

**Gdański Uniwersytet Medyczny**  
*Wydział Lekarski*

**ROBERT SZYMCZAK**

**Wpływ przewlekłej hipoksji wysokogórskiej na wybrane  
parametry życiowe organizmu człowieka.**

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**PROMOTOR**

**Dr hab. Prof. nadzw. Andrzej Basiński**

**GDAŃSK 2009**

**Dziękuję:**

**Panu Profesorowi Andrzejowi Basińskiemu** za przychylność i pomoc w realizowaniu i rozwijaniu mojej wysokogórskiej pasji,

**Emilii Sitek, Tomaszowi Grzywaczowi, Dariuszowi Wieczorkowi i Ewie Ziemann** za wiarę w to, że badania w warunkach ekstremalnych mają sens oraz za pomoc merytoryczną podczas prowadzenia projektu Polish High Altitude Research Expeditions,

**Alpinistom**, za to, że w warunkach niesprzyjających egzystencji potrafili poświęcić czas odpoczynku na rzecz nauki,

**Koleżankom i kolegom z pracy**, za wyrozumiałość podczas moich nieobecności,

oraz wszystkim tym, którzy pomogli mi zrealizować tę pracę naukową.

**Pracę tę dedykuję moim Rodzicom.**

# Spis treści

Spis skrótów użytych w tekście.....	7
<b>1. WSTĘP.....</b>	<b>13</b>
1.1 Wprowadzenie.....	13
1.2 Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na masę i skład ciała. ....	18
1.3 Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na wydolność fizyczną. ....	19
1.4 Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na funkcje poznawcze.....	20
1.5 Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na subiektywną jakość snu.....	21
<b>2. CEL PRACY.....</b>	<b>23</b>
<b>3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Charakterystyka badanych grup. ....</b>	<b>25</b>
3.1.1 Charakterystyka grupy – badania masy, składu ciała oraz wydolności fizycznej. .....	25
3.1.2 Charakterystyka grupy – badania funkcji poznawczych.....	25
3.1.3 Charakterystyka grupy – badania subiektywnej jakości snu.....	26
<b>3.2 Metodologia badań.....</b>	<b>26</b>
3.2.1 Metodologia - badania masy, składu ciała oraz wydolności fizycznej.....	26
3.2.1.1 Pomiary antropometryczne.....	27
3.2.1.2 Laboratoryjny pomiar wydolności tlenowej. ....	27
3.2.1.3 Laboratoryjny pomiar wydolności beztlenowej.....	29
3.2.1.4 Ocena morfologii krwi żyłnej.....	30
3.2.2 Metodologia - badania funkcji poznawczych. ....	31
3.2.2.1 Próby uczenia się 10 słów (VLT).....	32
3.2.2.2 Próby interferencji poznawczej Stroopa.....	33
3.2.2.3 Próby rotacji umysłowej.....	34
3.2.2.4 Próby planowania opracowane na podstawie Tower of Toronto.....	35
3.2.2.5 Skala Ostrej Choroby Górskiej(AMS) - Lake Louise Acute Mountain Sickness Score. ....	37
3.2.3 Metodologia - badania subiektywnej jakości snu. ....	37
3.2.3.1 Skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI).....	37
3.2.3.2 Ateńska Skala Bezsenności (AIS).....	38
<b>3.3 Metody analizy statystycznej. ....</b>	<b>39</b>
<b>4. WYNIKI.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Wyniki - badania masy, składu ciała oraz wydolności fizycznej.....</b>	<b>42</b>
4.1.1 Porównanie wartości parametrów przed i po okresie hipoksji hipobarycznej. .	42
4.1.1.1 Zmiany w parametrach antropometrycznych.....	42

4.1.1.2	Zmiany w parametrach wydolności tlenowej.....	45
4.1.1.3	Zmiany w parametrach wydolności beztlenowej. ....	50
4.1.1.4	Zmiany w parametrach krwi. ....	54
4.1.2	Korelacje zmian w wartościach badanych parametrów ze średnią wysokością pobytu n.p.m. ....	56
4.1.3	Korelacje delt parametrów, które uległy istotnym statystycznie zmianom po okresie hipoksji z wartościami wszystkich badanych parametrów przed okresem hipoksji. ....	58
4.1.3.1	Parametry antropometryczne.....	58
4.1.3.2	Parametry wydolności tlenowej.....	59
4.1.3.3	Parametry wydolności beztlenowej.....	62
<b>4.2</b>	<b>Wyniki – badania funkcji poznawczych.....</b>	<b>64</b>
4.2.1	Porównanie funkcjonowania poznawczego grupy klinicznej – alpinistów (badanych na poziomie 0m n.p.m. i na wysokości 4000m n.p.m.) oraz grupy kontrolnej. ....	64
4.2.1.1	Porównanie wyników testów funkcji poznawczych uzyskanych w badaniu 1 (0m n.p.m.) – i badaniu 2 (4000m n.p.m.) w grupie klinicznej – Alpińści.....	64
4.2.1.2	Porównanie wyników testów funkcji poznawczych uzyskanych w badaniu 1 (0m n.p.m.) – i badaniu 2 (0m n.p.m.) w grupie kontrolnej.....	67
4.2.1.3	Porównanie zmian w wynikach testów funkcji poznawczych między badaniem 1 i badaniem 2 w obu grupach. ....	69
4.2.2	Porównanie funkcjonowania poznawczego grupy klinicznej – alpinistów (badanych na poziomie 4000m n.p.m. i na wysokości 6000m n.p.m.) oraz grupy kontrolnej.....	71
4.2.2.1	Porównanie wyników testów funkcji poznawczych uzyskanych w badaniu 2 (4000m n.p.m.) – i badaniu 3 (6000m n.p.m.) w grupie klinicznej – Alpińści.....	71
4.2.2.2	Porównanie wyników testów funkcji poznawczych uzyskanych w badaniu 2 (0m n.p.m.) – i badaniu 3 (0m n.p.m.) w grupie kontrolnej.....	73
4.2.2.3	Porównanie zmian w wynikach testów funkcji poznawczych między badaniem 2 i badaniem 3 w obu grupach.....	75
4.2.3	Korelacje wartości oraz delt (zmian w wartościach) badanych parametrów funkcji poznawczych z długością i średnią wysokością pobytu oraz wynikiem skali AMS wśród alpinistów.....	77
4.2.3.1	Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT).....	77
4.2.3.2	Próby rotacji umysłowej.....	78
4.2.3.3	Próba interferencji poznawczej Stroopa.....	78
4.2.3.4	Próby planowania oparte na Tower of Toronto.....	78
4.2.4	Porównanie wyników grupy klinicznej i kontrolnej w kolejnych badaniach....	79
4.2.4.1	Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 1 (grupa kliniczna i kontrolna - poziom 0m n.p.m.).....	79
4.2.4.2	Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 2 (grupa kliniczna – 4000m n.p.m. i kontrolna - 0m n.p.m.).....	81
4.2.4.3	Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 3 (grupa kliniczna – 6000m n.p.m. i kontrolna - 0m n.p.m.).....	83
<b>4.3</b>	<b>Wyniki – badania subiektywnej jakości snu. ....</b>	<b>85</b>
4.3.1	Ocena własności psychometrycznych skal.....	85

4.3.2 Ocena subiektywnej jakości snu .....	91
<b>5. DYSKUSJA. ....</b>	<b>97</b>
<b>6. PODSUMOWANIE.....</b>	<b>116</b>
<b>7. WNIOSKI.....</b>	<b>117</b>
<b>8. STRESZCZENIE.....</b>	<b>118</b>
<b>9. PIŚMIENICTWO .....</b>	<b>120</b>
<b>10. DODATEK.....</b>	<b>135</b>
10.1 Załączniki.....	135
10.2 Spis tabel.....	145
10.3 Spis rycin.....	147
10.4 Spis załączników.....	148
10.5 Spis fotografii.....	148

## **Spis skrótów użytych w tekście**

**AIS**- Ateńska Skala Bezsenności – (ang. Athens Insomnia Scale)

**AMG** – Akademia Medyczna w Gdańsku

**AMS** - ostra choroba górską – (ang. acute mountain sickness)

**AT** – próg przemian anaerobowych (ang. anerobic threshold)

**AT-VO<sub>2</sub>** – wartość zużycia tlenu (VO<sub>2</sub>) w [mL O<sub>2</sub> ·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>], przy progu przemian anaerobowych

**AT-HR** – wartość częstości skurczów serca na minutę (HR) w [sk·min<sup>-1</sup>], przy progu przemian anaerobowych

**AT-MP<sub>vo2</sub>** - wartość maksymalnej mocy tlenowej (MP<sub>vo2</sub>) w [W], przy progu przemian anaerobowych

**AT-VE** – wartość wentylacji minutowej płuc (VE) w [L·min<sup>-1</sup>], przy której wyznaczono próg przemian anaerobowych

**α** - współczynnik spójności wewnętrznej alfa (α) Cronbach'a

**BF** - ilość oddechów na minutę (ang. breath frequency)

**BFmax** - maksymalna ilość oddechów na minutę (ang. maximum breath frequency)

**BMI** – wskaźnik masy ciała (ang. body mass index)

**BMR** – podstawowa przemiana materii (ang. basic metabolic rate)

**BSA** – powierzchnia ciała (ang. body surface area)

**BW** – masa ciała (ang. body weight)

**°C** – stopień Celsjusza

**C1** - subiektywna jakość snu

**C2** – zasypianie

**C3** - długość trwania snu

**C4** - efektywność snu

**C5** - zaburzenia snu

**C6** - używanie leków nasennych

**C7** - zaburzenia funkcjonowania podczas dnia

**cm** - centymetr

**CMS** - przewlekła choroba górską – (ang. chronic mountain sickness)

**CS** - syntaza cytrynianowa – (ang. citric synthase)

**d** – delta – różnica między wartościami uzyskanymi w dwóch badaniach (wartość z badania pierwszego odjąć wartość z badania drugiego)

**d%** - procent jaki stanowi delta w stosunku do wartości danego parametru w badaniu pierwszym

**dl** – decylitr

**DK** - dolny kwartyl

**FAT** – masa tkanki tłuszczowej

**FE** – poziom żelaza

**FERRY** - poziom ferrytyny

**FFM** – beztłuszczowa masa ciała (ang. fat free mass)

**FT** - włókna mięśniowych szybko-kurczące się – (ang. fast twitching)

**g** - gram

**GK** - górny kwartyl

**Hb** - poziom hemoglobiny we krwi

**Hct** - hematokryt

**HIF 1** –indukowany niedotlenieniem czynnik transkrypcyjny 1 (ang. hypoxia-inducible factor-1)

**HR** - częstość skurczów serca na minutę (ang. heart rate)

**HRmax** - maksymalna częstość skurczów serca na minutę (ang. maximum hart rate)

**J**- dżul

**kcal** - kilokaloria

**kg** - kilogram

**kG** – kilogram siły

**kJ** – kilodżul

**L** – litr

**LDH** – dehydrogenaza mleczanowa (ang. lactate dehydrogenaze)

**LSEQ** – (ang. Leeds Sleep Evaluation Questionnaire)

**m** - metr

**M** - mediana

**mL** – mililitr

**m n.p.m.** – metry nad poziomem morza

**min** - minuta

**min-maks** - wartości minimalne i maksymalne

**µg** - mikrogram

**MP<sub>VO2</sub>** - moc tlenowa

**MP<sub>VO2max</sub>** - maksymalna moc tlenowa

**mRNA** - matrycowe kwasy rybonukleinowe

**NREM** – (ang. non rapid eye movement sleep)

**ns** - wartości nieistotne statystycznie

**O<sub>2</sub>** - tlen

**odd** - oddech

**OSA** - Zespół Bezdechów Sennych (ang. Obstructive Sleep Apnea)

**OUN** - ośrodkowy układ nerwowy

**p** - istotność statystyczna

**PaCO<sub>2</sub>** - ciśnienia parcjalne dwutlenku węgla we krwi tętniczej (ang. arterial partial pressure of carbon dioxide)

**PaO<sub>2</sub>** - ciśnienia parcjalnego tlenu we krwi tętniczej (ang. arterial partial pressure of oxygen)

**PB** –ciśnienie atmosferyczne (ang. barometric pressure)

**pH** – skala pH

**PHARE** – (ang. Polish High Altitude Research Expeditions)

**PIO<sub>2</sub>** - ciśnienie parcjalne tlenu w powietrzu atmosferycznym (ang. partial pressure of inspired oxygen)

**POCHP** - Przewlekła Obturacyjna Choroba Płuc

**PP<sub>W<sub>anT</sub></sub>** – maksymalna moc beztlenowa

**PSQI** - (ang. Pittsburgh Sleep Quality Index)

**RBC** - liczbę krwinek czerwonych (ang. red blood cells count)

**REM** – (ang. rapid eye movement sleep)

**RER** – współczynnik wymiany oddechowej (ang. respiratory exchange ratio)

**RET** - względną liczbę retikulocytów

**RETe** - bezwzględną liczbę retikulocytów

**S** - sekunda

**S** - średnia arytmetyczna

**SaO<sub>2</sub>** - procentowe wysycenie hemoglobiny tlenem – saturacja krwi tętniczej (ang. arterial oxygen saturation)

**SD** - odchylenie standardowe (ang. standard deviation)

**SDH** - dehydrogenaza bursztynianowa – (ang. succinate dehydrogenase)

**sk** – skurcz serca

**Skala AMS** - skala stosowana do diagnostyki  
ostrej choroby górskiej (ang. Lake Louise Acute Mountain Sickness Score)

**ST** - włókna mięśniowe wolno-kurczące się (ang. slow twitching)

**T** – test t dla prób zależnych

**TBW** – całkowita masa wody w organizmie (ang. total body water)

**TIBC** - całkowitą zdolność wiązania żelaza (ang. total iron binding capacity)

**TRF** - poziom transferyny

**TUT** - czas utrzymania maksymalnej mocy beztlenowej

**TUZ** - czas uzyskania maksymalnej mocy beztlenowej

**W** – wat

**W** - test kolejności par Wilcoxon'a

**Wana** – praca beztlenowa

**Wana<sub>glycol</sub>** – praca beztlenowa z udziałem metabolizmu glikolitycznego

**Wana<sub>phosph</sub>** – praca beztlenowa z udziałem metabolizmu fosfagenowego

**WAnT** – (ang. Wingate Anaerobic Test)

**WSM** - wskaźnik spadku mocy beztlenowej

**W<sub>tot</sub>** - praca całkowita (ang. total work)

**VE** - wentylacja minutowa płuc

**VEGF** –czynnik wzrostu śródbłonna naczyniowego (ang. vascular endothelial growth factor)

**VE<sub>max</sub>** - maksymalna wentylacja minutowa płuc

**VCO<sub>2</sub>** - wydalanie dwutlenku węgla (ang. carbon dioxide production)

**VL<sub>T</sub>** –próba uczenia się materiału słownego (ang. verbal learning test)

**VO<sub>2</sub>** - zużycie tlenu (ang. oxygen consumption)

**VO<sub>2max</sub>** - maksymalne zużycie tlenu (ang. maximum oxygen consumption)

**VT** - objętość oddechowa (ang. tidal volume)

**VT<sub>max</sub>** - maksymalna objętość oddechowa

**z** - poprawka Bonferroniego

**1** – podskala Zasypianie Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS)

**1.1** – wskaźnik pamięci krótkotrwałej (próby uczenia się 10 słów)

**1.2** – wskaźnik efektywności uczenia się (próby uczenia się 10 słów)

**1.3** - wskaźnik zdolności selekcji śladów pamięciowych od przypadkowych skojarzeń  
(próby uczenia się 10 słów)

- 1.4** - wskaźnik pamięci odroczonej - liczba odtworzonych słów po 10 minutach (próby uczenia się 10 słów)
- 1.5** - wskaźnik pamięci odroczonej - procent informacji odtworzonych po odroczeniu (stosunek liczby odtworzonych słów po 10 minutach do średniej z dwóch ostatnich prób odtwarzania bezpośredniego) (próby uczenia się 10 słów)
- 2** - podskala Budzenie się podczas nocy Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS)
- 2.0** – wskaźnik funkcji przestrzennych (próby rotacji umysłowej)
- 3** - podskala Obudzenie się rano Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS)
- 3.1** – czas wykonania (próby interferencji poznawczej Stroopa)
- 3.2** – liczba błędów (próby interferencji poznawczej Stroopa)
- 4** - podskala Całkowity czas snu Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS)
- 4.4** – wskaźnik planowania (próby planowania na podstawie Tower of Toronto)
- 5** - podskala Jakość snu Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS)
- 6** - podskala Samopoczucie następnego dnia Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS)
- 7** - podskala Sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS)
- 8** - podskala Senność w ciągu dnia Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS)
- \* -  $p < 0.05$
- # -  $p < 0.01$



**Fotografia 1. Mount Everest 8848m n.p.m., Tybet.**

# 1. Wstęp

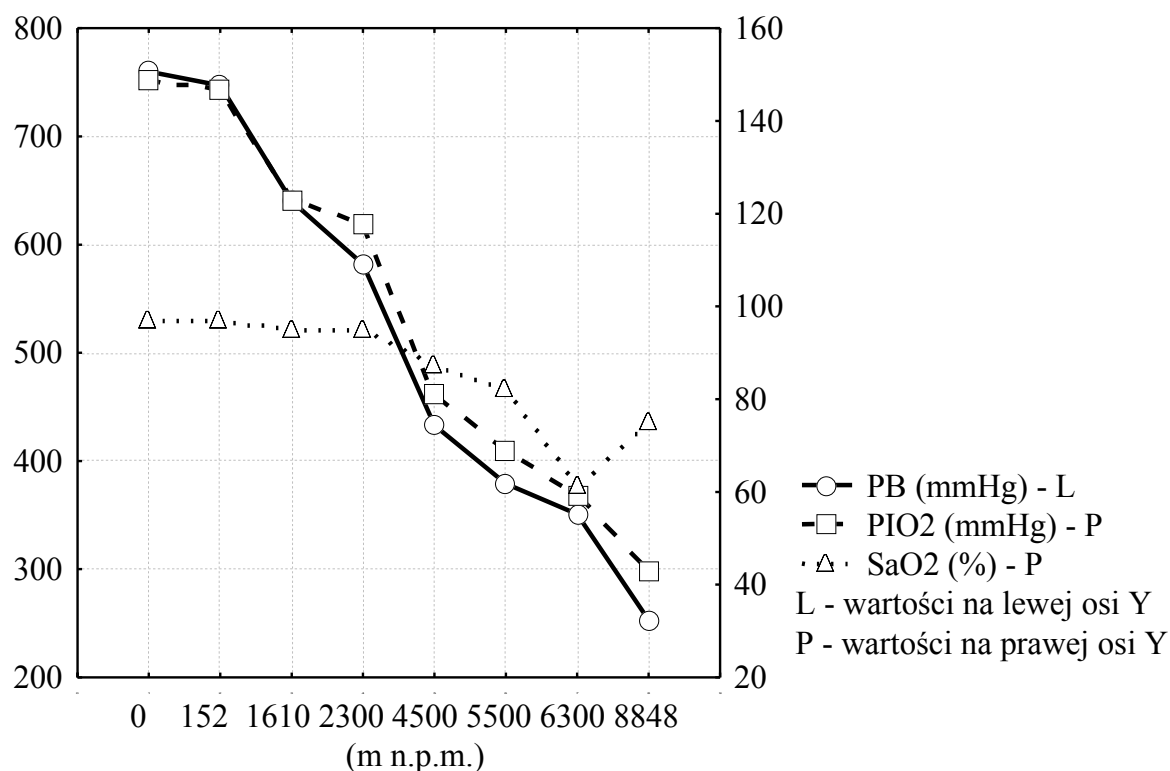
## 1.1 Wprowadzenie.

Czy mogę już atakować szczyt? Na tak podstawowe pytanie himalaisty wciąż trudno jest odpowiedzieć. Z pozoru proste, zawiera w sobie większość analizowanych do tej pory problemów fizjologii i medycyny wysokogórskiej.

To pytanie zadaje sobie coraz więcej Polaków. Co roku, na świecie, około czterdzieści milionów osób podróżuje na wysokości powyżej 3000 metrów nad poziom morza (m n.p.m.), wśród nich coraz liczniejsza grupa Polaków (1). W tej grupie znajdują się himalaiści, ludzie pracujący w warunkach górskich, a przede wszystkim turyści. Turystyka wysokogórska rozwija się. Wiele polskich firm zajmuje się organizowaniem trekkingów i wypraw w góry wysokie. Niestety wiedza organizatorów na temat zagrożeń jakie niosą warunki wysokogórskie, oraz jakość zabezpieczenia medycznego wyjazdów pozostawia wiele do życzenia. Szeroka dyskusja w środowisku alpinistów na temat standardów organizacji turystyki wysokogórskiej oraz częste doniesienia na temat tragicznych wypadków z udziałem Polaków świadczy o tym, że temat jest aktualny.

