podczerwieni umożliwiającą obserwację zmian nerwowo-naczyniowych (*ang. neuro-vascular coupling*) obszarów korowych mózgowia. Do oceny funkcji wykonawczych wraz z zespołem badawczym zastosowaliśmy także próbę interferencji poznawczej Stroopa. Uczestnicy badania poddani zostali również ocenie nastroju (pobudzenie/wzbudzenie, przyjemność) z wykorzystaniem dwuwymiarowej skali nastroju.

Uzyskane wyniki wykazały skuteczność HIE w zakresie usprawnienia funkcji wykonawczych. Poprawa funkcji wykonawczych, wyrażona w skróceniu czasu reakcji w teście Stroopa, była możliwa poprzez zwiększenie aktywacji w lewej grzbietowo-bocznej części kory przedczołowej (*ang. left dorsolateral prefrontal cortex: L-DLPFC*). Wykazaliśmy również zwiększenie wzbudzenia w następstwie HIE, co więcej wzbudzenie to indukowało wzrost

aktywności L-DLPFC. Stwierdziliśmy, iż prawdopodobnym mechanizmem neurobiologicznym stojącym za powysiłkowym zwiększeniem aktywacji L-DLPFC i funkcji wykonawczych może również być nasilenie aktywności części wstępującej układu siatkowego (m.in. układów dopaminergicznego i/lub adrenergicznego). W roku publikacji (2018) był to pierwszy empiryczny dowód skuteczności HIE w zakresie zwiększenia funkcji wykonawczych w połączeniu z grzbietowo-boczną aktywacją przedczołową u młodych dorosłych.

(P-4) Sprinterski wysiłek interwałowy – (SIE) a funkcje poznawcze - mechanizm neurobiologiczny:

Poszukując mechanizmu neurobiologicznego, stojącego za powysiłkowymi zmianami behawioralnymi, obserwowanymi we wcześniejszych eksperymentach, podjąłem się zdefiniowania odpowiedzi na pytanie czy SIE zmieni obwodowe stężenie wybranych białek o potencjale neuroprotekcynnym, mogących również oddziaływać na zdolności poznawcze człowieka (**P-4**).

Do oceny funkcji poznawczych wykorzystałem próbę interferencji poznawczej Stroopa, zaś do oceny szybkości psychomotorycznej oraz pamięci operacyjnej Test Łączenia Punktów (*ang. Trail Making Test: TMT*) część A i B). Zastosowany protokół wysiłkowy SIE istotnie zwiększył funkcje poznawcze w takich domenach jak funkcje wykonawcze (skrócenie czasu wykonania testu Stroopa), sprawność psychomotoryczną (TMT-A), wzrokowo-przestrzenna pamięć operacyjną i zdolność przełączenia uwagi (TMT-B). Ponadto SIE powodował znaczne zwiększenie stężenia surowiczego BDNF, insulinopodobnego czynnika wzrostu (*ang. insulin growth factor: IGF-1*) oraz czynnika wzrostu śródbłonnka naczyńowego (*ang. vascular endothelial growth factor: VEGF*). Molekuły te są silnymi modulatorami procesów prowadzących do funkcjonalnych jak i strukturalnych zmian w obrębie ośrodkowego układu nerwowego. Z uwagi na zaobserwowaną dodatnią korelację pomiędzy obwodowym stężeniem BDNF, a poziomem funkcji wykonawczych wyniki tych badań zdają się potwierdzać neuro-modulującą rolę tego białka. Co więcej zmianom stężenia czynników neuroprotekcynnych towarzyszyło zwiększone obwodowe stężenie mleczanu (LA). Warto dodać, iż SIE wiąże się ze wzrostem metabolizmu glukozy i produkcji LA, co zaobserwowano we wcześniejszych badaniach (m.in. **P-1**). Ponadto glukoza i LA mogą być ważnymi źródłami energii zarówno dla pracujących mięśni jak i ludzkiego mózgu. Dlatego też wzrost aktywności

neuralnej (funkcjonowanie poznawcze, wysiłek fizyczny) będzie wiązał się ze wzrostem zapotrzebowania na energię. Wyniki moich badań wykazały także dodatnią korelację między stężeniem LA, a stężeniami białek neuroprotektoryjnych. Relatywnie niedawno LA został określony "brakującym czynnikiem wysiłkowym" (*ang. missing exercise factor*) indukującym syntezę BDNF. Mleczan zmieniając stosunek NAD^+/NADH uaktywnia SIRT1, co prowadzi do aktywacji hipokampalnego szlaku PGC-1 α /FNDC5, indukując ekspresję BDNF. Odkąd wyniki eksperymentów przeprowadzanych na modelach zwierzęcych wskazywały na możliwość LA w modulowaniu syntezy BDNF (szlak PGC1- α /FNDC5), VEGF (szlak HCAR1-VEGF) oraz IGF-1 (oś somatotropową) nie można wykluczyć roli LA w indukowaniu syntezy jak i uwalniania białek troficznych w badaniach z udziałem ludzi. Wiąże się to również z możliwością transportu LA przez barierę krew-mózg oraz funkcją „pierwszej miokiny” jaka została mleczanowi przypisana w ostatnich doniesieniach naukowych. Podsumowując poprawa sprawności poznawczej w odpowiedzi na SIE jest regulowana na pośrednictwem zwiększenia syntezy i/lub uwalniania LA jak i BDNF, IGF-1 oraz VEGF wśród młodych osób.