Wysokość nad poziom morza dzielimy na wysokość pośrednią (1500-2500m n.p.m.), dużą (2500-3500m n.p.m.), bardzo dużą (3500-5800m n.p.m.) i ekstremalnie dużą >5800m n.p.m. (2). Warunki środowiska górskiego, które ograniczają funkcjonowanie organizmu człowieka to przede wszystkim spadek ciśnienia atmosferycznego (ang. barometric pressure - PB) a wraz z nim obniżenie ciśnienia parcjalnego tlenu w powietrzu (ang. partial pressure of inspired oxygen - PIO<sub>2</sub>), zmniejszanie się temperatury o 1°C co 150m wysokości, niska wilgotność powietrza oraz wzrost intensywności promieniowania słonecznego (3,4,5,6).

Wraz z wysokością nad poziom morza dochodzi do zmian ciśnienia parcjalnego tlenu w powietrzu atmosferycznym a to z kolei ma wpływ na procentowe wysycenie hemoglobiny tlenem we krwi tętniczej – saturację (ang. arterial oxygen saturation - SaO<sub>2</sub>), co przedstawiono na rycinie 1 (7).



**Rycina 1. Zależność zmian PB , PIO2 oraz SaO2 od wysokości nad poziom morza.**

PB- ciśnienie atmosferyczne, PIO2 – ciśnienie parcjalne tlenu w powietrzu, SaO2- procentowe wysycenie hemoglobiny tlenem w krwi tętniczej.

Hipoksję ze względu na przyczynę, można podzielić na hipoksję hipoksyczną - spowodowaną obniżeniem prężności tlenu we wdychanym powietrzu, hipoksję hipoksemiczną - wynikającą z obniżenia prężności tlenu we krwi z powodu niedokrwistości lub zaburzeń wiązania tlenu przez hemoglobinę, hipoksję krążeniową, której przyczyną to zmniejszony przepływ krwi przez tkanki oraz hipoksję cytotoxyczną gdzie w warunkach dostatecznego dopływu tlenu do tkanek nie jest on wykorzystywany z powodu uszkodzenia komórkowych układów enzymatycznych (8). W warunkach wysokogórskich dominuje hipoksja hipoksyczna oraz krążeniowa.

Wpływ hipoksji hipoksycznej na organizm człowieka zależy od jej poziomu, tempa jej wzrostu w czasie, czyli okresu w jakim organizm może się przystosować do zwiększającego się poziomu hipoksji oraz od długości ekspozycji. W zależności od tych czynników hipoksję hipoksyczną możemy podzielić na ostrą i przewlekłą, a zmiany zachodzące w organizmie człowieka na aklimatyzacyjne, deterioracyjne - wyniszczające oraz adaptacyjne (9).

Ostra hipoksja charakteryzuje się nagłym narażeniem organizmu człowieka na obniżone ciśnienie parcjalne tlenu w atmosferze, lub zmniejszoną procentową zawartość tlenu w mieszaninie oddechowej. Przykładem może być nagłe wyczerpanie się butli z tlenem, z którego korzysta pilot w niezabezpieczonej ciśnieniowo kabine samolotu. Nagłe znalezienie się na wysokości Mount Everest 8848m n.p.m. prowadzi w przeciągu kilku minut do utraty przytomności a następnie śmierci z powodu niedotlenienia (fotografia 1). Tragedia, która wydarzyła się podczas lotu balonem Zenith w roku 1875, gdzie dwóch z trzech francuskich aeronautów zginęło z powodu nagłego narażenia na ekstremalną wysokość, jest dobitnym przykładem niekorzystnego wpływu ostrej hipoksji na organizm człowieka (1).

Terminem przewlekłej hipoksji określa się okres od kilku dni do kilkunastu tygodni pobytu w warunkach obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu, lub obniżonej zawartości tlenu w mieszaninie oddechowej. Podczas przedłużonej ekspozycji organizm człowieka ma z jednej strony możliwość stopniowego przystosowania się do nowych warunków w procesie aklimatyzacji, z drugiej strony narażony jest na wyniszczający organizm wpływ hipoksji (9,10,11).

Aklimatyzacja jest procesem złożonym, polegającym na przystosowaniu organizmu człowieka do warunków obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu w atmosferze. Zmiany aklimatyzacyjne to z definicji tylko te, które korzystnie wpływają na funkcjonowanie człowieka na wysokości. W przeszłości rozpoznawanie zmian w poziomie tlenu we krwi przypisywano wyłącznie wyspecjalizowanym chemoreceptorom kłębków aortalnych i szyjnych. Dzisiaj uważa się, że wszystkie komórki organizmu człowieka posiadające jądro nie tylko rozpoznają ostre i przewlekłe zmiany poziomu tlenu ale także reagują na nie zmianą aktywności białek i ekspresją odpowiednich genów (12). W procesie przystosowania organizmu człowieka do warunków niedotlenienia kluczową rolę odgrywa czynnik transkrypcyjny aktywny w warunkach obniżonego stężenia tlenu (ang. hypoxia-inducible factor-1 - HIF-1) (12,13,14). HIF-1 to kompleks białkowy, który w warunkach hipoksji aktywuje około 40 genów (15). Należą do nich między innymi: geny odpowiedzialne za utrzymanie homeostazy tlenowej, hematopoezę, angiogenezę oraz napięcie naczyniowe - (geny naczyniowo- śródbłonkowego czynnika wzrostu - ang. vascular endothelial growth factor – VEGF; erytropoetyny) oraz geny regulujące procesy metabolizmu glukozy - (geny enzymów glikolizy, transporterów glukozy) (12,13,14).

Jedną z najważniejszych zmian w procesie aklimatyzacji to wzrost wentylacji minutowej spowodowany stymulacją obwodowych chemoreceptorów przez hipoksję, oraz wzrost poziomu hemoglobiny we krwi (16,17).

Aklimatyzacja to proces przystosowania do warunków przebiegający w sposób indywidualny, charakterystyczny dla każdej jednostki, który zależy od właściwości organizmu, tempa zdobywania wysokości oraz czasu przebywania w warunkach hipoksji. Podstawowa reguła prawidłowej aklimatyzacji to zdobywanie wysokości w tempie trzystu metrów różnicy wysokości dziennie (9). Zbyt szybka wspinaczka, może spowodować pojawienie się chorób związanych z wysokością, takich jak ostra choroba górská – (ang. acute mountain sickness - AMS), wysokogórski obrzęk mózgu czy wysokogórski obrzęk płuc, który opisywany był także u polskich alpinistów (18). Nie istnieje ustandaryzowana lista parametrów, którą można by określić stopień aklimatyzacji.

Możliwości aklimatyzacji organizmu człowieka powyżej 5500m n.p.m. są ograniczone z powodu niedotlenienia wynikającego z niskiej zawartości tlenu w powietrzu powyżej tej wysokości. Wydaje się, iż kilkutygodniowe przebywanie powyżej 5000 – 6000m n.p.m. powoduje, iż nad korzystnymi zmianami, które zaszły w procesie aklimatyzacji na niższych wysokościach, zaczynają przeważać zmiany deterioracyjne - wyniszczające organizm alpinisty.

Deterioracja organizmu w warunkach wysokogórskich charakteryzuje się obniżeniem apetytu, spadkiem masy ciała i zmianami składu ciała, zaburzeniami funkcji poznawczych, spadkiem motywacji i zapału do dalszego działania oraz pogorszeniem jakości snu (7,19,20).

Niekorzystny wpływ pobytu na ekstremalnych wysokościach może wynikać z wielu czynników takich jak: odwodnienie, głód i wyczerpanie fizyczne. Badania przeprowadzone w warunkach symulowanych, w komorach hipobarycznych, gdzie utrzymywano optymalną temperaturę oraz zapewniono osobom badanym prawidłową dietę, dowodzą, iż samo przewlekłe niedotlenienie może być przyczyną deterioracji (9,19,21). Wysokość powyżej 8000m to tzw. strefa śmierci, w której do deterioracji i śmierci dochodzi w przeciągu kilku dni (9).

Efekty przewlekłej hipoksji doświadczane przez alpinistów podczas wypraw wysokogórskich należy odróżnić od zmian adaptacyjnych wśród populacji zamieszkujących rejony wysokogórskie Ameryki Południowej i Azji, oraz od efektów wieloletniego wpływu niedotlenienia na organizmy mieszkańców tych rejonów.

Najwyżej położone miejsce stale zamieszkiwane przez ludzi znajdują się w rejonie kopalń w Chile na wysokości około 5300m n.p.m. Zmiany adaptacyjne, które zaszły dzięki doborowi naturalnemu, charakteryzują populacje, które tereny wysokogórskie zamieszkują od wielu tysięcy lat. Najwcześniejsze archeologiczne dowody obecności człowieka w górach Ameryki Południowej w Andach datuje się na okres około 20 000 lat temu. Zmiany adaptacyjne są szczególnie widoczne wśród Tybetańczyków i Nepalski Szerpów, którzy tereny powyżej 4000m n.p.m. zamieszkują od około 50 000 – 100 000 lat. Adaptacja do warunków wysokogórskich pozwala tym populacjom dłużej przebywać na wysokości bez doświadczania zmian deterioracyjnych (22). Wieloletni pobyt w warunkach hipoksji może jednak powodować przewlekłą chorobę górską – (ang. chronic mountain sickness - CMS) charakteryzującą się wysokim poziomem hematokrytu powyżej 80%, hipokseją oraz w niektórych przypadkach nadciśnieniem płucnym (23).

W zależności od tego czy hipoksja wynika z obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu czy obniżenia procentowej zawartości tlenu w mieszaninie oddechowej dzielimy hipoksję na hipobaryczną i normobaryczną. Zauważono różnicę wpływu na organizm człowieka pomiędzy hipoksją hipobaryczną podczas pobytu na wysokości lub w komorze hipobarycznej a hipoksją normobaryczną uzyskiwaną w warunkach laboratoryjnych. Badania parametrów układu krążeniowo-oddechowego wykazały niższe wartości wentylacji, ciśnienia parcjalnego tlenu we krwi tętniczej (ang. arterial partial pressure of oxygen - PaO<sub>2</sub>), ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla we krwi tętniczej (ang. arterial partial pressure of carbon dioxide - PaCO<sub>2</sub>), procentowego wysycenia hemoglobiny tlenem (SaO<sub>2</sub>) oraz wyższe wartości skali pH w warunkach hipoksji hipobarycznej. Powyższe fakty sugerują większe zaburzenia wymiany gazowej w warunkach hipoksji hipobarycznej w porównaniu do hipoksji normobarycznej (24). Używając skali stosowanej do diagnostyki ostrej choroby górskiej (skala AMS– ang. Lake Louise Acute Mountain Sickness Score), zaobserwowano wyższy poziom objawów ostrej choroby górskiej (AMS) w warunkach hipoksji hipobarycznej (25).

Wyznaczenie granicy pomiędzy brakiem aklimatyzacji, aklimatyzacją a deterioracją jest trudne. Dostępne w literaturze wyniki badań nie są jednoznaczne. Prace naukowe różnią się liczebnością badanych grup, długością okresu ekspozycji na hipoksję oraz średnią wysokością pobytu n.p.m. Projekt badawczy Polish High Altitude Research Expeditions (PHARE), przeprowadzony podczas czterech polskich wypraw wysokogórskich, którego wyniki zawarte są w prezentowanej pracy, jest

głosem w dyskusji na temat wpływu przewlekłej hipoksji hipobarycznej na organizm człowieka. Przeprowadzone badania na średniej wysokości do 5000m n.p.m. pozwalają podjąć próbę odpowiedzi na pytanie na temat potencjalnego początku i charakteru zmian deterioracyjnych. Większość prac dostępnych w literaturze, analizuje zmiany zachodzące w organizmach alpinistów biorących udział w wyprawach na szczyty ośmiotysięczne. Prezentowana praca koncentruje się na wpływie na organizm człowieka udziału w wyprawach na sześciotysięczniki i siedmiotysięczniki. Przeprowadzone badania dotyczą więc szerszego grona osób, a nie tylko wąskiej grupy himalaistów biorących udział w wyprawach ekstremalnych.

W ramach PHARE zrealizowano trzy odrębne projekty badawcze. Pierwszy projekt dotyczył wpływu przewlekłej hipoksji na masę, skład ciała, wydolność fizyczną oraz parametry morfologii krwi. Drugi obejmował badania funkcji poznawczych w trakcie pobytu na wysokości. Trzeci projekt był próbą oceny subiektywnej jakości snu na wysokości.

## ***1.2 Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na masę i skład ciała.***

Przewlekłe przebywanie w warunkach hipoksji hipobarycznej może mieć wpływ na masę i skład ciała. Wyniki wielu prac wykazują spadek masy ciała (BW) po pobycie w warunkach hipoksji (26,27,28,29,30,31,32,33). Niektórzy autorzy nie stwierdzili zmian masy ciała (34,35). Dostępne wyniki badań pokazują zależność spadku masy ciała od długości i średniej wysokości pobytu w warunkach hipoksji. Dłuższy pobyt oraz wyższa średnia wysokość wydają się powodować większą redukcję masy ciała (BW) (27,28,30,31). Utratę masy ciała można zredukować poprzez zwiększenie poboru energii podczas pobytu w warunkach hipoksji (35). Stopniowa ekspozycja na wysokość również może zapobiec znacznym zmianom masy ciała (26).

Zmiany składu ciała prawdopodobnie zależą także od średniej wysokości pobytu w warunkach hipoksji. Przebywanie na wysokości poniżej około 5500m n.p.m. powoduje redukcję przede wszystkim masy tłuszczowej (28,29,36). Pobyt powyżej 6000m n.p.m. wpływa głównie na spadek masy mięśniowej (19,28,36,37,38,39). Długość pobytu w warunkach hipoksji wydaje się także wpływać na zmiany składu ciała. Krótki, trzytygodniowy pobyt na wysokości powyżej 6000m n.p.m. spowodował głównie spadek masy tłuszczowej (40).

Zmiany masy i składu ciała w okresie przewlekłej hipoksji mogą zależeć od wielu innych czynników takich jak: wyjściowa masa i skład ciała; apetyt i ilość przyjmowanych pokarmów; zwyczaje żywieniowe; redukcja aktywności fizycznej; zaburzenia wchłaniania jelitowego; odwodnienie; rodzaj ekspozycji na wysokość (stopniowa, nagła) i zwiększone zapotrzebowanie energetyczne (19,26,28,29,30,31,32,39,41).

### **1.3 Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na wydolność fizyczną.**

Większość dostępnych w literaturze badań na temat wpływu przewlekłej hipoksji na wydolność organizmu człowieka przeprowadzono wśród uczestników wypraw na ośmiotysięczniki (10,30,38,42,43,44,45,46). Dużą grupę stanowią także ochotnicy, którzy poddani byli badaniom w warunkach symulujących stopniową wspinaczkę na wysokość powyżej 8000m n.p.m. (19,39,47). Zauważono, iż przewlekła hipoksja powoduje zmiany deterioracyjne struktury mięśni szkieletowych na poziomie tkankowym i komórkowym (10,30,36,37,38,39,42,43,46,47,48,49). Mimo istotnych zmian stwierdzonych w strukturze mięśni szkieletowych po okresie hipoksji, badania wydolności tlenowej nie wykazały spadku wartości maksymalnego zużycia tlenu (ang. maximum oxygen consumption -  $VO_{2max}$ ) w wartościach względnych i bezwzględnych (42,43,45,49). Znamienne zmiany przedstawiono, w niektórych pracach jedynie w wartościach bezwzględnych maksymalnego zużycia tlenu (30,38,45). Nie analizowano zmian progu przemian anaerobowych (ang. anaerobic threshold - AT) po okresie hipoksji.

Niewiele prac dotyczy wpływu przewlekłej hipoksji na wydolność beztlenową. Badania wykazały istotny spadek maksymalnej mocy beztlenowej dopiero po 5 tygodniach pobytu powyżej 5000m n.p.m., co sugeruje zależność zmian od długości okresu hipoksji (10,44,50,51). Prawdopodobna wydaje się także zależność zmian w wydolności beztlenowej od średniej wysokości pobytu.

Obserwowane obniżanie się parametrów wydolności tlenowej i beztlenowej wyjaśnia się utratą masy mięśniowej, zmianami strukturalnymi mięśni szkieletowych, spadkiem aktywności fizycznej na wysokości oraz zaburzeniami wchłaniania jelitowego (10,44,52).

Brak jest publikacji na temat wpływu długotrwałego pobytu na wysokości na wydolność tlenową i beztlenową u tej samej grupy badanej.

#### **1.4 Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na funkcje poznawcze.**

Sprawne funkcjonowanie poznawcze może być warunkiem przetrwania w ekstremalnych warunkach wysokogórskich. Hipoksja hipobaryczna wydaje się być główną przyczyną zaburzeń funkcji poznawczych na wysokości, choć jej wpływ na mózg nie jest do końca poznany (53).

Zaburzenia funkcji ośrodkowego układu nerwowego (OUN) zależą od poziomu hipoksji. Początkiem ich występowania wydaje się być wysokość około 4500-5000m n.p.m. W pierwszych eksperymentach badających zaburzenia OUN na wysokości, które zostały przeprowadzone w latach 30 XX wieku przez McFarland'a nie zauważono istotnych zaburzeń do wysokości 5300m n.p.m. (54).

McFarland zaobserwował zależność zaburzeń funkcji poznawczych od długości pobytu na wysokości sugerując, iż dłuższy pobyt wpływa na lepszy stopień aklimatyzacji i tym samym mniejsze upośledzenie funkcji OUN (54).

Najbardziej wrażliwe na hipoksję struktury mózgu to: w obrębie kresomózgowia - kora mózgowa (warstwa 2,4,5) - płaty czołowe, płaty skroniowe; jądra podstawy – prążkowie, istota biała, ciało migdałowe, hipokamp – sektor Sommera ; w obrębie międzymózgowia - wzgórze - ciało kolankowate boczne; w obrębie śródmózgowia - wzgórek górny (7,53,55,56,57,58).

Obserwowane na wysokości dysfunkcje poznawcze dotyczą głównie: pamięci, uczenia się nowych informacji bez zaburzeń odroczonego odtwarzania, zdolności kontroli poznawczej, uwagi, spostrzegania, funkcji językowych i metapoznania. Wykazano także spowolnienie psychoruchowe, obniżenie precyzji ruchu, wydłużenie czasu reakcji na bodźce wzrokowe i słuchowe, zaburzenia widzenia barw, zmniejszenie progu czucia dotyku, detekcji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), zapachu, światła, smaku i bólu (7,59).

W prezentowanej pracy ocenie poddano funkcje poznawcze, których prawidłowe funkcjonowanie wydaje się być kluczowym dla przetrwania w warunkach wysokogórskich, tzn. zdolność zapamiętywania nowych informacji, kontrolę poznawczą, funkcje przestrzenne oraz planowanie.

Coraz więcej himalaistów wybiera wspinaczkę wysokogórską na szczyty powyżej 7000m n.p.m. bez używania dodatkowego tlenu. Brak świadomości wpływu wysokości na funkcjonowanie mózgu w tych warunkach może być przyczyną wypadków, a nawet śmierci. Ocena funkcjonowania poznawczego członków wyprawy

przez lekarza wyprawy może być niezbędna gdy podejmowana jest decyzja dotycząca możliwości kontynuowania działalności wysokogórskiej oraz rodzaju zadań powierzanych uczestnikom wyprawy.

### **1.5 Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na subiektywną jakość snu.**

Sen stanowi jedną trzecia życia człowieka. Jego obniżona jakość może powodować labilność emocjonalną, zaburzenia funkcji poznawczych oraz gorsze funkcjonowanie podczas dnia w warunkach wysokogórskich (4,60,61).

Zmiany jakości snu w warunkach wysokogórskich potwierdzają obiektywne badania polisomnograficzne (3,20,62,63,64,65,66,67). Doniesienia o subiektywnych doświadczeniach alpinistów również świadczą o negatywnym wpływie wysokości na jakość snu (3,5,20,61,68). Główną przyczyną obniżenia jakości snu w warunkach wysokogórskich - jednego z symptomów ostrej choroby górskiej (AMS) wydaje się być hipoksja hipobaryczna (2,68). Jakość snu poprawia się wraz ze zmniejszeniem wysokości (69). Stosowanie tlenoterapii poprawia jakość snu ocenianą za pomocą obiektywnych metod (3,4,70,71). Tlenoterapia wpływa również pozytywnie na subiektywną jakość snu (4,61). Spadek temperatury powietrza może być kolejnym czynnikiem wpływającym na sen (72). Hipokapnia, wynikająca ze zwiększonej częstości oddechów, która jest reakcją na hipoksję, może powodować senność podczas dnia (73).

Od pierwszych opisów obniżonej jakości snu w warunkach hipoksji hipobarycznej przedstawianych przez Barcroft'a w latach dwudziestych XX wieku nastąpił ogromny rozwój obiektywnych metod badań jakości snu takich jak polisomnografia (68,74). Metody te wykorzystywano także w badaniach snu w warunkach wysokogórskich co pozwoliło określić wpływ wysokości na architekturę snu. Badania polisomnograficzne wykazały zmiany w rozkładzie faz snu. Zaobserwowano niemal całkowitą redukcję faz snu głębokiego NREM (ang. non rapid eye movement sleep) - III i IV oraz przewagę faz snu płytkiego NREM - I i II (3,20,62,63,64,65,67,71). Wpływ warunków wysokogórskich na fazę snu REM (ang. rapid eye movement sleep) nie jest jednoznaczny (20). Istnieją badania ukazujące brak wpływu wysokości na sen REM (64,69,75), częściowe skrócenie (3,62,65,68), a nawet całkowity brak fazy REM (76). Sen w warunkach wysokogórskich charakteryzuje się zwiększoną częstotliwością krótkich przebudzeń związanych z pojawieniem się

oddechu przerywanego podczas fazy NREM (3,20,62,63,64,65,67,68). Obserwowano także wzrost przebudzeń u osób, które nie miały oddechu przerywanego (3,69).

Oprócz obserwacji obiektywnych zmian snu w warunkach wysokogórskich wielu autorów zwraca także uwagę na pogarszanie się subiektywnej jakości snu. Zmiany jakości snu w warunkach wysokogórskich stwierdzone metodami obiektywnymi mają odbicie w wynikach badań oceniających subiektywną jakość snu. Alpinisci oraz osoby uprawiające turystykę wysokogórską skarżą się na kłopoty z zasypianiem, płytki sen, incydenty budzenia się w nocy z uczuciem duszenia się oraz brak bycia wypoczętymi rano (5,20,61,68). Brak jest danych na temat subiektywnej jakości snu w warunkach wysokogórskich, które byłyby uzyskane za pomocą standaryzowanych metod. Pedlar i inni oceniali jakość snu za pomocą standaryzowanej skali LSEQ (ang. Leeds Sleep Evaluation Questionnaire), ale były to badania dotyczące snu podczas jednej nocy w warunkach hipoksji normobarycznej (77). Informacje na temat subiektywnej jakości snu pochodzą z danych uzyskanych za pomocą jednego pytania skali ostrej choroby górskiej (AMS) dotyczącego jakości snu oraz niestandaryzowanych kwestionariuszy badających wybrane aspekty jakości snu (2,4,68,71,78). Powoduje to trudność w uzyskaniu pełnej oceny różnych aspektów subiektywnej jakości snu w warunkach wysokogórskich oraz uniemożliwia ponowne zastosowanie użytych metod i porównanie uzyskanych danych.

Obiektywne metody badające jakość snu, takie jak polisomnografia, dostarczają dokładnych informacji na temat parametrów snu. Ich mankamentem jest trudność w zastosowaniu w warunkach wysokogórskich jako narzędzi badawczych dla dużych grup alpinistów lub turystów wysokogórskich. Wprowadzenie i stosowanie standaryzowanych skal oceny subiektywnej jakości snu takich jak: skala PSQI (ang. Pittsburgh Sleep Quality Index) oraz - Ateńska Skala Bezsenności (ang. Athens Insomnia Scale - AIS) może rozwiązać problem precyzyjnej oceny zaburzeń snu w warunkach wysokogórskich. Skale mogłyby być w przyszłości użyte jako proste do zastosowania narzędzia badawcze, umożliwiające wyodrębnienie grupy alpinistów cierpiących na zaburzenia snu na wysokości. Wczesna diagnoza zaburzeń snu pozwoliłaby na szybkie postawienie diagnozy i zastosowanie odpowiedniej farmakoterapii.

## **2. Cel pracy**

Celem pracy było:

1. Określenie w jaki sposób miesięczny pobyt na średniej wysokości około 4600m n.p.m. wpływa na masę i skład ciała oraz wydolność tlenową i beztlenową organizmu człowieka.
2. Ocena wpływu pobytu na wysokości powyżej 4000m i 6000m n.p.m. podczas wyprawy wysokogórskiej na funkcje poznawcze takie jak: zdolność zapamiętywania nowych informacji, funkcje przestrzenne, kontrolę poznawczą i planowanie.
3. Określenie własności psychometrycznych skal badających subiektywną jakość snu – skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS), w warunkach wysokogórskich.
4. Ocena subiektywnej jakości snu w warunkach wysokogórskich.



**Fotografia 2. Chan Tengri 7010m n.p.m., Kirgistan.**

### **3. Materiał i metody badań**

#### **3.1 Charakterystyka badanych grup.**

Uczestnikami prezentowanych badań byli polscy alpinści biorący udział w czterech wyprawach wysokogórskich: ekspedycji do Kirgistanu w góry Pamir i Tianszan, której zadaniem było wejście na szczyt Pik Lenina 7134m n.p.m. i Chan Tengri 7010m n.p.m. (fotografia 2), wyprawy do Tadżykistanu, której celem było zdobycie dwóch siedmiotysięczników tadżyckiego Pamiru, Piku Komunizmu (Sonomi) 7495m n.p.m. i Piku Korzeniewskiej 7105m n.p.m., wyprawy do Nepalu w Himalaje w celu zdobycia szczytu Lobuche East 6119m n.p.m. oraz ekspedycji do Pakistanu w góry Zachodniego Karakorum, której założeniem było zdobycie siedmiotysięcznika Passu Sar 7478m n.p.m. Grupę kontrolną stanowili członkowie i sympatycy Klubu Wysokogórskiego Trójmiasto, u których badania wykonano na poziomie morza.

Badania obejmowały łącznie 104 osoby: 70 alpinistów oraz 34 osoby w grupie kontrolnej. Wszyscy dobrowolnie uczestniczyli w badaniu i wyrazili na nie pisemną zgodę. Badanie uzyskało zgodę Niezależnej Komisji Bioetycznej do Spraw Badań Naukowych przy Akademii Medycznej w Gdańsku (AMG) numer NKEBN/308/2006.

#### **3.1.1 Charakterystyka grupy – badania masy, składu ciała oraz wydolności fizycznej.**

Badanie obejmuje grupę dziesięciu osób, 9 mężczyzn oraz 1 kobietę o średniej wieku 27 lat (odchylenie standardowe- ang. standard deviation -  $SD\pm 4$ ), (przedział od 20 do 34 lat). Uczestnicy badania byli członkami jednej z dwóch wypraw wysokogórskich: wyprawy do Kirgistanu – 5 uczestników, oraz wyprawy do Tadżykistanu – 5 uczestników. Celem każdej ekspedycji było zdobycie dwóch szczytów o wysokości powyżej 7000m n.p.m.

#### **3.1.2 Charakterystyka grupy – badania funkcji poznawczych.**

Grupa kliniczna składała się z 31 osób (28 mężczyzn i 3 kobiet) o średniej wieku 28 lat ( $SD\pm 5$ ) i liczbie lat nauki 16,6 ( $SD\pm 5$ ). Liczbę lat nauki obliczano sumując rzeczywistą ilość lat edukacji zaczynając od szkoły podstawowej a kończąc na studiach podyplomowych lub doktoranckich. Grupę stanowili polscy alpinści biorący udział w jednej z czterech wypraw wysokogórskich.

Grupa kontrolna to 34 osoby (30 mężczyzn i 4 kobiety) o średniej wieku 28 lat ( $SD\pm 5$ ) i liczbie lat nauki 16,5 ( $SD\pm 2$ ). Grupę kontrolną wyselekcjonowano na zasadzie

doboru wiązanego. Do każdej osoby z grupy klinicznej dopasowano osobę kontrolną, tej samej płci, ręczności, w tym samym wieku ( $SD\pm 2$  lata) oraz o tym samym wykształceniu liczonym w latach nauki ( $SD\pm 1$  rok). Starano się również dobrać osobę kontrolną pod kątem profilu wykształcenia: techniczne, medyczne, ekonomiczne lub humanistyczne. W grupie kontrolnej znalazły się osoby aktywne fizycznie. Większość osób dobrano na podstawie przeprowadzonej ankiety wśród uczestników spotkań w Klubie Wysokogórskim Trójmiasto oraz Spotkań Podróżników – Kolosy w Gdyni.

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic między grupami pod względem wieku (istotność statystyczna  $p=0,91$ ), lat nauki ( $p=0,85$ ) oraz płci ( $p=1$ ).

### **3.1.3 Charakterystyka grupy – badania subiektywnej jakości snu.**

Badanie objęło grupę 38 osób, 34 mężczyzn oraz 4 kobiety o średniej wieku 31 lat ( $SD\pm 9$ ), (przedział od 19 do 55 lat). Badani byli członkami jednej z dwóch wypraw wysokogórskich: wyprawy do Kirgistanu i Nepalu. Uczestnicy zakwalifikowani do badania nie używali środków farmakologicznych dla poprawy jakości snu oraz przyspieszenia procesu aklimatyzacji. Z grupy klinicznej wykluczono również alpinistów, którzy na poziomie morza mieli zaburzenia snu.

## **3.2 Metodologia badań.**

### **3.2.1 Metodologia - badania masy, składu ciała oraz wydolności fizycznej.**

Masa i skład ciała, wydolność tlenowa i beztlenowa oraz parametry morfologii krwi oceniane były dwukrotnie. Pierwsze badania zostały przeprowadzone w okresie 7 dni przed wyprawą. Drugie badania wykonano w okresie około 7 dni po ostatnim dniu pobytu na wysokości 2500m n.p.m.

Uczestnicy wypraw przebywali na wysokości ponad 2500m n.p.m. przez 31 dni ( $SD\pm 2$ ), (przedział od 29 do 34 dni). Wysokość baz głównych analizowanych wypraw wynosiła 4000m n.p.m. Alpinisci przebywali średnio na wysokości około 4636m n.p.m. ( $SD\pm 325$ m), (przedział od 4312 do 5246m n.p.m.).

Z uwagi na podobny charakter obu wypraw pod względem wysokości baz głównych oraz okresu pobytu w warunkach wysokogórskich zanalizowano dwie grupy alpinistów łącznie. Zbadano w ten sposób wpływ miesięcznego pobytu powyżej 4000m n.p.m., na średniej wysokości 4636m n.p.m. na wybrane, a przedstawione poniżej, parametry organizmu człowieka.

Badania przeprowadzone zostały w Zakładzie Fizjologii Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku oraz w Akademii Medycznej w Gdańsku.

W celu określenia masy ciała, składu ciała, zdolności wysiłkowych, metabolizmu energetycznego oraz parametrów morfologii krwi zastosowano następujące metody badawcze:

### **3.2.1.1 Pomiary antropometryczne.**

Wysokość ciała zmierzono korzystając z antropometru z zestawu instrumentów pomiarowych GPM- Skinfold Caliper Users Manual.

Do oceny masy oraz składu ciała posłużono się metodą bioelektrycznej impedancji. Zastosowano analizator TBF 300 – (ang. TANITA Body FAT Monitor/Scale Analyser). Dzięki tej metodzie uzyskano dane na temat:

- (BW - ang. body weight) - masy ciała w kilogramach [kg]
- (FAT) - masy tkanki tłuszczowej w kilogramach [kg] i procencie [%] masy ciała
- (FFM - ang. fat free mass) - beztłuszczowej masy ciała w kilogramach [kg]
- (TBW - ang. total body water) - całkowitej masy wody w organizmie w kilogramach [kg]

Wskaźniki wagowo-wzrostowe, które określono oceniając ogólną budowę ciała to:

- (BMI - ang. body mass index) – wskaźnik masy ciała w kilogramach na metr kwadratowy [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
- (BSA - ang. body surface area) - powierzchnia ciała w [ $\text{m}^2$ ] (79,80)

Zbadano także poziom podstawowej przemiany materii (BMR - ang. basic metabolic rate) w kilokaloriach [kcal].

### **3.2.1.2 Laboratoryjny pomiar wydolności tlenowej.**

Celem oceny wydolności tlenowej zastosowano test polegający na wykonywaniu wysiłku fizycznego o wzrastającym obciążeniu do odmowy kontynuowania (fotografia 3). Test przeprowadzono na ergometrze rowerowym ER900 firmy Jaeger. Wydolność tlenową oceniono metodą bezpośrednią za pomocą analizatora gazów wydychanych Oxycon Pro firmy Jaeger (Viasys) używając programu Breath by Breath.

Pomiary przeprowadzono według protokołu zaproponowanego przez Suchanowskiego, który jest modyfikacją protokołu Wasserman'a (81,82).

Test składa się z czterech etapów:

I. Faza wstępna. Przyzwyczajenie się do sprzętu badawczego. Pomiar parametrów charakteryzujących układ krążenia i oddechowy w spoczynku. Okres 5 minut.

II. Faza referencyjna testu. 5 minutowy wysiłek fizyczny o stałym obciążeniu 1,5 wata na kilogram masy ciała [ $W \cdot kg^{-1}$ ] polegający na pedałowaniu przez osobę badaną z częstotliwością 50 obrotów na minutę [ $50 \cdot min^{-1}$ ]. Celem tego etapu było uzyskanie stabilizacji układu krążeniowo-oddechowego.

III. Faza główna testu. Etap, w którym co każdą minutę zwiększano obciążenie o 25 watów [ $W$ ] aż do momentu odmowy przez osobę badaną kontynuowania wysiłku.

IV. Faza odpoczynku w pozycji siedzącej na cykloergometrze. Okres 5 minut.

Podczas testu w sposób ciągły monitorowano i zapisywano następujące parametry:

- ( $VO_2$  - ang. oxygen consumption) - zużycie tlenu w wartościach względnych - mililitrach na kilogram na minutę [ $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ] oraz bezwzględnych – litrach na minutę [ $L \cdot min^{-1}$ ]
- ( $VCO_2$  - ang. carbon dioxide production) wydalenie dwutlenku węgla w wartościach względnych [ $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ] oraz bezwzględnych [ $L \cdot min^{-1}$ ]
- (RER - ang. respiratory exchange ratio) współczynnik wymiany oddechowej
- (VE) - wentylację minutową płuc w litrach na minutę [ $L \cdot min^{-1}$ ]
- (VT - ang. tidal volume) - objętość oddechową w litrach [L]
- (BF - ang. breath frequency) - ilość oddechów na minutę w [ $odd \cdot min^{-1}$ ]
- (HR - ang. heart rate) - częstość skurczów serca na minutę w [ $sk \cdot min^{-1}$ ]
- ( $MP_{VO_2}$ ) - moc tlenową w wartościach względnych - watach na kilogram [ $W \cdot kg^{-1}$ ], watach na kilogram beztuszczowej masy ciała [ $W \cdot kgFFM^{-1}$ ] i w wartościach bezwzględnych - watach [W]

Zastosowany test pozwala określić parametry charakteryzujące wydolność tlenową organizmu. Maksymalne zużycie tlenu ( $VO_{2max}$ ) zmierzono metodą bezpośrednią. Próg przemian anaerobowych (AT) określono metodą nieinwazyjną określając tzw. próg wentylacyjny. Próg wentylacyjny oznacza się analizując zmiany w wentylacji wyznaczając intensywność wysiłku fizycznego przy której następuje nagły, nieproporcjonalny do zwiększającego się obciążenia wzrost wentylacji minutowej płuc (83,84).

Do wyznaczenia progu przemian anaerobowych (AT), używano dodatkowo wartość współczynnika wymiany oddechowej (ang. respiratory exchange ratio - RER)

(85). Współczynnik wymiany oddechowej (RER) równy lub większy niż 1 oznaczał wzrost wydychanego dwutlenku węgla ( $VCO_2$ ) czyli pośrednio nasilenie glikolizy beztlenowej.

Wyznaczony próg przemian anaerobowych (AT) zaprezentowano w następujących jednostkach:

- Mililitry tlenu na kilogram na minutę [ $mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ] - wartość zużycia tlenu ( $VO_2$ ), przy progu przemian anaerobowych (AT- $VO_2$ )
- Procent maksymalnego zużycia tlenu [ $\%VO_{2max}$ ], przy progu przemian anaerobowych
- Skurcze serca na minutę [ $sk \cdot min^{-1}$ ] – wartość częstości skurczów serca na minutę (HR), przy progu przemian anaerobowych (AT-HR)
- Procent maksymalnej częstości skurczów serca na minutę [ $\%HRmax$ ] - przy progu przemian anaerobowych
- Waty [W] – wartość maksymalnej mocy tlenowej ( $MP_{VO_2}$ ), przy progu przemian anaerobowych (AT- $MP_{VO_2}$ )
- Procent maksymalnej mocy tlenowej [ $\%MP_{VO_{2max}}$ ], przy progu przemian anaerobowych
- Litry na minutę [ $L \cdot min^{-1}$ ] – wartość wentylacji minutowej płuc (VE), przy progu przemian anaerobowych (AT-VE)
- Procent maksymalnej wentylacji minutowej płuc [ $\%VEmax$ ], przy progu przemian anaerobowych

### ***3.2.1.3 Laboratoryjny pomiar wydolności beztlenowej.***

Pomiary wydolności beztlenowej wykonano wykorzystując test opracowany przez Bar-Ora Wingate Anaerobie Test (WAnT), (fotografia 4). Zastosowano wersję 30 sekundową (86,87,88,89). Test wykonywany był na kończynie dolne, z pełnym oporem koła zamachowego od początku wysiłku, na ergometrze rowerowym Ergomedic E818 firmy Monark. Indywidualnie dobierano opór na kole, 0,075 kilogram-siły (kG) na kilogram masy ciała [ $0,075kG \cdot kg^{-1}$ ].

Program komputerowy MCE v 2.0 umożliwił obliczenie wskaźników mechanicznych uzyskanych podczas Wingate Anaerobic Test (WAnT) (90). Oznaczono wartości następujących wskaźników:

- ( $W_{tot}$  - ang. total work) - praca całkowita w jednostkach względnych - dżulach na kilogram [ $J \cdot kg^{-1}$ ], dżulach na kilogram beztłuszczowej masy ciała [ $J \cdot kg_{FFM}^{-1}$ ] i w jednostkach bezwzględnych: kilodżulach [kJ]
- ( $PP_{WAnT}$ ) - maksymalna moc beztlenowa w jednostkach względnych - wat na kilogram [ $W \cdot kg^{-1}$ ], wat na kilogram beztłuszczowej masy ciała [ $W \cdot kg_{FFM}^{-1}$ ] i w jednostkach bezwzględnych: watach [W]
- (TUZ) - czas uzyskania mocy maksymalnej w sekundach [s] z dokładnością do 0,01s
- (TUT) - czas utrzymania mocy maksymalnej w sekundach [s] z dokładnością do 0,01s
- (WSM) - wskaźnik spadku mocy w procentach [%]

W teście zastosowano protokół składający się z czterech etapów (86,87,88,89):

I. Rozgrzewka. 5 minutowy okres, w którym osoby badane pedałowaly z częstotliwością obrotów pedałami 50 na minutę [ $50 \cdot min^{-1}$ ] przy obciążeniu 1 wat na kilogram masy ciała [ $W \cdot kg^{-1}$ ]. Osoby badane dwu-trzykrotnie wykonały podczas rozgrzewki kilkusekundowe wysiłki z indywidualną maksymalną liczbą obrotów z obciążeniem maksymalnym – testowym.

II. Wypoczynek bierny. 5 minut.

III. Faza główna testu. 30s Wingate Anaerobic Test (WAnT).

IV. Faza odpoczynku. 1 minuta w pozycji siedzącej na cykloergometrze z małym obciążeniem, następnie 5 minutowy wypoczynek bierny w pozycji leżącej.

Określono proporcje metabolizmu fosfagenowego ( $W_{ana_{phosph}}$ ) i glikolitycznego ( $W_{ana_{glycol}}$ ) podczas Wingate Anaerobic Test (WAnT), które wyrażono w procentach pracy całkowitej.

Ocenę wielkości wykonanej pracy beztlenowej ( $W_{ana}$ ) podczas Wingate Anaerobic Test (WAnT), z udziałem metabolizmu fosfagenowego ( $W_{ana_{phosph}}$ ) i glikolitycznego ( $W_{ana_{glycol}}$ ) oparto na metodzie opisanej przez Szczęsną- Kaczmarek, która jest zbieżna z pracami innych autorów (91,92,93,94,95,96,97,98,99).

#### **3.2.1.4 Ocena morfologii krwi żyłnej.**

Krew pobierano od uczestników badania w spoczynku w godzinach porannych. Osoby badane były na czczo. Krew pobierano z żył powierzchownych przedramienia.

Uzyskany materiał analizowano w laboratorium Szpitala Akademii Medycznej w Gdańsku. Zarejestrowano następujące parametry:

- (Hb) - poziom hemoglobiny we krwi w gramach na decylitr [g/dl]
- (Hct) - hematokryt w procentach [%]
- (RBC - ang. red blood cells count) - liczbę krwinek czerwonych na litr [ $10^{12}/L$ ]
- (RETC) - bezwzględną liczbę retikulocytów w gramach na litr [g/L]
- (RET) - względną liczbę retikulocytów w procentach [%]
- (FE) – poziom żelaza w [ $\mu\text{g}/\text{dl}$ ]
- (FERRY) - poziom ferrytyny w mikrogramach na litr [ $\mu\text{g}/L$ ]
- (TRF) - poziom transferyny w gramach na litr [g/L]
- (TIBC - ang. total iron binding capacity) - całkowitą zdolność wiązania żelaza w mikrogramach na decylitr [ $\mu\text{g}/\text{dl}$ ]

### **3.2.2 Metodologia - badania funkcji poznawczych.**

Ocenę funkcji poznawczych grupy klinicznej wykonywano trzykrotnie: badanie numer jeden (badanie 1) - na poziomie morza; badanie numer dwa (badanie 2) - na średniej wysokości 4270m n.p.m. ( $SD\pm 370\text{m}$ ), (przedział od 3730 do 5200m n.p.m.); badanie numer trzy (badanie 3)- na średniej wysokości 6304m n.p.m. ( $SD\pm 210\text{m}$ ), (przedział od 5800 do 6400m n.p.m.). Badania wykonywano w różnych odstępach czasowych, co było związane z postępowaniem wypraw wysokogórskich. Okres między przekroczeniem wysokości 2500m n.p.m. a badaniem 2 na około 4000m n.p.m. wynosił średnio 6 dni ( $SD\pm 5$ ), (przedział od 1 do 16 dni). Okres między przekroczeniem wysokości 2500m n.p.m. a badaniem 3 na około 6000m n.p.m. wynosił średnio 15 dni ( $SD\pm 4$ ), (przedział od 9 do 26 dni). Badania osób z grupy kontrolnej były wykonywane w takich samych odstępach czasu, jak badania odpowiadających im osób z grupy klinicznej. Wszystkie badania osób z grupy kontrolnej zostały przeprowadzone na poziomie morza.