(P-3) Sprinterski trening interwałowy – (SIT) a fizjologiczne zmiany adaptacyjne:

Po stwierdzeniu, że pojedyncza sesja SIE istotnie nasila zarówno metabolizm tlenowy jak i beztlenowy podjąłem próbę wyjaśnienia czy dwutygodniowa forma sprinterskiego treningu interwałowego SIT będzie prowadziła do zmian adaptacyjnych związanych ze zwiększeniem zarówno wydolności tlenowej jak i beztlenowej (**P-3**). Co więcej, ocenie poddałem dwa protokoły interwałowe różniące się stosunkiem czasu pracy do wypoczynku (długością przerw między wysiłkowymi). Chcąc potwierdzić zaobserwowany w sposób nieinwazyjny tlenowy charakter zmian przystosowawczych w odpowiedzi na wysiłek interwałowy (**P-1**) dodatkowo zastosowałem metodę cienkoigłowej biopsji mięśniowej w celu określenia zmian adaptacyjnych na poziomie komórki mięśniowej. Oba protokoły treningowe wywołały istotny wzrost maksymalnego poboru tlenu oraz aktywności syntazy cytrynianowej. Wyniki testów oceniających wydolność beztlenową wykazały także istotny potreningowy wzrost mocy szczytowej, średniej oraz pracy całkowitej. Wyniki badań potwierdziły tlenowy charakter zmian adaptacyjnych. Wskazały również na potencjalne korzyści w indukowaniu korzystnych zmian w zakresie kształtowania wydolności beztlenowej młodych osób. Co więcej krótki czas pojedynczej sesji SIT jak i całej interwencji wskazały, iż stosowanie metody interwałowej przynosi szybkie zmiany adaptacyjne przy niskim zaangażowaniu czasowym.

Brak istotności w zakresie parametrów wydolności tlenowej oraz beztlenowej pomiędzy protokołami SIT o zmiennym czasie przerw wypoczynkowych sugeruje także możliwość aplikacji tej metody osobom ze zróżnicowanym wyjściowym poziomem wydolności fizycznej. Jednocześnie, zaobserwowane tlenowe zmiany adaptacyjne (również na poziomie komórkowym) sugerowały potencjalną możliwość efektywnego wykorzystania metody treningu interwałowego w programach terapeutycznych koncentrujących się wokół szeroko pojętego zdrowia mózgu.

(P-5) Program treningowy bazujący na metodzie interwałowej HIT - (oś mięśniowo-mózgowa):

Interwałowe protokoły treningowe okazały się być silnymi bodźcami stymulującymi odpowiedź krążeniowo-oddechową czyniąc je skutecznymi w kształtowaniu wydolności fizycznej tlenowej oraz beztlenowej. Powszechnie wiadomo, iż poziom wydolności fizycznej dodatnio skorelowany jest z stanem zdrowia oraz ujemnie z ryzykiem śmiertelności bez względu na przyczynę. Zatem badania moje jak i innych autorów wskazują na możliwości efektywnego wykorzystania interwałowych protokołów treningowych w programach prewencyjnych chorób sercowo-oddechowych i/lub sercowo-naczyniowych. Z uwagi na wcześniej opisany dramatyczny wzrost ilości osób narażonych na szereg chorób neurodegeneracyjnych, w tym osłabienie funkcji poznawczych, na kolejnym etapie badań starałem się zweryfikować, czy metoda treningu interwałowego skuteczna w zakresie chorób sercowo-naczyniowych, będzie równie efektywna w kontekście funkcji kognitywnych człowieka. Badania zawarte w manuskrypcie wchodzącym w skład cyklu prac (P-5) dotyczą wpływu 3-miesięcznego programu treningowego na funkcje wykonawcze, obwodowe stężenie BDNF oraz takie zdolności motoryczne jak siła i równowaga osób starszych. Z uwagi na osłabianie się wielu funkcji poznawczych m.in. funkcji wykonawczych w procesie starzenia się, w niniejszej pracy badaniami objęto seniorów przekraczających 65 rok życia. Program treningowy opierał się wykonywaniu ćwiczeń bazujących na technikach Judo. Podczas jednostki treningowej techniki judo przeplatane są okresami wypoczynku, dlatego zasadne jest uznanie, iż trening programowany na bazie judo oparty jest o metodę interwałową. Spośród szerokiego wachlarza ćwiczeń wyodrębniłem techniki kształtujące równowagę, siłę oraz szczególnie ważną umiejętność dla ulegających często urazom wynikającym z upadków, grupę technik bezpiecznego upadania. 12-tygodniowy program treningowy spowodował

istotne skrócenie czasu reakcji w teście Stroopa wskazując na pozytywny efekt zastosowanej interwencji na funkcje wykonawcze osób starszych. Warto wspomnieć, iż właśnie funkcje wykonawcze ulegają osłabieniu wraz wiekiem, a ich utrzymanie lub poprawa może przełożyć się na zwiększenie jakości życia (codzienne funkcjonowanie). Ponadto procedura treningowa spowodowała zwiększenie obwodowego stężenia BDNF u badanych seniorów. Mimo, iż źródła surowiczego stężenia BDNF nie zostały do końca poznane i wciąż są obiektemżywionej debaty naukowej, przyjmuje się że w około 80% krążącego w następstwie wysiłku BDNF jest pochodzenia mózgowego. Zatem stwierdzić możemy, że za poprawą funkcji wykonawczych u badanych seniorów częściowo odpowiadać może ośrodkowy potreningowy wzrost BDNF.