Plan badania obejmował trzykrotny pomiar funkcji poznawczych: na wysokości 0m n.p.m., 4000m n.p.m. i 6000m n.p.m., dlatego też w badaniu zastosowano 3 alternatywne wersje każdej z metod. Alternatywne wersje testów zastosowano w celu uniknięcia efektu wprawy, który polega na uczeniu się przez badanego rozwiązań tego samego testu powtarzanego w kolejnych badaniach powodując uzyskiwanie lepszych rezultatów. Powtarzanie tego samego zadania powoduje, iż uzyskany w kolejnym badaniu wynik nie odzwierciedla rzeczywistego poziomu danej funkcji poznawczej.

Efekt wprawy ograniczałby możliwość interpretacji drugiego i trzeciego w kolejności pomiaru. Z uwagi na eksperymentalny charakter zastosowanych prób wersje alternatywne stworzono dopiero na użytek tego badania. Nie można było założyć a priori, iż wersje wszystkich testów są równoważne pod względem stopnia trudności. W związku z tym stosowano różne konfiguracje stosowania wersji 1,2,3. Schemat badania każdej osoby z grupy klinicznej był odtwarzany w identyczny sposób w przypadku jej odpowiednika z grupy kontrolnej.

Zastosowane w badaniu metody są narzędziami psychologicznymi, jednak z uwagi na fakt, że ocena funkcji poznawczych nie miała charakteru kliniczno-eksperymentalnego, a jedynie- psychometryczny, lekarz nie udzielał informacji zwrotnej o wyniku badania.

Wybór metod badania był podyktowany z jednej strony specyfiką funkcjonowania człowieka w warunkach wysokogórskich, z drugiej zaś strony dostępnością metod badania.

Zdolność uczenia się nowych informacji słownych badano przy użyciu prób uczenia się 10 słów - próba uczenia się materiału słownego (ang. verbal learning test - VLT). Funkcje przestrzenne oceniono na podstawie prób rotacji umysłowej. Kontrolę poznawczą badano przy pomocy próby interferencji poznawczej Stroopa, zaś do oceny planowania zastosowano próbę eksperymentalną opracowaną na bazie Tower of Toronto. Adaptację wszystkich metod badania wykonano z udziałem zespołu psychologów pod kierunkiem dr n. hum. Dariusza Wieczorka, specjalisty psychologii klinicznej z zakresu neuropsychologii.

Badanie funkcji poznawczych trwało około 45-60 minut i było wykonywane w cichym odosobnionym miejscu, w warunkach umożliwiających koncentrację na zadaniach testowych.

Testy były wykonywane w następującej stałej kolejności: próba uczenia się 10 słów, próby interferencji poznawczej Stroopa, próby rotacji umysłowej, próby planowania opracowane na podstawie Tower of Toronto.

Dodatkowo zastosowano skalę AMS w celu oceny potencjalnego wpływu objawów ostrej choroby górskiej (AMS) na badane funkcje poznawcze (100,101).

### ***3.2.2.1 Próby uczenia się 10 słów (VLT).***

Do oceny procesu zapamiętywania i odtwarzania z pamięci zapamiętanych wcześniej informacji wykorzystano próby uczenia się 10 słów (załącznik 1). Pomiar

pamięci materiału werbalnego wybrano z uwagi na brak dostępnych metod oceny pamięci przestrzennej, spełniających warunki omówione w akapicie dotyczącym pomiaru funkcji przestrzennych.

Badanie pamięci słownej składało się z 4 prób uczenia się 10 słów i próby odroczonego odtwarzania po 10 minutach od zakończenia ostatniej próby bezpośredniego odtwarzania. Wszystkie listy słów składały się z 2-sylabowych rzeczowników, o wysokiej częstotliwości użycia w języku polskim.

Badający w próbie uczenia czyta badanemu listę 10 słów w tempie 1 słowo na sekundę, a badany natychmiast po jej przeczytaniu wymienia tyle słów, ile udało mu się zapamiętać w dowolnej kolejności. W kolejnych próbach badany ma wymienić jak najwięcej zapamiętanych słów, również te wymieniane wcześniej. Bez względu na wyniki kolejnych prób wykonuje się wszystkie 4 próby uczenia.

Analizując wyniki określono:

- wskaźnik pamięci krótkotrwałej (1.1) - suma słów odtworzonych w pierwszej próbie
- wskaźnik efektywności procesu uczenia (1.2) - suma słów odtworzonych we wszystkich próbach
- wskaźnik zdolności selekcji śladów pamięciowych od przypadkowych skojarzeń (1.3) - suma wszystkich konfabulacji
- wskaźnik pamięci odroczonej
  - (1.4) - liczba odtworzonych słów po 10 minutach
  - (1.5) - procent informacji odtworzonych po odroczeniu (stosunek liczby odtworzonych słów po 10 minutach do średniej z dwóch ostatnich prób odtwarzania bezpośredniego).

### **3.2.2.2 Próby interferencji poznawczej Stroopa.**

Do pomiaru kontroli poznawczej wykorzystano skróconą próbę interferencji poznawczej Stroopa (102,103). Oryginalna próba Stroopa składa się z 3 części. Pierwsza część polega na podawaniu nazw kolorów prostokątów lub rzędów liter xxx. Część druga polega na czytaniu nazw kolorów napisanych czarnym tuszem. Część trzecia zaś wymaga podawania nazwy koloru czcionki, którym został napisany każdy wyraz, zamiast czytania napisanego słowa. Dla przykładu, na bodziec „niebieski”, należy zareagować słowem „czerwony”, powstrzymując naturalną tendencję do czytania „niebieski”. Zadanie to wymaga nieustannej kontroli i hamowania reakcji automatycznej, na rzecz kierowanej świadomie i podporządkowanej regułom zadania.

Wynik stanowi zazwyczaj czas wykonania każdej z prób, różnica między czasem wykonania próby pierwszej i trzeciej oraz liczba błędów w próbie trzeciej, niekiedy uwzględnia się błędy nieskorygowane oraz skorygowane.

W badaniu własnym zastosowano jedną próbę z interferencją.

Każda próba składała się 71 słów napisanych kolorowym tuszem, umieszczonych w wierszach na karcie formatu A4 (załącznik 2). Na początku testu znaczenie słów było spójne z kolorem tuszu, tak aby zaktywizować automatyzm czytania (czemu służy próba druga w wersji oryginalnej zadania), później jednak na przemian pojawiały się słowa spójne z kolorem czcionki (np. „niebieski”, „czerwony”) oraz niespójne - wymagające od badanego wykorzystania kontroli poznawczej (np. „niebieski”, „czerwony”). Liczba bodźców „spójnych” i „niespójnych” była taka sama we wszystkich wersjach testu. Co druga linijka rozpoczynała się od słowa „czarny” napisanego czarnym tuszem, aby ułatwić badanemu i badającemu orientację na arkuszu. Arkusze dla badającego przedstawiono w załączniku 3.

Analizując wyniki określono:

- wskaźnik kontroli poznawczej, który stanowi czas wykonania próby (3.1) oraz liczba błędów (3.2).

### **3.2.2.3 Próby rotacji umysłowej.**

Większość testów badających funkcje przestrzenne bądź pamięć przestrzenną wymaga zaangażowania motoryki - rysowania (np. Test Figury Złożonej TFZ Rey'a), układania wzorów z klocków (Klocki Kohsa lub Klocki ze Skali Inteligencji dla Dorosłych Wechslera) bądź innych elementów (test pałeczek, Test Układania Figur, test Diagnozowania Uszkodzeń Mózgu DUM, Układanki). Ponadto testy te są albo względnie łatwe dla osób zdrowych i może w nich łatwo wystąpić efekt sufitowy (np. TFZ Rey'a), albo długie tak jak test Diagnozowania Uszkodzeń Mózgu (DUM), bądź też nie posiadają wersji zastępczych (np. Klocki, Układanki). Efekt sufitowy polega na braku możliwości wykazania różnic pomiędzy rezultatami osób badanych z powodu uzyskania przez nie wyniku maksymalnego lub zbliżonego do maksimum. Uzyskanie wyników maksymalnych jest spowodowane zastosowaniem zbyt łatwego testu dla grupy badanej.

Do oceny funkcji przestrzennych wybrano próby rotacji umysłowej z uwagi na wysoki poziom trudności tego rodzaju prób, brak istotnego zaangażowania motoryki w wykonanie testu, możliwość stworzenia wersji zastępczych i względnie krótki czas

wykonania. Z uwagi na niedostępność Vandenberg Mental Rotation Test zastosowano próby eksperymentalne w opracowaniu własnym (104), (fotografia 5).

Wykonanie prób rotacji umysłowej wymaga prawidłowej zdolności analizy i syntezy wzrokowej oraz wyobraźniowej manipulacji trójwymiarowym obrazem.

Każda z wersji testu składała się z 15 prób, gdzie zadaniem badanego był dobór jednego z 3 rysunków brył do bryły wzorcowej umieszczonej po lewej stronie arkusza (załącznik 4). W trakcie badania mierzony był czas każdej odpowiedzi. Badany odpowiadał poprzez przekreślenie wybranej przez siebie bryły.

Uzyskane wyniki pozwoliły na zrównoważenie wszystkich trzech wersji testu pod względem stopnia trudności. W tym celu po analizie wyników trzech wersji testu, każdej z łącznie 45 prób przypisano wskaźnik trudności. Wskaźnik trudności każdej próby obliczono dzieląc wartość procentową jaką stanowiły poprawne odpowiedzi na daną próbę przez średni czas poprawnego wykonania próby. Następnie porównano wersje stosując test t studenta dla prób niezależnych. Uzyskano wynik świadczący o braku istotnych różnic między wersjami. Dodatkowo zastosowano analizę spójności wewnętrznej alfa Cronbacha i usunięto z każdej wersji po 3 próby, których usunięcie podwyższało współczynnik alfa, w ten sposób uzyskując trzy próby o porównywalnej spójności wewnętrznej. Usunięcie jeszcze dwóch prób z każdej wersji metodą empiryczną (wybierano próby najbardziej przyczyniające się do zróżnicowania wyników każdej z wersji), pozwoliło na dobranie trzech puli pozycji, których wynik łączny wskaźnika trudności nie różnił się statystycznie w badaniu osób grupy kontrolnej przy istotności statystycznej (p) bliskiej jedności. Ostatecznie wersje równoważne składały się z 10 prób każda. Wskaźnik funkcji przestrzennych (2.0) obliczono sumując liczbę pozycji na które badany odpowiadał prawidłowo i dodając do tego sumę odwrotności czasów poprawnie rozwiązanych pozycji, co zapewniało uwzględnienie zarówno poprawności jak i szybkości wykonania testu. Wyższy wynik odpowiada wyższemu poziomowi funkcji przestrzennych.

#### ***3.2.2.4 Próby planowania opracowane na podstawie Tower of Toronto.***

Wśród metod oceniających planowanie najpopularniejsze są testy wież (Tower of London, Tower of Hanoi oraz Tower of Toronto) oraz labiryntów. Zastosowanie testu labiryntów wymagałoby albo użycia specjalistycznego sprzętu (Labirynt Austina), albo zaangażowania funkcji grafomotorycznych (labirynty Porteus), dlatego wybrano test wież. O wyborze Tower of Toronto zdecydował brak wpływu czasu wykonania na

wynik testu oraz wysoki stopień trudności reguł, których należy przestrzegać, (fotografia 6).

Oryginalna próba Tower of Toronto bada proces planowania, kontrolę poznawczą oraz pamięć proceduralną (105). Składa się z 15 prób planowania: 5 prób wstępnych oraz 10 właściwych z 1,5-godzinną przerwą po 5 właściwych próbach. Test ten jest więc bardzo długi i to zadecydowało o zastosowaniu wersji skróconej. W wersji eksperymentalnej zastosowano 2 próby z 3 krążkami oraz 4 próby z 4 krążkami (arkusz dla badanego - załącznik 5). Dla celów badania przygotowano mniejszą od oryginalnej wersję układanki testowej (wymiary podstawki: 15x5x1,5cm; wysokość kołków 8cm, średnica krążka 4cm, wysokość krążka 1,7cm). Zmniejszenie wymiarów układanki było podyktowane względami praktycznymi.

Zadanie testowe polega na przełożeniu krążków z jednego z kołków na inny -wskazany przez badającego - w jak najmniejszej liczbie ruchów. Zadanie to należy wykonać przestrzegając dwóch zasad, które przez cały czas wykonywania próby znajdują się w zasięgu wzroku badanego pod rysunkiem przedstawiającym pozycję startową i końcową:

1. Za jednym razem można przełożyć tylko jeden krążek.
2. Nigdy nie należy umieszczać ciemniejszego krążka na jaśniejszym.

Próby z 3 krążkami można wykonać w 7 ruchach, zaś z 4 krążkami – w 15 ruchach. Wykonanie zadania w mniejszej liczbie ruchów jest niemożliwe. Próby przerywa się w sytuacji, gdy badany nie jest w stanie ułożyć wymaganej konfiguracji w 25 ruchach dla prób z 3 klockami oraz po 50 ruchach w próbach z 4 klockami.

W zestawie pierwszym (zestaw I) zadanie polega na przełożeniu krążków z kołka nr 1 na kołek nr 3 (załącznik 5), w zestawie drugim (zestaw II) -na przełożeniu krążków z kołka nr 1 na kołek nr 2, zaś w zestawie trzecim (zestaw III) – na przełożeniu krążków z kołka nr 3 na kołek nr 1. Kołek nr 1 oznacza kołek leżący najdalej po lewej patrząc od strony badanego.

Wskaźnik planowania stanowi średnia liczba ruchów w próbach z 4 klockami (4.4). Wynik ten mieści się potencjalnie w przedziale 15-50, przy czym większe wartości odpowiadają tutaj słabszej zdolności planowania.

### **3.2.2.5 Skala Ostrej Choroby Górskiej (AMS) - Lake Louise Acute Mountain Sickness Score.**

Do oceny objawów ostrej choroby górskiej (AMS) zastosowano skalę AMS (100,101). Składa się ona z 5 pytań, na które osoba badana odpowiada samodzielnie wybierając odpowiedź od 0 do 3. Wynik mieści się w przedziale od 0 do 15. Uzyskanie rezultatu  $\geq 3$  oznacza ostrą chorobę górską (AMS), pod warunkiem, że jednym z zaznaczonych objawów jest ból głowy i objawy pojawiły się w warunkach wysokogórskich (załącznik 6).

### **3.2.3 Metodologia - badania subiektywnej jakości snu.**

Subiektywną jakość snu oceniano dwukrotnie: pierwszy raz w czasie wyprawy wysokogórskiej, drugi raz po powrocie, na poziomie morza. Uczestnicy oceniali jakość snu dotyczącą tygodnia poprzedzającego badanie. Ocena na wysokości została przeprowadzona średnio po 9 dniach ( $SD\pm 3$ ) pobytu na wysokości powyżej 2500m n.p.m. (przedział od 6 do 14 dni). Średnia wysokość podczas ocenianego okresu wynosiła 4329m n.p.m. ( $SD\pm 218$ ), (przedział od 3929 do 4879m n.p.m.). Badanie na poziomie morza przeprowadzono po średnio 57 dniach ( $SD\pm 31$ ) po zejściu z wysokości. Do oceny subiektywnej jakości snu zastosowano zmodyfikowaną skalę Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńską Skalę Bezsenności (AIS).

Wybór powyższych dwóch skal argumentuje się:

- potwierdzoną rzetelnością i trafnością na poziomie morza: (PSQI) (106,107,108,109,110), (AIS) (111,112,113)
- prostym systemem punktacji (AIS)
- kompatybilnością z wynikami polisomnografii: (PSQI) (106,109), (AIS) (114)
- stosowaniem w różnych chorobach przebiegających z zaburzeniami snu, szczególnie związanych z hipoksją, takich jak Zespół Bezdechów Sennych: (PSQI) (115).

#### **3.2.3.1 Skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI).**

Skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) to kwestionariusz wypełniany przez osobę badaną składający się z 18 pozycji testowych, badających siedem komponentów jakości snu (załącznik 7). Skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) jest oparta głównie na pytaniach ilościowych, na które odpowiedzią są konkretne wartości (minuty, godziny) lub częstość występowania specyficznych problemów wpływających na sen (np. ilość przebudzeń w nocy z powodu trudności z oddychaniem). Skalę Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) oraz sposób obliczania

wartości poszczególnych komponentów przedstawiono w załączniku 7. Skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) bada 7 komponentów jakości snu: (C1) subiektywną jakość snu - ocena jakościowa; (C2) zasypianie - ocena ilościowa, (analiza czasu do zaśnięcia w minutach oraz ilości nocy gdzie czas do zaśnięcia przedłużał się do ponad 30 minut); (C3) długość trwania snu - ocena ilościowa, (rzeczywista długość snu w godzinach); (C4) efektywność snu - ocena ilościowa, (stosunek rzeczywistej ilości godzin snu do czasu spędzonego w łóżku); (C5) zaburzenia snu - ocena ilościowa, (występowanie specyficznych problemów wpływających na jakość snu, takich jak np. kaszel, ból, zimno); (C6) używanie leków nasennych - ocena ilościowa, (liczba dawek); (C7) zaburzenia funkcjonowania podczas dnia - ocena ilościowa i jakościowa. W zmodyfikowanej wersji skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), zastosowanej w badaniu, osoby oceniały jakość snu w przeciągu tygodnia a nie, tak jak w oryginale, miesiąca poprzedzającego badanie. Ta modyfikacja była podyktowana specyfiką warunków wyprawy wysokogórskiej w jakich prowadzono badania. Wynik każdego komponentu mieści się w przedziale od 0 (brak trudności) do 3 (ogromna trudność). Łączny wynik skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) mieści się w przedziale od 0 do 21 punktów. Im wyższy wynik tym gorsza jakość snu. Wynik powyżej pięciu punktów oznacza obniżoną jakość snu. Rzetelność skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) analizowana na poziomie morza jest wysoka, czemu dowodzi współczynnik spójności wewnętrznej alfa ( $\alpha$ ) Cronbach'a równy 0,83 (106).

### **3.2.3.2 Ateńska Skala Bezsenności (AIS).**

Ateńska Skala Bezsenności (AIS) to skala składająca się z 8 pozycji testowych (podskale) oceniających (1) - zasypianie, (2) - budzenie się w nocy, (3) - budzenie się rano, (4) - całkowity czas snu, (5) - jakość snu, (6) - samopoczucie następnego dnia, (7) - sprawność psychiczną i fizyczną następnego dnia, (8) - senność w ciągu dnia, (załącznik 8). Każdy składnik Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) oceniany jest według skali punktowej od 0 (brak trudności) do 3 (poważna trudność). Łączny wynik mieści się w przedziale od 0 do 24, gdzie wyższy wynik oznacza gorszą jakość snu. Skala odnosi się do jakości snu podczas minionego tygodnia. Wynik równy sześć lub powyżej sześć oznacza bezsenność. Rzetelność Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) jest wysoka na poziomie morza. Współczynnik spójności wewnętrznej alfa ( $\alpha$ ) Cronbach'a równa się 0,89 (111).

Niektóre pytania używane w Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) odnoszą się do subiektywnego doświadczenia problemów snu. Przykładowo, długość snu nie jest wyrażana w godzinach jak w skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), lecz uczestnik odpowiada na pytanie czy długość snu była wystarczająca. Wydaje się, iż Ateńska Skala Bezsenności (AIS), bardziej niż skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), kładzie nacisk na indywidualne postrzeganie jakości snu. Wczesne doniesienia podkreślają różnicę pomiędzy oceną ilościową i jakościową zaburzeń snu (68). Dzięki zastosowaniu skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) oba te sposoby oceny jakości snu zostały wykorzystane w tej pracy.

### **3.3 Metody analizy statystycznej.**

Dane wstępnie zarchiwizowano dzięki programowi Microsoft Excel v.7.0 pakietu MS Office 2003 dla Windows XP. Analizę statystyczną uzyskanych danych przeprowadzono posługując się programem STATISTICA 7.0 firmy StatSoft (116,117,118,119).

Obliczono średnią arytmetyczną (S), odchylenie standardowe (SD), mediany (M), dolny kwartył (DK), górny kwartył (GK), wartości minimalne i maksymalne (min-maks). Celem określenia rozkładu każdej zmiennej wykorzystano wykresy normalności oraz Test W Shapiro-Wilka. Jednorodność wariancji w badanych grupach zbadano Testem Levene'a.

W celu określenia istotności zróżnicowania średnich wartości zmiennych w badanej grupie lub między grupami, dla zmiennych o rozkładzie normalnym przeprowadzono analizę przy pomocy testu t dla prób zależnych (T), lub testu t dla prób niezależnych. Dla zmiennych które nie spełniały założeń rozkładu normalnego zastosowano test kolejności par Wilcoxon'a (W) z poprawką Bonferroniego (z).

Celem określenia zależności pomiędzy badanymi wielkościami wykorzystano macierz korelacji oraz współczynnik korelacji Pearsona (zmienne o rozkładzie normalnym) oraz porządku rang R Spearmana (zmienne nieparametryczne).

Analizę statystyczną własności psychometrycznych, dwóch skal badających subiektywną jakość snu oparto na współczynniku spójności wewnętrznej alfa ( $\alpha$ ) Cronbach'a dla obu skal i na współczynniku korelacji tau-b Kendall dla zmiennych o rozkładzie normalnym.

Istotność statystyczną (p) określono na poziomie  $p < 0,05$ .  $p < 0,05$  – (\*),  $p < 0,01$  – (#), wartości nieistotne statystycznie – (ns) (116,117,118,119).



**Fotografia 3. Pomiar wydolności tlenowej – test do odmowy.**



**Fotografia 4. Pomiar wydolności beztlenowej - Wingate Anaerobic Test (WAnT).**



**Fotografia 5. Próba planowania Tower of Toronto. Pik Lenina - obóz III  
6400m n.p.m.**



**Fotografia 6. Próba rotacji umysłowej. Pik Lenina – obóz III – 6400m n.p.m.**

## 4. Wyniki

### 4.1 Wyniki - badania masy, składu ciała oraz wydolności fizycznej.

#### 4.1.1 Porównanie wartości parametrów przed i po okresie hipoksji hipobarycznej.

##### 4.1.1.1 Zmiany w parametrach antropometrycznych.

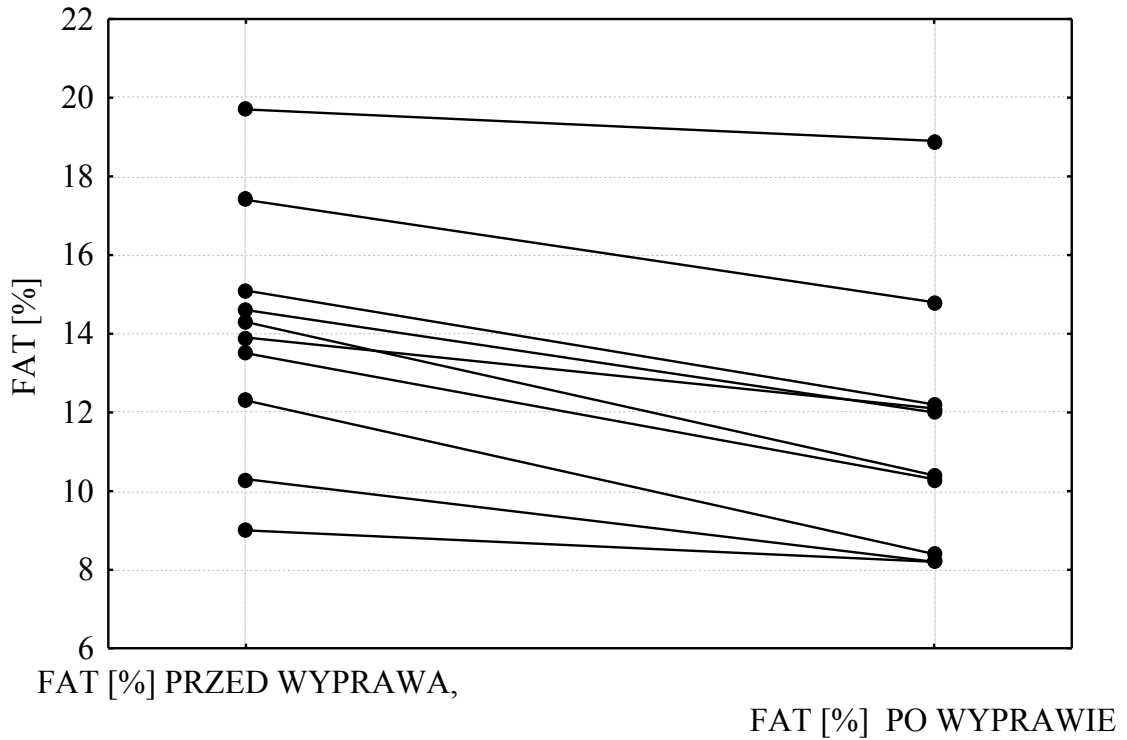
Zaobserwowano statystycznie istotny spadek średniej wartości masy tkanki tłuszczowej mierzonej w kilogramach (FAT[kg]) z 10,2kg przed na 8,1kg po okresie hipoksji, ( $p<0,01$ ). Masa tkanki tłuszczowej wyrażona jako procent masy ciała (FAT [%]) również uległa znamiennej zmianie z 14% przed na 11,5% po pobycie na wysokości, ( $p<0,01$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 1. Masa tkanki tłuszczowej wyrażona w kilogramach (FAT [kg]), jak i w procencie masy ciała (FAT [%]) zmniejszyła się u wszystkich uczestników wypraw co przedstawiają odpowiednio rycina 2 i 3.

Nie stwierdzono statystycznie istotnych zmian w takich parametrach jak: masa ciała (BW), beztłuszczowa masa ciała (FFM), całkowita masa wody w organizmie (TBW), wskaźnik masy ciała (BMI), powierzchnia ciała (BSA) i podstawowa przemiana materii (BMR). Zauważono nieistotną statystycznie tendencję do zmniejszenia się masy ciała (BW), która spadła o 2.5% z wartości 76,9kg do 71,9kg, ( $p=0,16$ ). Zaobserwowano tendencję do obniżenia wartości beztłuszczowej masy ciała (FFM), całkowitej wody w organizmie (TBW) oraz wskaźnika masy ciała (BMI) po okresie hipoksji. Wartość beztłuszczowej masy ciała (FFM) nieznamiennie zmniejszyła się o 3,8% z 65,8kg do 63,3kg, ( $p=0,9$ ). Poziom całkowitej wody w organizmie (TBW) nieistotnie statystycznie zmniejszył się o 3,9% z 48,2kg do 46,3kg, ( $p=0,9$ ). Wskaźnik masy ciała (BMI) obniżył się nieznamiennie o 2,2% z wartości 22,8 do 22,3 [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ], ( $p=0,16$ ). Podstawowa przemiana materii (BMR) oznaczona w kilokaloriach ([kcal]) uległa nieistotnemu statystycznie spadkowi o 3,7% z 1825,5 do 1758,5 [kcal], ( $p=0,16$ ). Nie wykazano zmian w wartości powierzchni ciała (BSA) oznaczonej w metrach kwadratowych ( $\text{m}^2$ ), która przed i po okresie hipoksji wynosiła 1,9  $\text{m}^2$ . Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1. Porównanie wartości antropometrycznych przed i po okresie przewlekłej hipoksji hipobarycznej.**

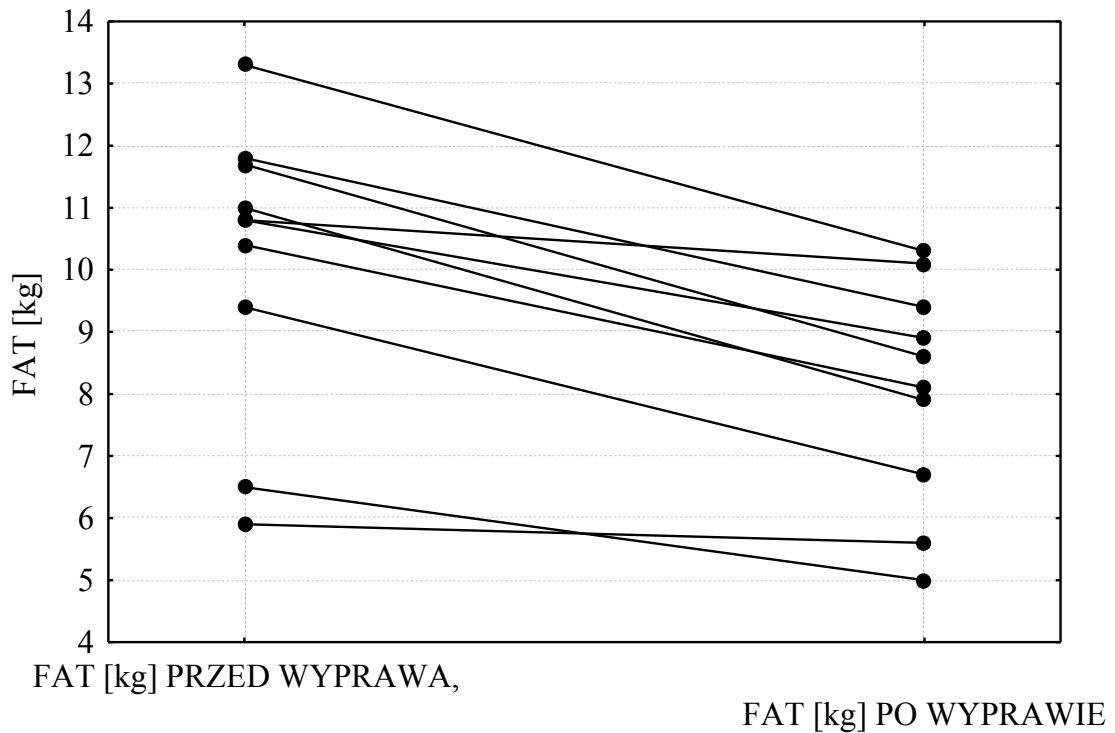
	PRZED WYPRAWĄ		PO WYPRAWIE		Test	p	
	S ( $\pm$ SD) lub M (DK- GK)	Min-maks	S ( $\pm$ SD) lub M (DK- GK)	min-maks			
<b>BW [kg]</b>	76,9 (65,5-77,3)	54,8-80,5	71,9 (67,8-78,3)	53,2-79,7	W	0,16	ns
<b>FAT[%]</b>	14 ( $\pm$ 3,1)	9,0-19,7	11,5 ( $\pm$ 3,3)	8,2-18,9	T	0,00006	#
<b>FAT[kg]</b>	10,2 ( $\pm$ 2,3)	5,9-13,3	8,1 ( $\pm$ 1,8)	5,0-10,3	T	0,00009	#
<b>FFM[kg]</b>	65,8 (59,6-66,9)	44,0-68,7	63,3 (59,2-69,0)	43,1-73,0	W	0,9	ns
<b>TBW[kg]</b>	48,2 (43,6-49,0)	32,2-50,3	46,3 (43,3-50,5)	31,6-53,4	W	0,9	ns
<b>BMI [kg·m<sup>-2</sup>]</b>	22,8 ( $\pm$ 2,1)	19,2-25,8	22,3 ( $\pm$ 1,8)	18,6-24,9	T	0,16	ns
<b>BMR [kcal]</b>	1825,5 (1678,0- 1883,0)	1377,0- 1906,0	1758,5 (1656,0- 1881,0)	1362,0- 1926,0	W	0,16	ns
<b>BSA[m<sup>2</sup>]</b>	1,9 ( $\pm$ 0,1)	1,6-2,0	1,9 ( $\pm$ 0,1)	1,6-2,0	T	0,16	ns

Wartości przedstawiono jako średnia  $\pm$  odchylenie standardowe S ( $\pm$ SD) dla zmiennych o rozkładzie normalnym oraz jako mediana - mediana (dolny kwartył - górny kwartył) M (DK-GK) dla zmiennych o rozkładzie nieparametrycznym.  
 PRZED WYPRAWĄ- badanie przed okresem hipoksji, PO WYPRAWIE- badanie po okresie hipoksji, n- liczba uczestników badania - n=10, min-maks - wartości minimalne oraz maksymalne, Test -test statystyczny, T - test t studenta dla grup zależnych (rozkład normalny), W - test kolejności par Wilcozona (rozkład nieparametryczny), p - istotność statystyczna - \* - p<0.05; # - p<0.01; ns - wartości nieistotne statystycznie. BW -masa ciała; FAT - tkanka tłuszczowa; FFM - beztłuszczowa masa ciała; TBW - całkowita masa wody w organizmie; BMI - wskaźnik masy ciała; BMR - podstawowa przemiana materii; BSA - powierzchnia ciała.



**Rycina 2. Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na FAT[%].**

FAT[%] PRZED WYPRAWĄ- oznacza procentową zawartość tkanki tłuszczowej przed okresem przewlekłej hipoksji, FAT[%] PO WYPRAWIE- oznacza procentową zawartość tkanki tłuszczowej po okresie przewlekłej hipoksji.



**Rycina 3. Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na FAT[kg].**

FAT[kg] PRZED WYPRAWĄ- oznacza masę tkanki tłuszczowej przed okresem przewlekłej hipoksji, FAT[kg] PO WYPRAWIE - oznacza masę tkanki tłuszczowej po okresie przewlekłej hipoksji.

#### **4.1.1.2 Zmiany w parametrach wydolności tlenowej.**

Zauważono istotne statystycznie różnice pomiędzy wartościami maksymalnej objętości oddechowej ( $V_{Tmax}$ ) oraz progu przemian anaerobowych (AT) przed i po okresie hipoksji.

Nie zaobserwowano statystycznie istotnych zmian w następujących parametrach:

- ( $MP_{VO_{2max}}$ ) – maksymalna moc tlenowa
- (HRmax - ang. maximum heart rate) – maksymalna częstość skurczów serca na minutę
- (BFmax - ang. maximum breath frequency) – maksymalna ilość oddechów na minutę
- ( $VE_{max}$ ) – maksymalna wentylacja minutowa płuc
- ( $VO_{2max}$ ) – maksymalne zużycie tlenu

Wykazano istotny statystycznie wzrost wartości maksymalnej objętości oddechowej ( $V_{Tmax}$ ) mierzonej w litrach [L] z odpowiednio 3,2 L przed do 3,5 L po okresie hipoksji, ( $p < 0.05$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 2. Maksymalna objętość oddechowa ( $V_{Tmax}$ ) nie spadła u żadnego z uczestników, wzrosła u 7 osób, a u 3 zmieniła się, co przedstawia rycina 4.

Zauważono istotne statystycznie zmniejszenie się progu przemian anaerobowych (AT) we wszystkich wartościach o średnio 29%, ( $p < 0.01$ ), co przedstawiono w tabeli 2.

Próg przemian anaerobowych (AT) przed okresem hipoksji był przy wartości zużycia tlenu ( $VO_2$ ) wyrażonej w mililitrach tlenu na kilogram na minutę ( $[mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}]$ ), wynoszącej 39,3  $[mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}]$ , natomiast po okresie przewlekłej hipoksji był na istotnie statystycznie niższym poziomie 27,8  $[mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}]$ , ( $p < 0,01$ ). Wartość procentowa maksymalnego zużycia tlenu ( $VO_{2max}$ ), przy progu przemian anaerobowych (AT) przed wyprawą wynosząca 78,5% była znamienne wyższa niż wartość 59,8 % zmierzona po wyprawie, ( $p < 0,01$ ). Rezultaty umieszczono w tabeli 2.

Poziom maksymalnego zużycia tlenu ( $VO_{2max}$ ) wyrażony w wartościach względnych  $[mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}]$  uległ statystycznie nieznamienne spadkowi o 6,5% i wynosił odpowiednio 50,1 i 46,8  $[mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}]$  przed i po okresie wyprawy, ( $p = 0,35$ ). Maksymalne zużycie tlenu ( $VO_{2max}$ ) oznaczone w wartościach bezwzględnych – litrach tlenu na minutę ( $[L \cdot min^{-1}]$ ) również nieistotnie statystycznie zmniejszyło się

o 11%. Przed pobytem w warunkach hipoksji wyznaczono maksymalne zużycie tlenu ( $VO_{2max}$ ) na poziomie 3,7 [ $L \cdot min^{-1}$ ], natomiast po wyprawie wynosiło ono 3,3 [ $L \cdot min^{-1}$ ], ( $p=0,24$ ). Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Akcja serca (HR) oznaczona liczbą skurczów serca na minutę, przy progu przemian anaerobowych (AT) przed okresem hipoksji wynosiła 163,0 i była statystycznie istotnie wyższa od poziomu wykazanego po okresie hipoksji, który wyniósł 131,6, ( $p<0,01$ ). Próg przemian anaerobowych (AT) przed wyprawą był przy wartości 87,2 % maksymalnej częstości skurczów serca (HRmax). Próg przemian anaerobowych (AT) po wyprawie był przy znamiennej niższej wartości 71,9% maksymalnej częstości skurczów serca (HRmax), ( $p<0,01$ ). Powyższe rezultaty zawarto w tabeli 2.

Maksymalna częstość skurczów serca (HRmax) wyrażona w [ $sk \cdot min^{-1}$ ] nieznamiennie zmniejszyła się o 2,1% i wynosiła odpowiednio 186,8 i 182,9 przed i po pobycie na wysokości, ( $p=0,08$ ), co przedstawiono w tabeli 2.

Bezwzględną wartość mocy tlenowej ( $MP_{VO_2}$ ) oznaczoną w watach [W], przy progu przemian anaerobowych (AT) przed przewlekłą hipoksją określono na poziomie 275 W. Wartość 150 W mocy tlenowej ( $MP_{VO_2}$ ), przy progu przemian anaerobowych (AT) po okresie hipoksji jest istotnie statystycznie mniejsza, ( $p<0,01$ ). Próg przemian anaerobowych (AT) był przy 73,7 % maksymalnej mocy tlenowej ( $MP_{VO_{2max}}$ ). Próg przemian anaerobowych (AT) po wyprawie był przy znamiennej niższym poziomie 48,4% maksymalnej mocy tlenowej ( $MP_{VO_{2max}}$ ), ( $p<0,01$ ). Rezultaty przedstawiono w tabeli 2.

Stwierdzono nieznamienny statystycznie spadek maksymalnej mocy tlenowej ( $MP_{VO_{2max}}$ ) w wartościach względnych: w watach na kilogram ( $[W \cdot kg^{-1}]$ ) o 4% z 4,9 do 4,7 ( $p=0,17$ ); w watach na kilogram beztłuszczowej masy ciała ( $[W \cdot kgFFM^{-1}]$ ) o 7% z 5,8 na 5,4 ( $p=0,07$ ); oraz w wartościach bezwzględnych w watach ([W]) o 6% z 359 do 338, ( $p=0,12$ ). Powyższe wyniki obrazuje tabela 2.

Poziom wentylacji minutowej płuc (VE) w litach na minutę ( $[L \cdot min^{-1}]$ ) przed okresem hipoksji, przy progu przemian anaerobowych (AT) wynosił 77,5 [ $L \cdot min^{-1}$ ]. Po pobycie na wysokości uległ on istotnemu zmniejszeniu do 52 [ $L \cdot min^{-1}$ ], ( $p<0,01$ ). Próg przemian anaerobowych (AT) przed wyprawą był przy wartości 52,6% maksymalnej wentylacji minutowej płuc ( $VE_{max}$ ). Po wyprawie próg przemian anaerobowych (AT) był przy istotnie statystycznie niższej wartości 34,8% maksymalnej wentylacji minutowej płuc ( $VE_{max}$ ), ( $p<0,01$ ), co przedstawiono w tabeli 2.

Zaobserwowano nieistotny statystycznie 10% wzrost maksymalnej wentylacji minutowej płuc (VE<sub>max</sub>) po okresie hipoksji z 143,5 do 158,2 [L·min<sup>-1</sup>], (p=0,18).

Przedstawione powyżej rezultaty obrazuje tabela 2.

Próg przemian anaerobowych (AT) we wszystkich wartościach spadł u wszystkich uczestników po okresie hipoksji. Przykład zmiany poziomu zużycia tlenu (VO<sub>2</sub>) w [mL O<sub>2</sub> ·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>] przy progu przemian anaerobowych AT (AT-VO<sub>2</sub>) po okresie przewlekłej hipoksji przedstawia rycina 5.

Maksymalna ilość oddechów na minutę (BF<sub>max</sub>) wyrażoną liczbą oddechów na minutę ([odd·min<sup>-1</sup>]) nie zmieniła się istotnie i wynosiła odpowiednio 53,4 i 53,1 przed i po pobycie na wysokości co zaprezentowano w tabeli 2, (p=0,93).