Należy jakkolwiek wspomnieć, iż nie do końca w pełni poznano mechanizmy stojące za potreningowymi zmianami stężenia tego białka. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów cechują się dużą rozbieżnością. Naukowcy obserwowali w swoich badaniach wzrost, brak zmian, a nawet obniżenie obwodowego stężenia BDNF w badaniach z udziałem ludzi. Co ciekawe obniżonym stężeniem cechowali się zarówno pacjenci borykających się z chorobami neurodegeneracyjnymi (schizofrenia, demencja, depresja) jak również osoby z podwyższonym wyjściowym poziomem wydolności fizycznej (VO_{2max}). Sugeruje się, że zmiany stężenia mogą wynikać z zapotrzebowania i absorpcji tego białka przez ośrodkowy układ nerwowy w przypadku chorych osób, natomiast osoby młode i aktywne fizycznie będą posiadały wyższą gęstość receptora dla BDNF a jego zapotrzebowanie będzie również zwiększone przez tkanki obwodowe (udział metabolizmie tłuszczów oraz regeneracji motoneuronów).

Podsumowując, w prowadzonych przez mnie badaniach zaobserwowany po okresie treningowym wzrost siły kończyn dolnych oraz zwiększenie równowagi u badanych seniorów sugeruje wykorzystanie treningu interwałowego przeprowadzonego w formie judo w zakresie zwiększenia zarówno funkcjonowania poznawczego jak również sprawności fizycznej w populacji osób starszych.

Podsumowanie

Zebrane wyniki wskazują, iż metoda treningu interwałowego jest skuteczna w zakresie zwiększania zarówno wydolności i sprawności fizycznej jak i zdolności poznawczych człowieka.

Wykazałem, że już pojedyncza sesja wysoce intensywnego wysiłku interwałowego zwiększa pobudzenie prowadząc do nasilonej neuroaktywacji w obszarze krytycznym dla funkcjonowania poznawczego - lewej grzbietowo bocznej części kory przedczołowej. Wzbudzenie ośrodków korowych prowadziło do usprawnienia funkcji wykonawczych badanych osób. Mechanizm stojący za powysiłkowym zwiększeniem sprawności poznawczej może również polegać na obwodowym jak i ośrodkowym uwalnianiu i/lub syntezie molekuł charakteryzujących się potencjałem neuro-protektoryjnym. Uzyskane wyniki wykazały kluczową rolę BDNF, IGF-1 oraz VEGF. Co więcej obwodowe stężenie tych białek było dodatnio skorelowane z powysiłkowym stężeniem mleczanu, którego wysokie obwodowe stężenia są cechą charakterystyczną intensywnych protokołów interwałowych. Wykazałem, iż trening interwałowy prowadzi do zwiększenia maksymalnego poboru tlenu powiązanego z wzrostem aktywności syntazy cytrynianowej jednego z kluczowych enzymów oksydacyjnych oraz wskaźników krążeniowo-oddechowych u młodych osób. Ponadto zmodyfikowany w oparciu o ćwiczenia wchodzące w skład szerokiego wachlarza technik judo treningowy protokół interwałowy prowadził zarówno do usprawnienia funkcji wykonawczych jak i zwiększenia równowagi i wzrostu siły kończyn dolnych wśród osób starszych. Możliwość modyfikacji metody interwałowej umożliwia zatem dostosowanie jej do odmiennych potrzeb osób ćwiczących wskazując jednocześnie na możliwość praktycznego wykorzystania w prozdrowotnych programach prewencyjnych i rehabilitacyjnych.

Kierunki dalszych badań:

Ze względu na skuteczność metody interwałowej w zakresie funkcji poznawczych kolejnym krokiem badawczym umożliwiającym głębsze poznanie mechanizmów ośrodkowych stojących za zmianami behawioralnymi jest rozszerzenie badań o nowoczesne metody neuroobrazowe wykorzystujące techniki funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI). Mnogość zmiennych wchodzących w skład protokołów interwałowych skłoniła mnie również do próby ich sklasyfikowania. W badaniach realizowanych w ramach grantu NCN Opus17 podzieliłem protokoły interwałowe na protokoły interwałowe aerobowe oraz siłowe/oporowe. W niniejszym projekcie weryfikować będę także rolę molekuł prozapalnych, antyzapalnych oraz białek neuro-protektoryjnych w modulowaniu zmian strukturalnych oraz funkcjonalnych mózgowia.