**Tabela 2. Porównanie wartości MPVO<sub>2</sub>max , wskaźników charakteryzujących czynność układu krążenia i oddechowego podczas wysiłku fizycznego o maksymalnej intensywności oraz (AT), przed i po okresie przewlekłej hipoksji hipobarycznej.**

	PRZED WYPRAWĄ		PO WYPRAWIE		Test	p	
	S (±SD) lub M (DK-GK)	min-maks	S (±SD) lub M (DK- GK)	min-maks			
<b>MP<sub>VO2max</sub></b> <b>[W]</b>	359,0 (±57,3)	362,5- 265,0	338,0 (±71,5)	200,0- 425,0	T	0,12	ns
<b>MP<sub>VO2max</sub></b> <b>[W·kg<sup>-1</sup>]</b>	4,9 (±0,6)	5,0-3,9	4,7 (±0,6)	3,5-5,4	T	0,17	ns
<b>MP<sub>VO2max</sub></b> <b>[W·kgFFM<sup>-1</sup>]</b>	5,8 (±0,6)	4,6-6,7	5,4 (±0,7)	4,0-6,2	T	0,07	ns
<b>Hrmax</b> <b>[sk·min<sup>-1</sup>]</b>	186,8 (±9,6)	188,5- 171,0	182,9(±12,6)	154,0- 201,0	T	0,08	ns
<b>Vemax</b> <b>[L·min<sup>-1</sup>]</b>	143,5(±39,1)	143,5- 81,0	158,2(±37,7)	78,0- 203,0	T	0,18	ns
<b>VTmax</b> <b>[L]</b>	3,2 (3,0-3,2)	3,2-1,9	3,5 (3,3-3,9)	2,3-4,0	W	0,01	*
<b>Bfmax</b> <b>[odd·min<sup>-1</sup>]</b>	53,4 (±12,6)	53,0- 32,0	53,1 (±8,1)	38,0- 62,0	T	0,93	ns
<b>VO<sub>2max</sub></b> <b>[L·min<sup>-1</sup>]</b>	3,7 (±0,9)	4,0-2,2	3,3 (±0,8)	2,1-4,5	T	0,24	ns
<b>VO<sub>2max</sub></b> <b>[mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>]</b>	50,1 (±8,2)	53,0- 33,8	46,8 (±7,8)	34,7- 57,7	T	0,35	ns
<b>AT-VO<sub>2</sub></b> [mL <b>O<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>]</b>	39,3(±8,0)	25,3- 49,2	27,8(±5,6)	21,3- 39,1	T	0,002	#
<b>AT</b> <b>[%VO<sub>2max</sub>]</b>	78,5(±10,3)	60,2- 90,9	59,8(±9,2)	46,4- 75,9	T	0,001	#
<b>AT-HR</b> <b>[sk·min<sup>-1</sup>]</b>	163,0(±17,5)	135,0- 187,0	131,6(±12,7)	102,0- 145,0	T	0,0001	#
<b>AT</b> <b>[%HRmax]</b>	87,2(±7,4)	76,3- 96,7	71,9(±5,0)	64,7- 78,4	T	0,0001	#
<b>AT-MP<sub>VO2</sub></b> <b>[W]</b>	275 (215- 300)	175,0- 350,0	150 (125- 200)	125,0- 255,0	W	0,005	#
<b>AT</b> <b>[%MP<sub>VO2max</sub>]</b>	73,7(±10,7)	50,0- 84,6	48,4(±8,9)	38,5- 63,0	T	0,0003	#
<b>AT-VE</b> <b>[L·min<sup>-1</sup>]</b>	77,5 (58,0- 82,0)	44,0- 94,0	52,0 (46,0- 66,0)	44,0- 80,0	W	0,008	#
<b>AT</b> <b>[%VEmax]</b>	52,6 (42,9- 59,6)	30,4- 70,4	34,8 (28,4- 39,4)	27,6- 66,7	W	0,005	#
<b>Opis do Tabeli 2. przedstawiono na stronie 49</b>							

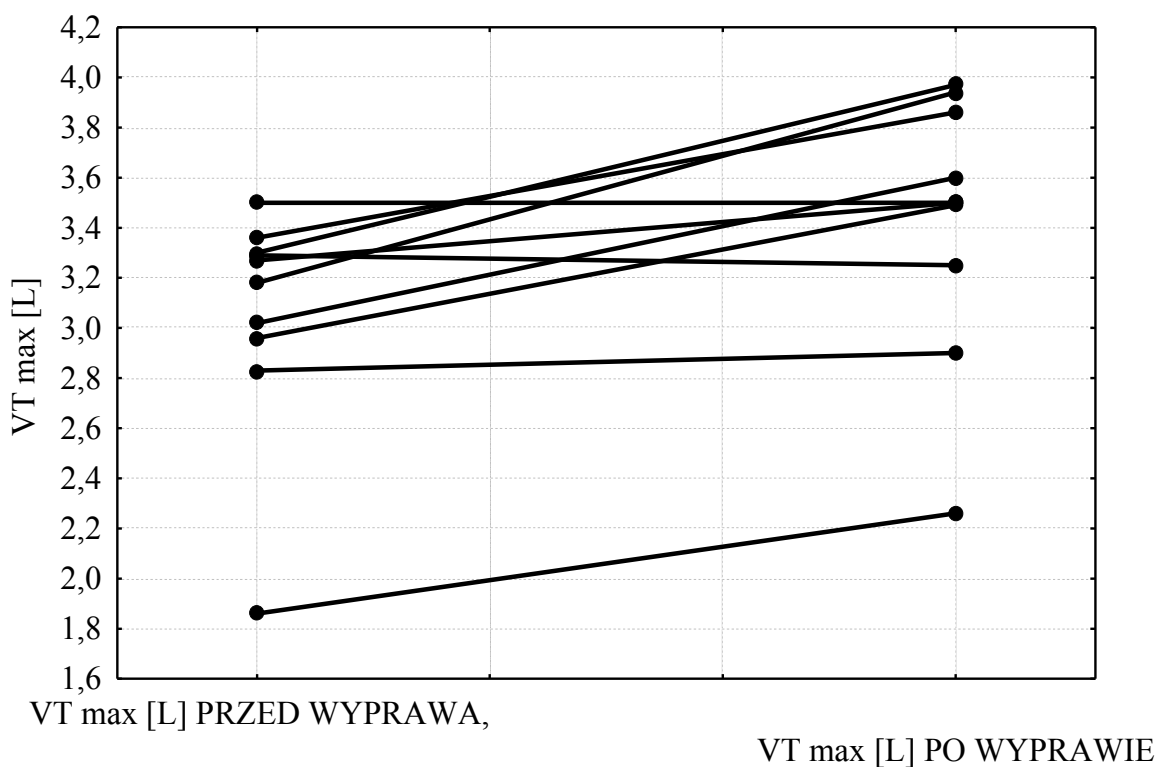
## Opis do Tabeli 2.

Wartości przedstawiono jako średnia  $\pm$  odchylenie standardowe S ( $\pm$ SD) dla zmiennych o rozkładzie normalnym oraz jako mediana - mediana (dolny kwartył - górny kwartył) M (DK-GK) dla zmiennych o rozkładzie nieparametrycznym.

PRZED WYPRAWĄ- badanie przed okresem hipoksji, PO WYPRAWIE- badanie po okresie hipoksji, n- liczba uczestników badania - n=10, min-maks - wartości minimalne oraz maksymalne, Test -test statystyczny, T - test t studenta dla grup zależnych (rozkład normalny), W - test kolejności par Wilcoxona (rozkład nieparametryczny), p - istotność statystyczna - \* -  $p < 0.05$ ; # -  $p < 0.01$ ; ns - wartości nieistotne statystycznie.

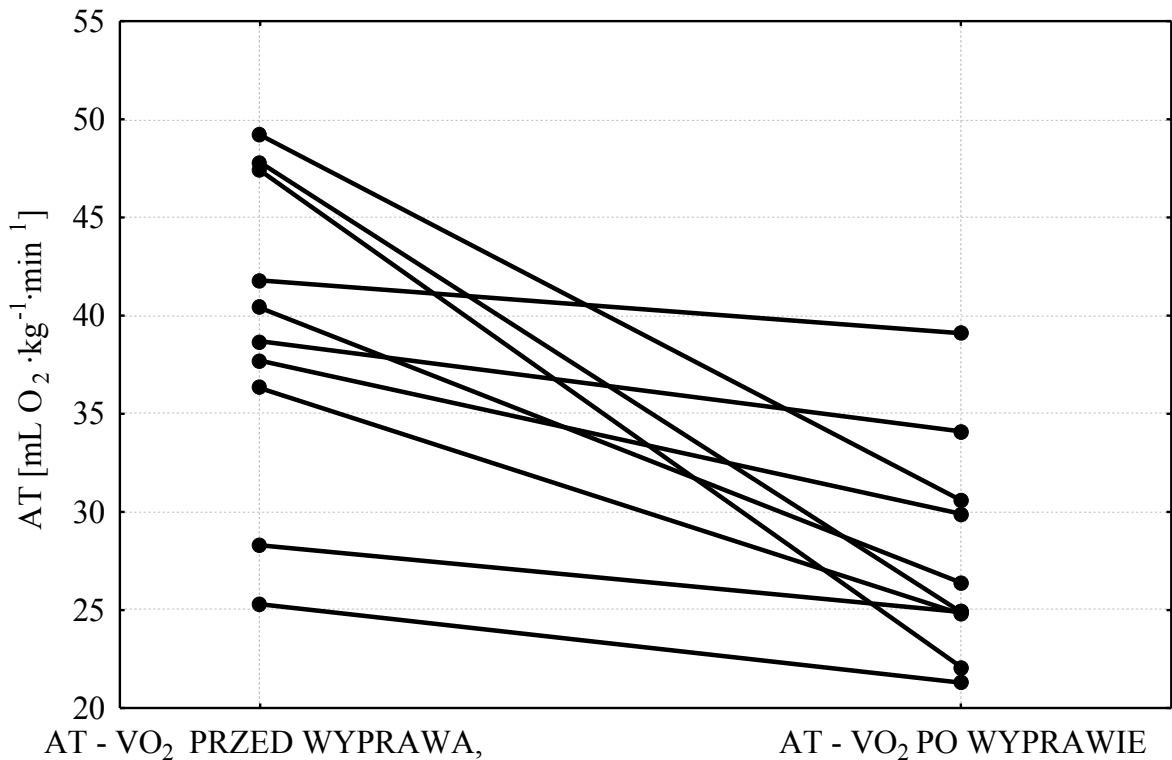
$MP_{VO_{2max}}$  - maksymalna moc tlenowa; HRmax - maksymalna częstość skurczów serca; VE<sub>max</sub> - maksymalna minutowa wentylacja płuc; VT<sub>max</sub> -maksymalna objętość oddechow; BF<sub>max</sub> - maksymalna częstość oddechów na minutę;  $VO_{2max}$  - maksymalne zużycie tlenu; AT- próg przemian anaerobowych;

AT- $VO_2$  - wartość zużycia tlenu ( $VO_2$ ), mierzona w [ $mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ], przy progu przemian anaerobowych; AT [% $VO_{2max}$ ] - procent maksymalnego zużycia tlenu, przy progu przemian anaerobowych; AT-HR - wartość częstości skurczów serca na minutę (HR) wyrażona w [ $sk \cdot min^{-1}$ ], przy progu przemian anaerobowych; AT [%HR<sub>max</sub>] - procent maksymalnej częstości skurczów serca na minutę, przy progu przemian anaerobowych; AT- $MP_{VO_2}$  - wartość maksymalnej mocy tlenowej ( $MP_{VO_2}$ ) wyrażona w [W], przy progu przemian anaerobowych; AT [% $MP_{VO_{2max}}$ ] - procent maksymalnej mocy tlenowej, przy progu przemian anaerobowych; AT-VE - wartość wentylacji minutowej płuc (VE) wyrażona w [ $L \cdot min^{-1}$ ], przy progu przemian anaerobowych; AT [%VE<sub>max</sub>] - procent maksymalnej wentylacji minutowej płuc, przy progu przemian anaerobowych.



**Rycina 4. Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na VTmax [L].**

VTmax [L] PRZED WYPRAWĄ- oznacza maksymalną objętość oddechową przed okresem przewlekłej hipoksji, VTmax [L] PO WYPRAWIE - oznacza maksymalną objętość oddechową po okresie przewlekłej hipoksji.



**Rycina 5. Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na AT-VO<sub>2</sub>.**

AT-VO<sub>2</sub> PRZED WYPRAWĄ – oznacza wartość zużycia tlenu (VO<sub>2</sub>), mierzoną w [mL O<sub>2</sub> · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>], przy progu przemian anaerobowych przed okresem przewlekłej hipoksji, AT-VO<sub>2</sub> PO WYPRAWIE – oznacza wartość zużycia tlenu (VO<sub>2</sub>), mierzoną w [mL O<sub>2</sub> · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>], przy progu przemian anaerobowych po okresie przewlekłej hipoksji.

#### 4.1.1.3 Zmiany w parametrach wydolności beztlenowej.

Stwierdzono statystycznie istotny spadek parametrów wydolności beztlenowej takich jak maksymalna moc beztlenowa (PP<sub>WanT</sub>) i praca całkowita (W<sub>tot</sub>) u wszystkich uczestników eksperymentu, oraz brak znamienych różnic w wartościach wskaźnika spadku mocy beztlenowej (WSM), czasu uzyskania maksymalnej mocy beztlenowej (TUZ) i czasu utrzymania maksymalnej mocy beztlenowej (TUT) po okresie przewlekłej hipoksji, co przedstawia tabela 3.

Maksymalna moc beztlenowa (PP<sub>WanT</sub>) w watach [W] istotnie statystycznie zmniejszyła się z 721,7 W przed wyprawą do 643,3 W po wyprawie, (p<0,01). Zaobserwowano również znamieny spadek maksymalnej mocy beztlenowej (PP<sub>WanT</sub>) w wartościach względnych w watach na kilogram [W·kg<sup>-1</sup>] z 9,9 do 9,2, (p<0,01). Istotne statystycznie zmniejszenie maksymalnej mocy beztlenowej (PP<sub>WanT</sub>) w watach na kilogram beztłuszczowej masy ciała [W·kgFFM<sup>-1</sup>] z 10,9 na 9,6 przedstawiono na rycinie 6, (p<0,05). Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Zaobserwowano istotne statystycznie zmniejszenie pracy całkowitej ( $W_{tot}$ ) w wartościach bezwzględnych – kilodżulach [kJ] z 18,0 przed okresem hipoksji do 15,9 po pobycie na wysokości, ( $p<0,01$ ). Praca całkowita ( $W_{tot}$ ) znamienne zmniejszyła się w wartościach względnych – dżulach na kilogram [ $J\cdot kg^{-1}$ ] z 248,1 do 228,1, ( $p<0,01$ ). Zauważono istotny spadek pracy całkowitej ( $W_{tot}$ ) w dżulach na kilogram beztłuszczowej masy ciała [ $J\cdot kgFFM^{-1}$ ] z 291,4 przed do 261,7 po okresie hipoksji, ( $p<0,01$ ), co przedstawiono na rycinie 7. Powyższe wyniki obrazuje tabela 3.

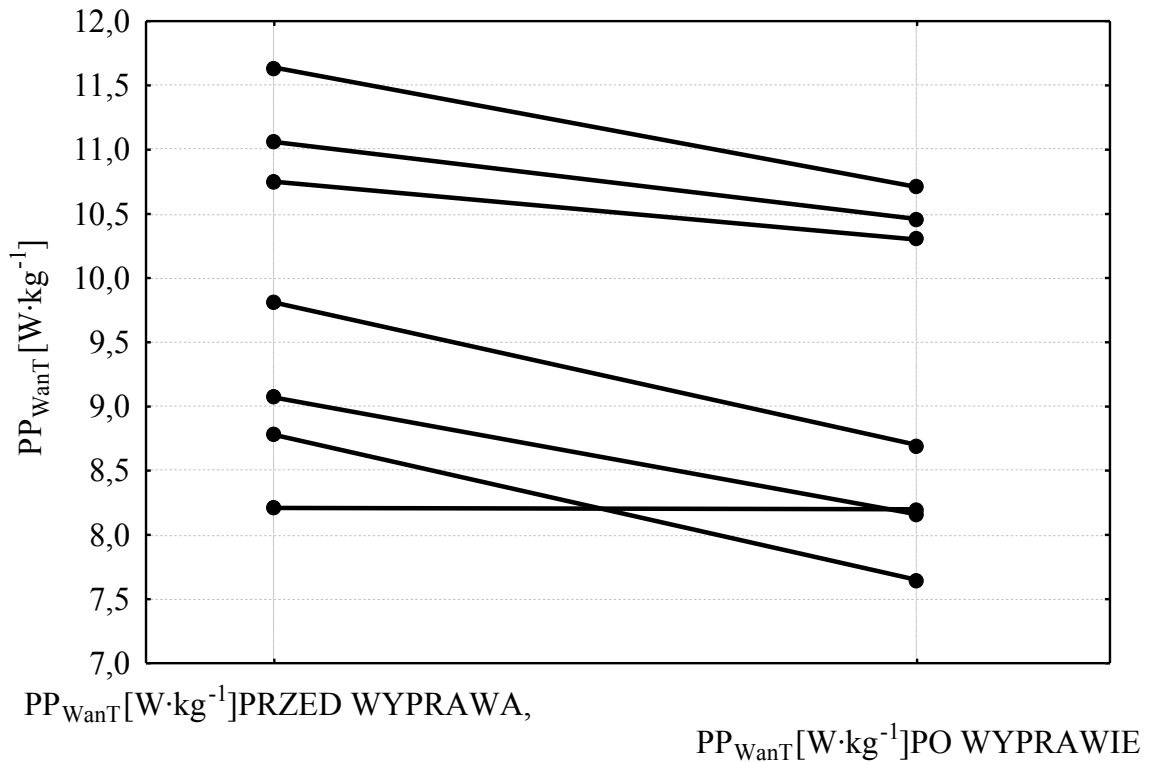
Czas uzyskania maksymalnej mocy beztlenowej (TUZ) nieistotnie statystycznie wzrósł o 4,8% z 4,2 sekund ([s]) przed wyprawą do 4,4s po okresie hipoksji, ( $p=0,7$ ). Czas utrzymania maksymalnej mocy beztlenowej (TUT) po okresie hipoksji nieistotnie statystycznie spadł o 11,4% z 4,4s do 3,9s, ( $p=0,3$ ). Wartość wskaźnika spadku mocy beztlenowej (WSM) nie zmieniła się istotnie statystycznie, spadła z 19,0% przed do 18,3% po okresie hipoksji, ( $p=0,7$ ). Powyższe rezultaty przedstawiono w tabeli 3.

Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w udziale metabolizmu fosfagenowego ( $W_{ana_{phosph}}$ ) i metabolizmu glikolitycznego ( $W_{ana_{glycol}}$ ) w pracy beztlenowej ( $W_{ana}$ ) przed i po okresie przewlekłej hipoksji. Udział metabolizmu fosfagenowego ( $W_{ana_{phosph}}$ ) nieistotnie statystycznie spadł z wartości 38,6% do 34,9% po pobycie na wysokości, ( $p=0,6$ ). Udział metabolizmu glikolitycznego ( $W_{ana_{glycol}}$ ) nieistotnie zmniejszył się po okresie hipoksji z 83,9% do 77,0%, ( $p=0,1$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3. Zmiany wartości wskaźników mechanicznych charakteryzujących wysiłek fizyczny o supramaksymalnej intensywności – WanT, przed i po okresie przewlekłej hipoksji hipobarycznej.**

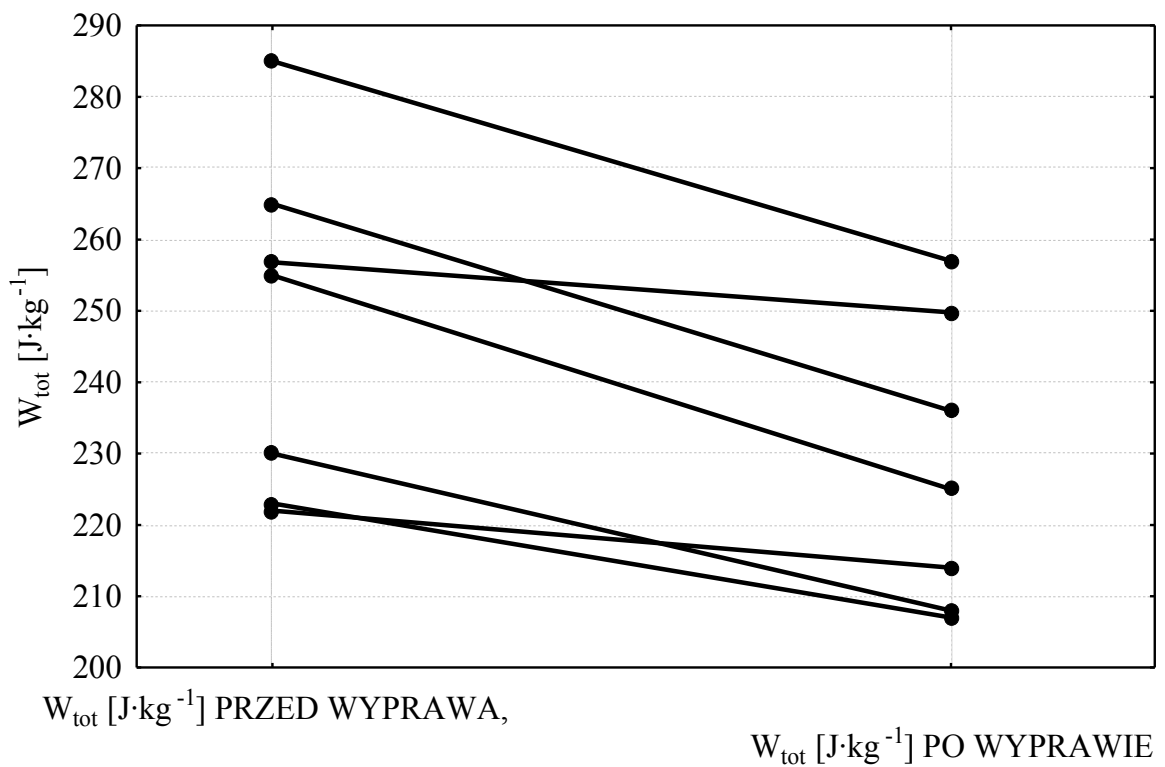
	PRZED WYPRAWĄ		PO WYPRAWIE		Test	p	
	S ( $\pm$ SD) lub M (DK-GK)	min-maks	S ( $\pm$ SD) lub M (DK- GK)	min-maks			
<b>PP<sub>WanT</sub></b> <b>[W]</b>	721,7( $\pm$ 159,2)	481,0-905,0	643,3( $\pm$ 162,3)	407,0-820,0	T	0,001	#
<b>PP<sub>WanT</sub></b> <b>[W·kg<sup>-1</sup>]</b>	9,9( $\pm$ 1,3)	8,2-11,6	9,2( $\pm$ 1,3)	7,7-10,7	T	0,003	#
<b>PP<sub>WanT</sub></b> <b>[W·kgFFM<sup>-1</sup>]</b>	10,9 (10,7-13,0)	9,9-13,5	9,6 (9,4-11,9)	9,3-12,2	W	0,02	*
<b>TUZ</b> <b>[s]</b>	4,2 (3,6-4,4)	3,4-5,0	4,4 (2,6-4,9)	2,6-10,4	W	0,7	ns
<b>TUT</b> <b>[s]</b>	4,4( $\pm$ 1,6)	1,6-6,5	3,9( $\pm$ 1,1)	2,5-5,2	T	0,3	ns
<b>WSM</b> <b>[%]</b>	19,0( $\pm$ 4,3)	11,0-23,7	18,3( $\pm$ 5,5)	11,0-27,0	T	0,7	ns
<b>W<sub>tot</sub></b> <b>[kJ]</b>	18,0( $\pm$ 3,4)	12,2-22,2	15,9( $\pm$ 3,2)	11,0-19,6	T	0,0006	#
<b>W<sub>tot</sub></b> <b>[J·kg<sup>-1</sup>]</b>	248,1( $\pm$ 23,8)	222,0-285,0	228,1( $\pm$ 20,1)	207,0-257,0	T	0,002	#
<b>W<sub>tot</sub></b> <b>[J·kgFFM<sup>-1</sup>]</b>	291,4( $\pm$ 22,5)	269,0-331,0	261,7( $\pm$ 20,5)	237,0-293,0	T	0,0003	#
<b>Wana<sub>phosph</sub></b> <b>[%]</b>	38,6	27,5-46,0	34,9( $\pm$ 11,2)	21,5-50,0	T	0,6	ns
<b>Wana<sub>glycol</sub></b> <b>[%]</b>	83,9	68,5-97,5	77,0( $\pm$ 13,4)	57,0-94,5	T	0,1	ns

Wartości przedstawiono jako średnia  $\pm$  odchylenie standardowe S ( $\pm$ SD) dla zmiennych o rozkładzie normalnym oraz jako mediana - mediana (dolny kwartył - górny kwartył) M (DK-GK) dla zmiennych o rozkładzie nieparametrycznym.  
 PRZED WYPRAWĄ – badanie przed okresem hipoksji, PO WYPRAWIE – badanie po okresie hipoksji, n- liczba uczestników badania - n=7, min-maks – wartości minimalne oraz maksymalne, Test –test statystyczny, T - test t studenta dla grup zależnych (rozkład normalny), W - test kolejności par Wilcoxona (rozkład nieparametryczny), p – istotność statystyczna - \* - p<0.05; # - p<0.01; ns – wartości nieistotne statystycznie. statystycznie.  
 PP<sub>WanT</sub> – maksymalna moc beztlenowa, TUZ – czas uzyskania maksymalnej mocy beztlenowej, TUT – czas utrzymania maksymalnej mocy beztlenowej, WSM – wskaźnik spadku mocy, W<sub>tot</sub> –praca całkowita, Wana<sub>phosph</sub> – metabolizm fosfagenowy, Wana<sub>glycol</sub> –metabolizm glikolityczny.



**Rycina 6. Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na PP<sub>WanT</sub> [W·kg<sup>-1</sup>].**

PP<sub>WanT</sub> [W·kg<sup>-1</sup>] PRZED WYPRAWĄ – oznacza maksymalną moc beztlenową przed okresem przewlekłej hipoksji,  
 PP<sub>WanT</sub> [W·kg<sup>-1</sup>] PO WYPRAWIE – oznacza maksymalną moc beztlenową po okresie przewlekłej hipoksji.



**Rycina 7. Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na W<sub>tot</sub> [J·kg<sup>-1</sup>].**

W<sub>tot</sub> [J·kg<sup>-1</sup>] PRZED WYPRAWĄ – oznacza pracę całkowitą przed okresem przewlekłej hipoksji,  
 W<sub>tot</sub> [J·kg<sup>-1</sup>] PO WYPRAWIE – oznacza pracę całkowitą po okresie przewlekłej hipoksji.

#### **4.1.1.4 Zmiany w parametrach krwi.**

Nie zaobserwowano statystycznie istotnych zmian w poziomie hemoglobiny we krwi (Hb), hematokrycie (Hct), liczbie krwinek czerwonych (RBC), bezwzględnej liczbie retikulocytów (RETc), względnej liczbie retikulocytów (RET), poziomie żelaza (FE), ferrytyny (FERRY), transferyny (TRF) oraz całkowitej zdolności wiązania żelaza (TIBC) po okresie hipoksji hipobarycznej. Poziom hemoglobiny (Hb) nie zmienił się i wynosił średnio przed i po okresie hipoksji 15,0 [g/dl], ( $p=0,95$ ). Hematokryt (Hct) nieistotnie statystycznie wzrósł z 47,2% do 47,6 % po pobycie na wysokości, ( $p=0,57$ ). Liczba czerwonych krwinek (RBC) nie zmieniła się i wynosiła 5,3 [ $10^{12}/L$ ] przed i po wyprawie, ( $p=0,78$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Bezwzględna liczba retikulocytów (RETc) w [g/L] zmniejszyła się nieistotnie o 20% z 36,0 przed do 28,8 po pobycie na wysokości, ( $p= 0,15$ ). Zauważono nieistotną statystycznie tendencję do spadku względnej liczby retikulocytów (RET). Ich wartość spadła o 25% z 0.8% do 0.6%, ( $p=0,07$ ). Rezultaty zamieszczono w tabeli 4.

Poziom żelaza (FE) w [ $\mu\text{g}/\text{dl}$ ] zmniejszył się nieistotnie o 13,7% z wartości 118,9 do 102,6, ( $p=0,39$ ). Poziom ferrytyny (FERRY) wzrósł niezamiennie o 20,6% z 48,5 do 58,5 [ $\mu\text{g}/L$ ] po pobycie na wysokości, ( $p=0,33$ ). Poziom transferyny (TRF) wzrósł nieistotnie statystycznie o 10% z 3,0 do 3,3 [g/L], ( $p= 0,09$ ). Całkowita zdolność wiązania żelaza (TIBC) zmniejszyła się nieistotnie po okresie hipoksji o 11,8% z 422,5 do 372,8 [ $\mu\text{g}/\text{dl}$ ], ( $p=0,67$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

**Tabela 4. Porównanie wyników badań krwi przed i po okresie przewlekłej hipoksji hipobarycznej.**

	PRZED WYPRAWĄ		PO WYPRAWIE		Test	p	
	S ( $\pm$ SD) lub M (DK-GK)	min-maks	S ( $\pm$ SD) lub M (DK-GK)	min-maks			
<b>Hb [g/dl]</b>	15,0( $\pm$ 1,5)	11,9-16,9	15,0( $\pm$ 1,1)	13,1-16,6	T	0,95	ns
<b>Hct [%]</b>	47,2 (45,0-47,8)	36,1-49,4	47,6 (43,7-49,0)	41,7-51,7	W	0,57	ns
<b>RBC [<math>10^{12}/L</math>]</b>	5,3 (4,8-5,4)	3,8-5,5	5,3 (4,9-5,4)	4,7-5,6	W	0,78	ns
<b>RETc [g/L]</b>	36,0( $\pm$ 19,5)	16,5-64,8	28,8( $\pm$ 16,3)	10,2-50,7	T	0,15	ns
<b>RET [%]</b>	0,8( $\pm$ 0,5)	0,3-1,7	0,6( $\pm$ 0,3)	0,2-1,0	T	0,07	ns
<b>FE [<math>\mu</math>g/dl]</b>	118,9( $\pm$ 35,8)	68,0-173,0	102,6( $\pm$ 28,7)	49,0-140,0	T	0,39	ns
<b>FERRY [<math>\mu</math>g/L]</b>	48,5( $\pm$ 28,7)	10,1-95,6	58,5( $\pm$ 35,1)	8,8-114,1	T	0,33	ns
<b>TRF [g/L]</b>	3,0( $\pm$ 0,5)	2,1-3,5	3,3( $\pm$ 0,5)	2,6-4,2	T	0,09	ns
<b>TIBC [<math>\mu</math>g/dl]</b>	422,5 (385,7-499,5)	276,0-625,0	372,8 (357,1-425,0)	345,0-721,0	W	0,67	ns

Wartości przedstawiono jako średnia  $\pm$  odchylenie standardowe S ( $\pm$ SD) dla zmiennych o rozkładzie normalnym oraz jako mediana - mediana (dolny kwartył - górny kwartył) M (DK-GK) dla zmiennych o rozkładzie nieparametrycznym.

PRZED WYPRAWĄ – badanie przed okresem hipoksji, PO WYPRAWIE – badanie po okresie hipoksji, n- liczba uczestników badania - n=7, min-maks – wartości minimalne oraz maksymalne, Test –test statystyczny, T - test t studenta dla grup zależnych (rozkład normalny), W - test kolejności par Wilcoxon (rozkład nieparametryczny), p – istotność statystyczna - \* - p<0.05; # - p<0.01; ns – wartości nieistotne statystycznie. statystycznie.

Hb – hemoglobina, Hct- hematokryt, RBC- liczba krwinek czerwonych, RETc- bezwzględna liczba retikulocytów, RET- względna liczba retikulocytów, FE – żelazo, FERRY- ferrytyna, TRF – transferyna, TIBC – całkowita zdolność wiązania żelaza.

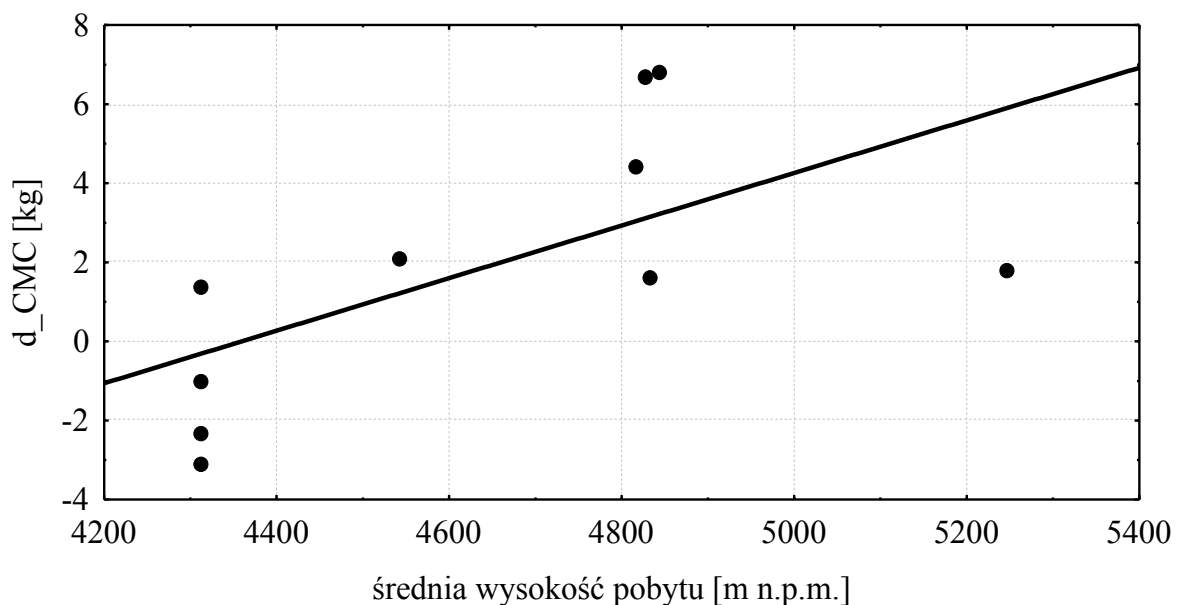
#### 4.1.2 Korelacje zmian w wartościach badanych parametrów ze średnią wysokością pobytu n.p.m.

Wartość zmiany badanych parametrów - deltę ( $d$ ), obliczano odejmując od wartości uzyskanej przed wyprawą wartość uzyskaną po pobycie na wysokości. Wynik dodatni delty oznacza spadek a ujemny oznacza wzrost wartości danego parametru.

Obliczono również procent jaki stanowi delta – (różnica pomiędzy wartością danego parametru przed i po wyprawie), w stosunku do wartości parametru przed okresem hipoksji ( $d\%$ ).

Wykazano znamiennej statystycznie ( $p < 0,05$ ) dodatnią korelację ( $r = 0,63$ ) pomiędzy średnią wysokością pobytu n.p.m. w warunkach przewlekłej hipoksji a deltą masy ciała wyrażoną w kilogramach ( $d\_BW$  [kg]), co przedstawiono na rycinie 8.

Średnia wysokość pobytu istotnie ( $p < 0,05$ ), dodatnio koreluje ( $r = 0,67$ ) z procentem jaki stanowi zmiana masy ciała ( $d\%\_BW$  [%]) w stosunku do wartości masy ciała ( $BW$ ) wyznaczonej przed okresem hipoksji.



Rycina 8. Zależność między masą ciała  $d\_BW$  [kg] a średnią wysokością pobytu n.p.m., ( $r = 0,63$ ;  $p = 0,049$ ).

Zmiana wartości beztłuszczowej masy ciała po okresie przewlekłej hipoksji obliczona w kilogramach ( $d\_FFM$ [kg]) istotnie statystycznie, dodatnio koreluje ze średnią wysokością przewlekłej hipoksji, ( $p < 0,05$ ;  $r = 0,72$ ).

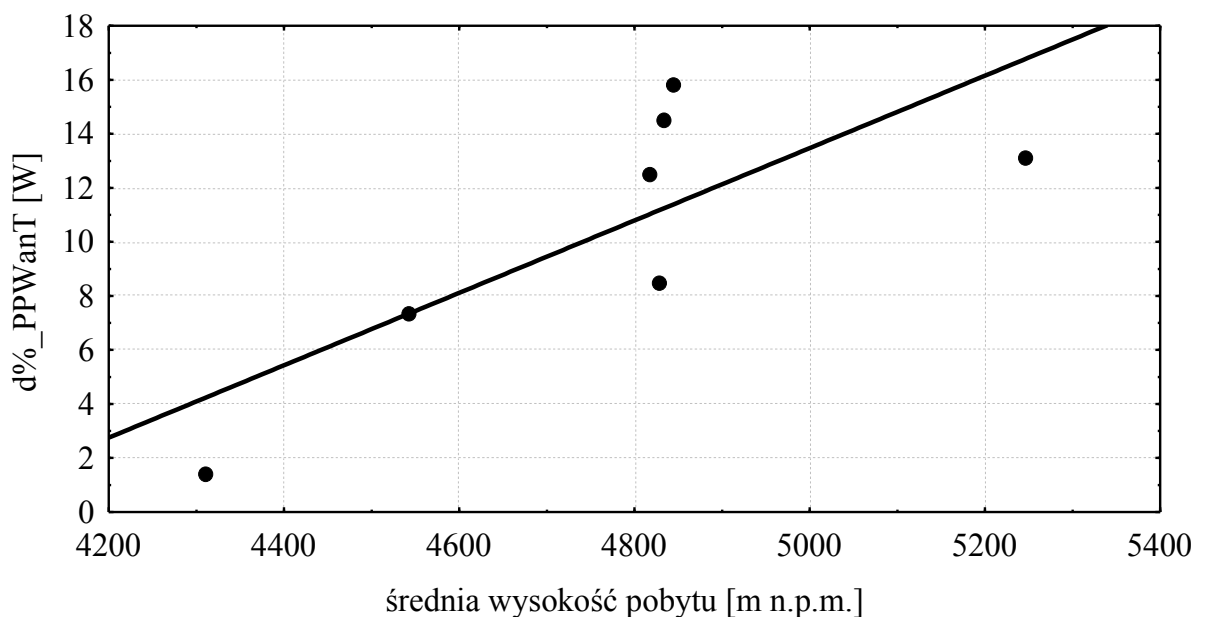
Procent jaki stanowi zmiana ilości kilogramów beztłuszczowej masy ciała podczas hipoksji w stosunku do liczby kilogramów beztłuszczowej masy ciała

zmierzonej przed pobytem na wysokości ( $d\%_{FFM}[\%]$ ) znamienne, dodatnio koreluje z wysokością pobytu, ( $p<0,05$ ;  $r=0,73$ ).

Delta całkowitej ilości wody w organizmie w kilogramach (TBW[kg]) istotnie, dodatnio zależy od średniej wysokości przewlekłej hipoksji, ( $p<0,05$ ;  $r=0,72$ ).

Zaobserwowano również znamienne, dodatnią zależność pomiędzy średnią wysokością pobytu a procentem jaki stanowi zmiana liczby kilogramów całkowitej ilości wody w organizmie w stosunku do wartości całkowitej ilości wody w organizmie obliczonej przed wyprawą ( $d\%_{TBW}[\%]$ ), ( $p<0,05$ ;  $r=0,73$ ).

Wykazano istotną statystycznie ( $p<0,05$ ), dodatnią zależność ( $r=0,77$ ) pomiędzy średnią wysokością pobytu w warunkach przewlekłej hipoksji hipobarycznej a procentem jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości maksymalnej mocy beztlenowej zmierzonej przed wyprawą ( $d\%_{PP_{WanT}} [W]$ ). Wynik przedstawiono na rycinie 9.

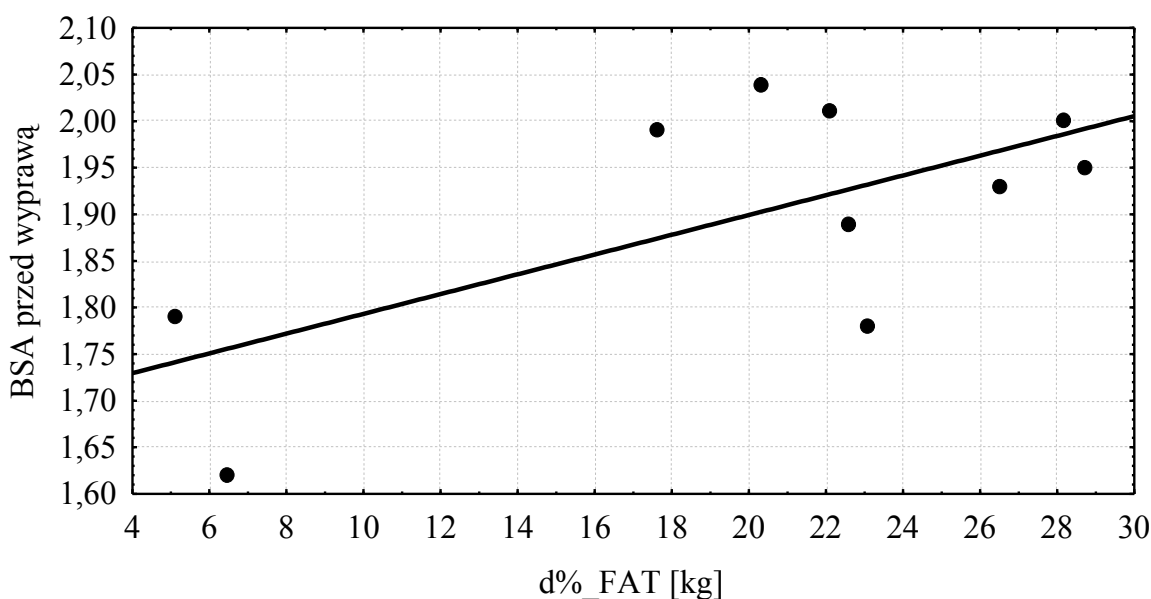


**Rycina 9. Zależność między procentem jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji  $d\%_{PP_{WanT}}[W]$  a średnią wysokością pobytu n.p.m., ( $r=0,77$ ;  $p=0.042$ ).**

### 4.1.3 Korelacje delt parametrów, które uległy istotnym statystycznie zmianom po okresie hipoksji z wartościami wszystkich badanych parametrów przed okresem hipoksji.