Piśmiennictwo:

1. Bauman AE. Updating the evidence that physical activity is good for health: an epidemiological review 2000-2003. *J Sci Med Sport*. 2004;7 1 Suppl:6–19.
2. Taylor RS, Brown A, Ebrahim S, Jolliffe J, Noorani H, Rees K, et al. Exercise-based rehabilitation for patients with coronary heart disease: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Med*. 2004;116:682–92.
3. Lollgen H, Volker K, Bockenhoff A, Lollgen D. [Physical activity and prevention of cardiovascular diseases]. *Herz*. 2006;31:519–23.
4. Liu-Ambrose T, Barha CK, Best JR. Physical activity for brain health in older adults. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*. 2018;43.
5. Phillips C, Baktir MA, Srivatsan M, Salehi A. Neuroprotective effects of physical activity on the brain: a closer look at trophic factor signaling. *Front Cell Neurosci*. 2014;8:170.
6. van Praag H. Exercise and the brain: something to chew on. *Trends Neurosci*. 2009;32:283–90.
7. Erickson KI, Miller DL, Roecklein KA. The aging hippocampus: interactions between exercise, depression, and BDNF. *Neuroscientist*. 2012;18:82–97.
8. Kramer AF, Hahn S, Cohen NJ, Banich MT, McAuley E, Harrison CR, et al. Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*. 1999;400:418–9.
9. WHO. Global status report on physical activity. Global status report on physical activity 2022. Geneva: World Health Organization; 2022. 2022. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>.
10. Godin GR, Desharnais P, Valois P, Lepage J, Jobin, Bradet R. Differences in perceived barriers to exercise between high and low intenders: observations among different populations. *Am J Heal Promot*. 1994;:279–85.
11. Kostka T, Kujawska-Danecka H, Hajduk A, Kostka J, Zdrojewski T. Badanie poszczególnych obszarów stanu zdrowia osób starszych, w tym jakości życia związanej ze zdrowiem. In: *Aktywność fizyczna*. 2021. p. 779–98.
12. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol*. 2006;575.
13. Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U. Effects of sprint interval training on VO₂max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal*

of Medicine and Science in Sports. 2013;23.

14. Gibala MJ, Gillen JB, Percival ME. Physiological and health-related adaptations to low-volume interval training: influences of nutrition and sex. *Sport Med.* 2014;44 Suppl 2:S127-37.

15. Weston M, Taylor KL, Batterham AM, Hopkins WG. Effects of low-volume high-intensity interval training (HIT) on fitness in adults: a meta-analysis of controlled and non-controlled trials. *Sport Med.* 2014;44:1005–17.

16. Torma F, Gombos Z, Jokai M, Takeda M, Mimura T, Radak Z. High intensity interval training and molecular adaptive response of skeletal muscle. *Sports Medicine and Health Science.* 2019;1.

17. Åstrand I, Åstrand P -O, Christensen EH, Hedman R. Intermittent Muscular Work. *Acta Physiol Scand.* 1960;48.

18. Roskamm H, Reindell H, Keul J. The physiological bases of various training methods. *Sportarzt Ver Sportmed.* 1962;13.

19. Billat VL. Interval training for performance: A scientific and empirical practice: Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: Anaerobic interval training. *Sports Medicine.* 2001;31.

20. Tabata I, Hawley JA, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28.

21. Gibala MJ. High-intensity interval training: A time-efficient strategy for health promotion? *Current Sports Medicine Reports.* 2007;6.

22. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, Macdonald MJ, Mcgee SL, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol.* 2008;586.

23. Ziemann E, Grzywacz T, Luszczuk M, Laskowski R, Olek RA, Gibson AL. Aerobic and anaerobic changes with high-intensity interval training in active college-aged men. *J Strength Cond Res.* 2011;25:1104–12.

24. Olek RA, Kujach S, Ziemann E, Ziolkowski W, Waz P, Laskowski R. Adaptive changes after 2 weeks of 10-s sprint interval training with various recovery times. *Front Physiol.* 2018;9 APR.

25. Wisloff U, Stoylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognmo O, Haram PM, et al. Superior

cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*. 2007;115:3086–94.

26. Gibala MJ, Little JP. Physiological basis of brief vigorous exercise to improve health. *J Physiol*. 2020;598:61–9.

27. Kujach S, Ziemann E, Grzywacz T, Luszczuk M, Smaruj M, Dzedzej A, et al. Muscle oxygenation in response to high intensity interval exercises among high trained judokas. *Isokinet Exerc Sci*. 2016;24:263–75.

28. Kujach S, Olek RA, Byun K, Suwabe K, Sitek EJ, Ziemann E, et al. Acute Sprint Interval Exercise Increases Both Cognitive Functions and Peripheral Neurotrophic Factors in Humans: The Possible Involvement of Lactate. *Front Neurosci*. 2020;13.

29. Wu Z, Puigserver P, Andersson U, Zhang C, Adelmant G, Mootha V, et al. Mechanisms controlling mitochondrial biogenesis and respiration through the thermogenic coactivator PGC-1. *Cell*. 1999;98:115–24.

30. Gibala MJ, McGee SL, Garnham AP, Howlett KF, Snow RJ, Hargreaves M. Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1 α in human skeletal muscle. *J Appl Physiol*. 2009;106.

31. Little JP, Safdar A, Bishop D, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 α and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2011;300:R1303-10.

32. Burgomaster KA, Heigenhauser GJF, Gibala MJ. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol*. 2006;100.

33. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2011;108:3017–22.

34. Gomez-Pinilla F, Hillman C. The influence of exercise on cognitive abilities. *Compr Physiol*. 2013;3:403–28.

35. Northey JM, Cherbuin N, Pumpa KL, Smee DJ, Rattray B. Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sport Med*. 2018;52:154–60.

36. Chmura J, Nazar K, Kaciuba-Uscilko H. Choice reaction time during graded exercise in

- relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *Int J Sports Med.* 1994;15.
37. Soya H, Mukai A, Deocaris CC, Ohiwa N, Chang H, Nishijima T, et al. Threshold-like pattern of neuronal activation in the hypothalamus during treadmill running: establishment of a minimum running stress (MRS) rat model. *Neurosci Res.* 2007;58:341–8.
38. McMorris T. Developing the catecholamines hypothesis for the acute exercise-cognition interaction in humans: Lessons from animal studies. *Physiol Behav.* 2016;165:291–9.
39. Kujach S, Byun K, Hyodo K, Suwabe K, Fukuie T, Laskowski R, et al. A transferable high-intensity intermittent exercise improves executive performance in association with dorsolateral prefrontal activation in young adults. *Neuroimage.* 2017;169:117–25.
40. Zoladz JA, Pilc A, Majerczak J, Grandys M, Zapart-Bukowska J, Duda K. Endurance training increases plasma brain-derived neurotrophic factor concentration in young healthy men. *J Physiol Pharmacol.* 2008;59 Suppl 7:119–32.
41. Świątkiewicz M, Fiedorowicz M, Orzeł J, Wełniak-Kamińska M, Bogorodzki P, Langfort J, et al. Increases in brain 1H-MR glutamine and glutamate signals following acute exhaustive endurance exercise in the rat. *Front Physiol.* 2017;8 JAN.
42. Kashiwara K, Maruyama T, Murota M, Nakahara Y. Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function. *J Physiol Anthr.* 2009;28:155–64.
43. Ide K, Secher NH. Cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Prog Neurobiol.* 2000;61:397–414.
44. Kujach S, Chroboczek M, Jaworska J, Sawicka A, Smaruj M, Winklewski P, et al. Judo training program improves brain and muscle function and elevates the peripheral BDNF concentration among the elderly. *Sci Rep.* 2022;12.
45. Cooper C, Moon HY, Van Praag H. On the run for hippocampal plasticity. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 2018;8.
46. Chow LS, Gerszten RE, Taylor JM, Pedersen BK, van Praag H, Trappe S, et al. Exerkines in health, resilience and disease. *Nature Reviews Endocrinology.* 2022;18.
47. Alzheimer Disease International (ADI). World Alzheimer Report 2015: The Global Impact of Dementia. An Analysis of prevalence, incidence, cost and trends. 2015. <https://www.alzint.org/about/dementia-facts-figures/dementia-statistics/>.
48. Lucas SJ, Cotter JD, Brassard P, Bailey DM. High-intensity interval exercise and cerebrovascular health: curiosity, cause, and consequence. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2015;35:902–11.

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

5.1 Międzynarodowa współpraca naukowa

*5.1.1 Laboratory of Exercise Biochemistry and Neuroendocrinology
Advanced Research Initiative for Human High Performance
Faculty of Sports and Health and Sports Sciences
University of Tsukuba Japan*

Od roku 2012 współpracuję naukowo z zespołem Pana Profesora Hideakiego Soya z Laboratorium Biochemii i Neuroendokrynologii Wysiłku Fizycznego Uniwersytetu Tsukuba w Japonii. W ramach współpracy odbyłem niespełna roczny staż naukowy, w ramach którego zrealizowałem wspólny projekt badawczy. Efektem wciąż trwającej współpracy jest opublikowanie 3 prac naukowych, udział w międzynarodowej konferencji naukowej organizowanej pod auspicjami Międzynarodowej Organizacji zajmującej się Badaniami Mózgu (*ang. IBRO satellite forum Sport Neuroscience Conference Tsukuba 2019*) oraz nawiązanie trwałej współpracy w ramach inicjatywy naukowej *Advance Research Initiative for Human High Performance*.

1. Byun K, Hyodo K., Suwabe K., **Kujach S.**, Kato M., Soya H. (2014). Possible influences of exercise-intensity-dependent increases in non-cortical hemodynamic variables on NIRS-based neuroimaging analysis during cognitive tasks: technical note. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry* 18(4), 327-332. <https://doi.org/10.5717/jenb.2014.18.4.327>
2. **Kujach S.**, Byun K., Hyodo K., Suwabe K., Fukuie T., Laskowski R., Soya H. (2018). A transferable high-intensity intermittent exercise improves executive performance in association with dorsolateral prefrontal activation in young adults. *NeuroImage*, 169, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.003> (publikacja klasyfikowana jako osiągnięcie naukowe habilitanta) IF:5.812, MEiN: 45.000
3. **Kujach S.**, Olek R., Byun K., Suwabe K., Sitek E., Ziemann E., Soya H. (2020). Acute sprint interval exercise increases both cognitive functions and peripheral

neurotrophic factors in humans: The possible involvement of lactate. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 1455. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01455>, (publikacja klasyfikowana jako osiągnięcie naukowe habilitanta) IF:4.677, MEIN: 100.000

5.1.2 Research Center for Molecular Exercise Science University of Sport Science Budapest Hungary

W roku 2017 nawiązałem współpracę z Panem Profesorem Zsoltem Radakem kierownikiem Laboratorium Badań Molekularnych mieszczącym się na Uniwersytecie Nauk o Sporcie w Budapeszcie. W ramach współpracy odbyłem dwa krótkie staże naukowe oraz realizowałem badania naukowe „Epigenetic Aging Study”. Rezultatem wspólnych badań jest powstanie manuskryptu zatytułowanego:

1. "DNA methylation clock DNAmFitAge shows regular exercise is associated with slower aging and systemic adaptation" 2023 Radak Z; Jokai M; Torma F; McGreevy K,M; Koltai E; Bori Z; Babszki G; Bakonyi P; Gombos Z; Gyorgy B; Aczel D; Toth L; Osvath P; Fridvalszky M; Teglás T; Ligeti B; Kalcsevszki R; Posa A; **Kujach S**; Olek R,A; Kawamura T; Seki Y; Suzuki K; Tanisawa K; Goto S; Boldogh I; Ba X; Szabo D; Kelvin Davies JA; Horvath S., *GeroScience* (artykuł przyjęty 10.05.2023).

5.2 Krajowa współpraca naukowa

5.2.1 Działalność w innej uczelni

Od 2020 roku jestem zatrudniony na etacie adiunkta badawczo-dydaktycznego w Zakładzie Fizjologii Człowieka (obecna nazwa: Zakład Neurofizjologii, Neuropsychologii i Neuroinformatyki) na Wydziale Nauk o Zdrowiu z Instytutem Medycyny Morskiej i Tropikalnej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego - GUMED. W okresie mojego zatrudnienia zostałem laureatem dwóch programów grantowych: Inicjatywy doskonałości uczelni badawczej (IDUB): „**Młody Twórca Nauki**” tytuł zadania badawczego „*Ocena sprzężenia nerwowo-naczyniowego w populacji osób starszych – badania wykorzystujące funkcjonalną spektroskopię bliskiej podczerwieni (fNIRS) oraz elektroencefalografię (EEG)*” jak również „**Research Travel Grant**” w ramach, którego odbędę staż naukowy w *Research Center for Molecular Science w Budapeszcie (2023)*. Nawiązałem także współpracę z pracownikami drugiego Zakładu Radiologii GUMED m.in. dr hab. Arkadiuszem Szarmachem,

pozwalającą rozszerzyć moje badania o nowoczesne techniki obrazowania (fMRI). Obecnie moje działania naukowe skupiają się na budowaniu zespołu badawczego w ramach Pracowni Spektroskopii Bliskiej Podczerwieni (fNIRS). Efektem mojej pracy była także publikacja manuskryptu zatytułowanego:

1. "A systematic review of the impact of physical exercise-induced increased resting cerebral blood flow on cognitive functions" (2022). Renke M., Marcinkowska A., **Kujach S** and Winklewski, P. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 803332. IF:5.702 MEiN:100.000 <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.803332>.

5.2.2 *Inne osiągnięcia wynikające z krajowej współpracy naukowej*

Od roku 2010 współpracuje z Panem Profesorem Robertem Olek. Obszarem badawczym wchodzącym w zakres współpracy była rola suplementacji arginina oraz pirogronianem sodu w zwiększaniu możliwości wysiłkowych człowieka. Efektem współpracy są następujące publikacje:

1. Olek R., Ziemann E., Grzywacz T., **Kujach S.**, Luszczuk M., Antosiewicz J., Laskowski R. (2010). A single oral intake of arginine does not affect performance during repeated wingate anaerobic test. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 50(1), 52-56 IF: 0.923. MEiN 20.000
2. Olek R., **Kujach S.**, Wnuk D., Laskowski R.(2014). Single sodium pyruvate ingestion modifies blood acid-base status and post-exercise lactate concentration in humans. *Nutrients* 6(5), 1981-1992. <https://doi.org/10.3390/nu6051981> IF: 3.270, MEiN 35.000
3. Olek R., Luszczuk M., **Kujach S.**, Ziemann E., Pieszko M., Pischel I., Laskowski R. (2015). Single pyruvate intake induces blood alkalization and modification of resting metabolism in humans. *Nutrition*, 31(3),466-474. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.09.012>, IF:2.839, MEiN: 30.000

5.2.3 W latach (2009-2020) uczestniczyłem w projektach realizowanych przez Panią Profesor Ewę Ziemann, dotyczących wpływu ogólnoustrojowej krioterapii oraz aktywności fizycznej na zmiany niskiego, przewlekłego stanu zapalnego (*ang. low-grade inflammation*) leżącego u podstaw wielu chorób cywilizacyjnych. Praca badawcza była finansowana przez Ministerstwo Sportu i Turystyki oraz Narodowe Centrum Nauki (projekt Preludium_12, którego Profesor Ziemann była opiekunem). Efektem współpracy są następujące publikacje:

1. Ziemann E., Olek R., **Kujach S.**, Grzywacz T., Antosiewicz J., Garszka T., Laskowski R. (2012). Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *Journal of Athletic Training*, 47(6), 664-672. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.6.13> IF: 1.682, MEiN: 40.000
2. Ziemann E., Olek R. A., Grzywacz T., Antosiewicz J., **Kujach S.**, Łuszczuk M., Laskowski R. (2013). Whole-body cryostimulation as an effective method of reducing low-grade inflammation in obese men. *Journal of Physiological Sciences*, 63(5), 333-343. <https://doi.org/10.1007/s12576-013-0269-4> IF:1.248, MEiN: 20.000
3. Ziemann E., Olek R., Grzywacz T., Kaczor J., Antosiewicz J., Skrobot W., **Kujach S.**, Laskowski R. (2014). Whole-body cryostimulation as an effective way of reducing exercise-induced inflammation and blood cholesterol in young men. *European Cytokine Network*, 25(1), 14-23. <https://doi.org/10.1684/ecn.2014.0349> IF:1.960, MEiN: 20.000
4. Dulian K., Laskowski R., Grzywacz T., **Kujach S.**, Flis D., Smaruj M., Ziemann E. (2015). The whole body cryostimulation modifies irisin concentration and reduces inflammation in middle aged, obese men. *Cryobiology*, 71(3), 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2015.10.143> IF:1.920, MEiN: 30.000
5. Gmiat A., Micielska K., Kozłowska M., Flis D., Smaruj M., **Kujach S.**, Ziemann E. (2017). The impact of a single bout of high intensity circuit training on myokines' concentrations and cognitive functions in women of different age. *Physiology and*

Behavior, 179, 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.07.004> IF:2.517, MEiN: 30.000

5.2.4 W latach (2013-2020) współpracowałem z Panem Profesorem Jędrzejem Antosiewiczem w badaniach dotyczących wpływu suplementacji witaminą D na wydolność fizyczną oraz roli supramaksymalnego wysiłku fizycznego w metabolizmie żelaza. Efektem współpracy są następujące publikacje:

1. Antosiewicz J., Kaczor J., Kasprówicz K., Laskowski, R., **Kujach S.**, Łuszczuk M., Ziemann E. (2013). Repeated "all out" interval exercise causes an increase in serum hepcidin concentration in both trained and untrained men. Cellular Immunology, 283(1-2), 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.cellimm.2013.06.006> IF:1.874, MEiN 20.000
2. **Kujach S.**, Lyżwinski D., Chroboczek M., Białowąs D., Antosiewicz J and Laskowski R. (2020). The effect of vitamin D3 supplementation on physical capacity among active college-aged males. Nutrients, 12(7),1936. <https://doi.org/10.3390/nu12071936> IF: 5.719, MEiN: 140.000

5.2.5 W latach (2020-2022) współpracowałem z Panem Dr hab. Jackiem Kaczorem w projektach badawczych dotyczących roli witaminy D oraz mikrobiomu jelitowego w kontekście zdolności wysiłkowych dzieci oraz sportowców wyczynowych. Efektem współpracy jest publikacja:

1. Dzik K., Grzywacz T., Łuszczuk M., **Kujach S.**, Flis D., Kaczor J. (2022). Single bout of exercise triggers the increase of vitamin D blood concentration in adolescent trained boys: A pilot study. Scientific Reports, 12(1), 1825. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05783-x> IF:4.996, MEiN: 140.000

5.3 Kierowanie zespołem badawczym

❖ Projekt badawczy zrealizowany w ramach konkursu **Preludium 4**

Narodowego Centrum Nauki (nr projektu 2012/07/N/NZ7/01902)

Tytuł: **„Wpływ treningu interwałowego na poziom obwodowego neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego i funkcje poznawcze człowieka”**

Statut: projekt zakończony, realizowany w okresie 2013-07-01 do 2016-06-30.

Funkcja w projekcie: **Kierownik projektu.**

❖ Projekt badawczy realizowany w ramach konkursu **Opus 17**

Narodowego Centrum Nauki (nr projektu 2019/33/B/NZ7/01980)

Tytuł: **„Wpływ aerobowego i oporowego treningu interwałowego na strukturalne jak i funkcjonalne zmiany mózgu wśród osób starszych - rola miokin, cytokin oraz czynników troficznych”**

Statut: projekt w trakcie realizacji.

Funkcja w projekcie: **Kierownik projektu.**

❖ Projekt badawczy realizowany w ramach programu Inicjatywy doskonałości Uczelnia Badawcza Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego pod nazwą **„Młody Twórca Nauki”** (nr projektu 664/314/61/71-1103/2021).

Tytuł: **„Ocena sprzężenia nerwowo-naczyniowego w populacji osób starszych - badania wykorzystujące funkcjonalną spektroskopie bliskiej podczerwieni (fNIRS) oraz elektroencefalografię (EEG)”**

Statut: projekt w trakcie realizacji.

Funkcja w projekcie: **Kierownik projektu.**

5.4 Recenzowanie wniosków grantowych oraz prac naukowych w czasopismach międzynarodowych

Uczestniczyłem w pracach **Zespołu Ekspertów Narodowego Centrum Nauki** programów **Miniatura 6 i 7**. W ramach tych prac recenzowałem 8 wniosków dotyczących realizacji pojedynczego działania naukowego w jednej z wymienionych form: badań wstępnych/pilotażowych, kwerendy, stażu naukowego, wyjazdu badawczego lub wyjazdu konsultacyjnego.

Byłem recenzentem 10 artykułów w międzynarodowych czasopismach, wszystkie przeprowadzone recenzje obejmowały publikacje w czasopismach z listy Journal Citation Report (JCR).

Recenzje w czasopismach międzynarodowych:

- Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports (Wiley) (IF – 4.645) – 1 recenzja
- Journal of Sport and Health Science (Elsevier) (IF –13.077) – 1 recenzja
- Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease (Elsevier) (IF - 6.633) – 1 recenzja
- Scientific Reports (IF 4.996) (Nature)– 2 recenzje
- Experimental Gerontology (Elsevier) (IF 4.253) – 1 recenzja
- Plos One (Plos) (IF- 3.752) – 1 recenzja
- Frontiers of Physiology (Frontiers) (IF- 3.752) – 1 recenzja
- Metabolic Brain Disease (Springer) (IF 3.655) – 1 recenzja
- Physiology & Behavior (Elsevier) (IF 3.742) – 1 recenzja

5.5 Informacje o odbytych stażach międzynarodowych

Pobyt długoterminowy:

2011 (3 miesiące: 10.2011-12.2011): Japonia, Uniwersytet Tsukuba, Wydział Sportu, Zdrowia i Nauk o Sporcie, Laboratorium Biochemii i Neuroendokrynologii Wysiłku Fizycznego,

2014 (8 miesięcy: 04.2014-11.2014): Japonia, Uniwersytet Tsukuba, Wydział Sportu, Zdrowia i Nauk o Sporcie, Laboratorium Biochemii i Neuroendokrynologii Wysiłku Fizycznego.

Pobyty krótkoterminowe:

2013 - Włochy, Uniwersytet Camerino, Szkoła Farmacji,

2015 - Dania, Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gerlev,

2018 -Węgry, Akademia Wychowania Fizycznego w Budapeszcie, Centrum Badań Molekularnych Wysiłku Fizycznego.

2019 - Węgry, Akademia Wychowania Fizycznego w Budapeszcie, Centrum Badań Molekularnych Wysiłku Fizycznego.

2022 - Węgry, Akademia Wychowania Fizycznego w Budapeszcie, Centrum Badań Molekularnych Wysiłku Fizycznego.

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

W ciągu 13 lat pracy dydaktycznej prowadziłem następujące przedmioty: fizjologia człowieka, fizjologia wysiłku fizycznego, fizjologia człowieka w warunkach ekstremalnych, wysiłek fizyczny medycyną jutra, fizjologia aktywności fizycznej oraz żeglarstwo. W ramach pracy kształciłem studentów studiów licencjackich, magisterskich oraz szkoły doktorskiej również w języku angielskim. Byłem także promotorem 13 prac licencjackich oraz 5 magisterskich.

- Jestem opiekunem Studenckiego Koła Naukowego Fizjologii przy Zakładzie Fizjologii AWFIS oraz SKN Fizjologii Człowieka przy Zakładzie Fizjologii Człowieka GUMED.
- Zostałem również członkiem zarządu cieszącego się 50-letnią tradycją Stowarzyszenia Czerwonej Róży organizującego corocznie konkurs o Laur Czerwonej Róży dla najlepszego studenta oraz najlepszego koła naukowego Pomorza.

Nagrody i wyróżnienia

- W roku 2009 zostałem laureatem konkursu o Laur Czerwonej Róży dla najlepszego studenta Pomorza organizowanego przez Stowarzyszenie Czerwonej Róży,
- W roku 2019 otrzymałem nagrodę (grant wyjazdowy) na konferencję Neuronauk w Sporcie (International Sport Neuroscience Conference) w Japonii organizowaną pod auspicjami międzynarodowej organizacji zajmującej się badaniami mózgu IBRO – *International Brain Research Organization*.

7. Współpraca ze środowiskiem sportowym

- W latach 2011-2019 współpracowałem z Zespołem Sportowym Marynarki Wojennej w ramach przygotowań do Mistrzostw Świata oraz Światowych Wojskowych Igrzysk Sportowych w dyscyplinie Pięciobój Morski. Efektem współpracy było zdobycie I miejsca podczas Światowych Igrzysk Wojskowych w Rio de Janeiro Brazylia 2013 oraz Wuhan Chiny 2019.
- Od roku 2010 współpracuję również z seniorskim zespołem sekcji Judo w Klubie Sportowym AZS AWFIS Gdańsk.
- Współpracuję również z boksterskim klubem sportowym TFB Sako, pełniąc rolę fizjologa sportu.

.....
(podpis wnioskodawcy)