#### 4.1.3.1 Parametry antropometryczne.

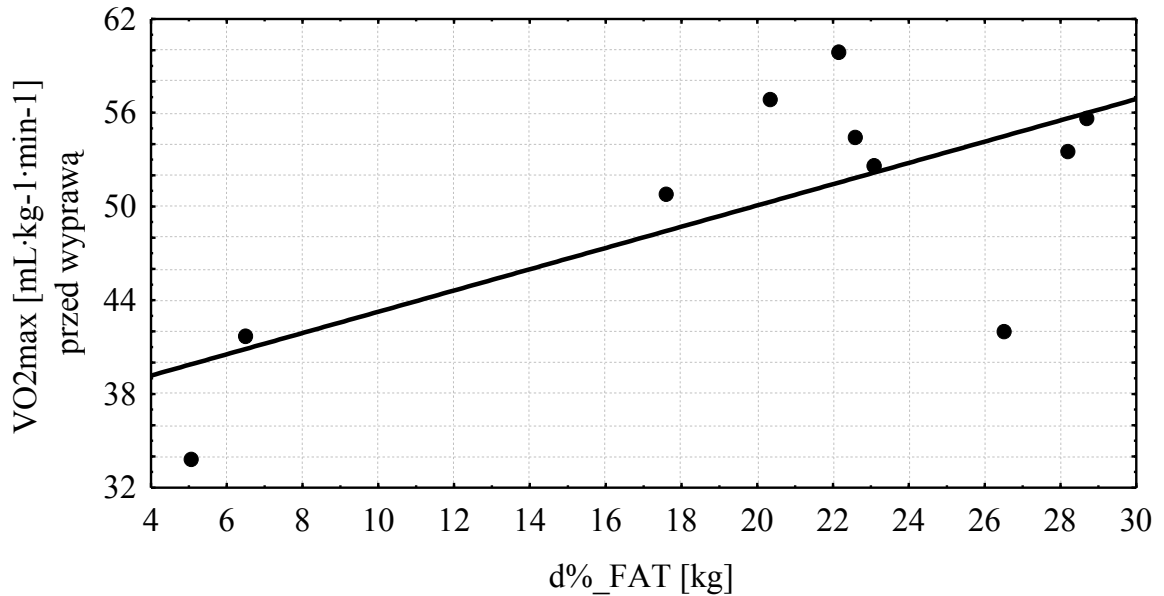
Zaobserwowano statystycznie istotną ( $p < 0,05$ ), dodatnią korelację ( $r = 0,66$ ) pomiędzy procentem jaki stanowi zmiana masa tkanki tłuszczowej po okresie hipoksji w stosunku do masy tkanki tłuszczowej przed wyprawą ( $d\%\_FAT[kg]$ ) a powierzchnią ciała ( $BSA[m^2]$ ) zmierzoną przed wyprawą. Wynik ten przedstawiono na rycinie 10.



Rycina 10. Zależność między procentem jaki stanowi zmiana masy tłuszczowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji  $d\%_FAT[kg]$  a wartością powierzchni ciała  $BSA[m^2]$  przed okresu hipoksji, ( $r = 0,66$ ;  $p = 0,037$ ).

Równie znamienne ( $p < 0,05$ ), dodatnie zależności zaobserwowano pomiędzy wartością powierzchni ciała ( $BSA[m^2]$ ) określoną przed wyprawą a zmianą wartości masy tkanki tłuszczowej wyrażoną w kilogramach ( $d\_FAT[kg]$ ), oraz jako procent masy ciała ( $d\_FAT\%$ ).

Stwierdzono znamienne statystycznie ( $p < 0,05$ ), dodatnią zależność ( $r = 0,68$ ) pomiędzy procentem jaki stanowi zmiana masa tkanki tłuszczowej po okresie hipoksji w stosunku do masy tkanki tłuszczowej przed wyprawą ( $d\%\_FAT[kg]$ ) a maksymalnym zużyciem tlenu ( $VO_{2max}$ ) w wartościach względnych [ $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ] przed okresu hipoksji, co przedstawiono na rycinie 11.



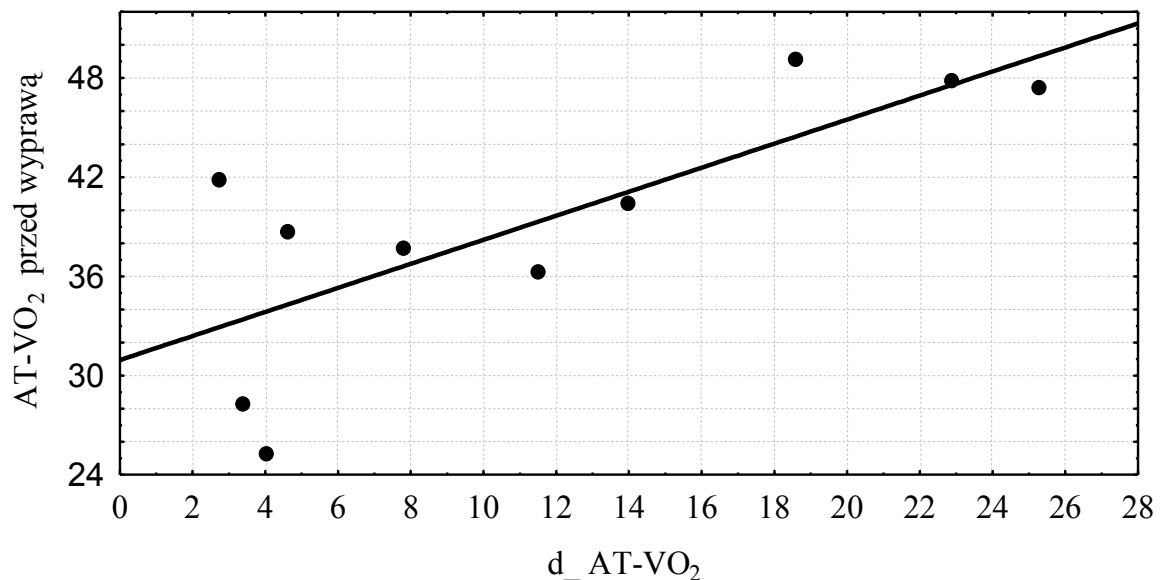
**Rycina 11. Zależność między procentem jaki stanowi zmiana masy tłuszczowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji  $d\_ \%FAT[kg]$  a poziomem  $VO_{2max}$  [ $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ] sprzed okresu hipoksji, ( $r=0,68$ ;  $p=0,03$ ).**

Według przeprowadzonych badań, istnieje istotna statystycznie ( $p < 0,05$ ), dodatnia zależność pomiędzy  $d\_FAT[kg]$  – zmianą wartości masy tkanki tłuszczowej w kilogramach po okresie hipoksji,  $d\_FAT[\%]$  – zmianą masy tkanki tłuszczowej wyrażonej procentem masy ciała po okresie hipoksji,  $d\%\_FAT[kg]$  – procentem jaki stanowi zmiana masy tkanki tłuszczowej po przewlekłej hipoksji w stosunku do liczby kilogramów masy tkanki tłuszczowej przed wyprawą, a poziomem maksymalnego zużycia tlenu ( $VO_{2max}$ ) zmierzonego przed okresem hipoksji w wartościach bezwzględnych [ $L \cdot min^{-1}$ ] i względnych [ $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ].

#### **4.1.3.2 Parametry wydolności tlenowej.**

Nie zaobserwowano statystycznie istotnych zależności pomiędzy zmianą maksymalnej objętości oddechowej po przewlekłej hipoksji ( $d\_VTmax$ ) a parametrami zmierzonymi na poziomie morza przed okresem hipoksji. Nie wykazano również istotnych zależności pomiędzy procentem jaki stanowiła zmiana maksymalnej objętości oddechowej po okresie hipoksji w stosunku do wartości maksymalnej objętości oddechowej przed wyprawą ( $d\%\_VTmax$ ) a innymi parametrami określonymi przed wyprawą.

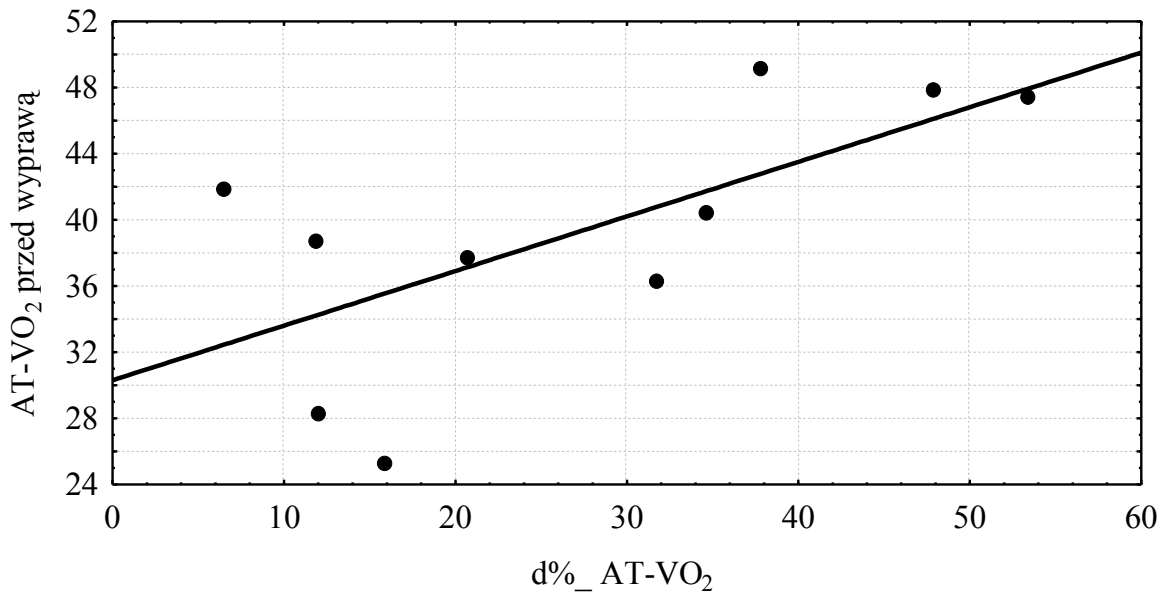
Zaobserwowano istotną statystycznie ( $p < 0,01$ ), dodatnią korelację ( $r = 0,77$ ) pomiędzy zmianą progu przemian anaerobowych wyrażonego w  $[\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}]$  ( $d_{\text{AT-VO}_2}$ ) a wartością progu przemian anaerobowych (AT) sprzed okresu hipoksji mierzoną w tych samych jednostkach, co przedstawiono na rycinie 12.



**Rycina 12. Zależność między ( $d_{\text{AT-VO}_2}$ ) - zmianą AT wyrażoną poziomem  $\text{VO}_2$  w  $[\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}]$  a wartością  $\text{AT-VO}_2$   $[\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}]$  sprzed okresu hipoksji, ( $r = 0,77$ ;  $p = 0,0095$ ).**

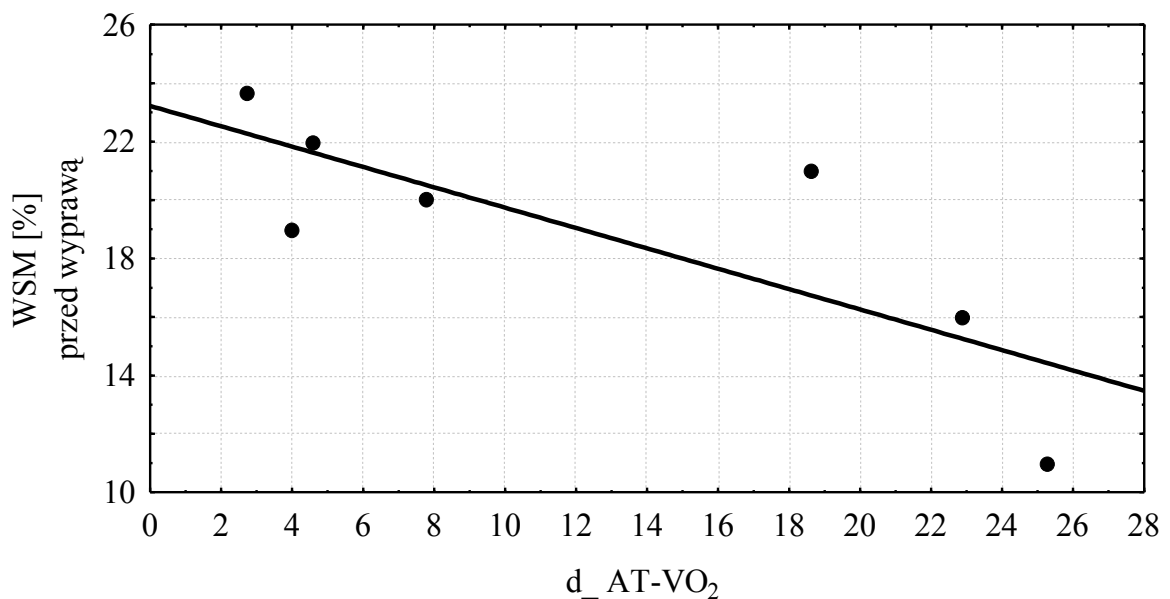
Podobnie znamienne statystycznie ( $p < 0,01$ ), dodatnie korelacje zaobserwowano pomiędzy zmianami progu przemian anaerobowych wyrażonego w jednostkach takich jak :  $[\% \text{VO}_{2\text{max}}]$ ;  $[\text{sk} \cdot \text{min}^{-1}]$ ;  $[\% \text{HRmax}]$ ;  $[\% \text{MP}_{\text{VO}_{2\text{max}}}]$ ;  $[\text{L} \cdot \text{min}^{-1}]$ , a wartościami progu przemian anaerobowych (AT) obserwowanymi w odpowiednio tych samych jednostkach przed pobytem w warunkach przewlekłej hipoksji.

Wykazano statystycznie istotną ( $p < 0,05$ ), dodatnią korelację ( $r = 0,67$ ) między ( $d\%_{\text{AT-VO}_2}$ ) - procentem jaki stanowiła zmiana progu przemian anaerobowych w stosunku do wartości progu przemian anaerobowych w  $[\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}]$  zmierzonej przed wyprawą a wartością progu przemian anaerobowych w  $[\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}]$  uzyskaną przed okresem hipoksji ( $\text{AT-VO}_2$ ). Wynik ten przedstawiono na rycinie 13.



**Rycina 13. Zależność między ( $d\%_{AT-VO_2}$ ) - procentem jaki stanowi zmiana progu anaerobowego wyrażonego poziomem  $VO_2$  w [ $mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ] w stosunku do wartości  $AT-VO_2$  przed wyprawą a wartością  $AT-VO_2$  [ $mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ] sprzed okresu hipoksji, ( $r=0,67$ ;  $p=0,03$ ).**

Zaobserwowano istotną statystycznie ( $p<0,05$ ), ujemną zależność ( $r=-0,85$ ) pomiędzy zmianą wartości progu przemian anaerobowych w [ $mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ], a wartością wskaźnika spadku mocy beztlenowej (WSM) określoną przed okresem hipoksji, co zaprezentowano na rycinie 14.



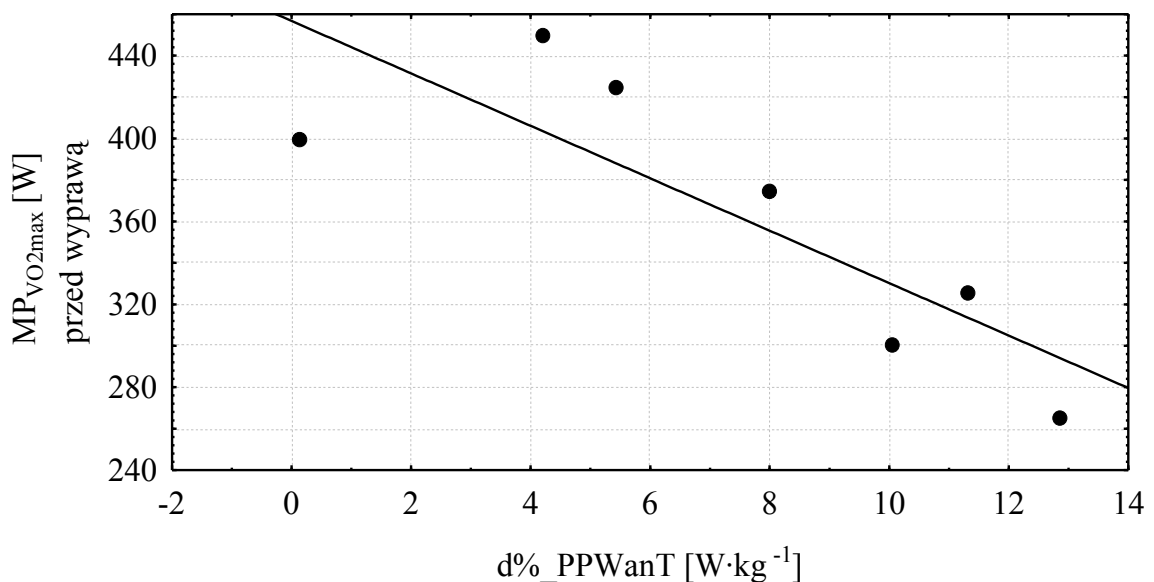
**Rycina 14. Zależność między zmianą progu anaerobowego mierzonego poziomem  $VO_2$  w [ $mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ] ( $d_{AT-VO_2}$ ) a wartością wskaźnika spadku mocy beztlenowej (WSM) w [%] sprzed okresu hipoksji, ( $p=0,015$ ;  $r=-0,85$ ).**

Podobnie istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ), ujemne korelacje obserwowano pomiędzy zmianą progu przemian anaerobowych po okresie hipoksji wyrażoną w [W]; [%MP<sub>VO2max</sub>]; [L·min<sup>-1</sup>] a wartością wskaźnika spadku mocy beztlenowej (WSM) zmierzoną przed pobytem w warunkach hipoksji.

Wykazano również istotną ( $p < 0,05$ ), ujemną korelację między procentem jaki stanowiła zmiana progu przemian anaerobowych w stosunku do wartości AT przed okresem hipoksji w [mL O<sub>2</sub> ·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>]; [W]; [L·min<sup>-1</sup>] a wartością procentową wskaźnika spadku mocy beztlenowej wartości (WSM) przed wyprawą.

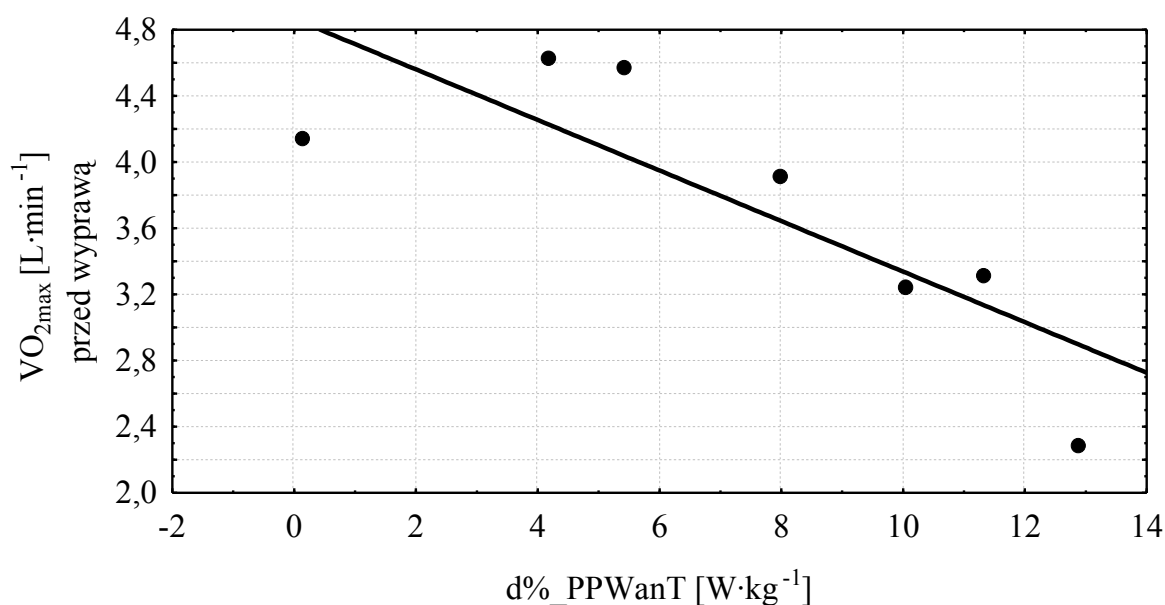
#### 4.1.3.3 Parametry wydolności beztlenowej.

Zaobserwowano statystycznie istotne ( $p < 0,05$ ), ujemne korelacje pomiędzy procentem jaki stanowiła zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed okresu hipoksji ( $d\%\_PP_{WanT}$ ) w [W], [W·kg<sup>-1</sup>], [W·kgFFM<sup>-1</sup>] a poziomem maksymalnej mocy tlenowej (MP<sub>VO2max</sub>) w [W] zmierzonym przed okresem hipoksji. Znamienną statystycznie ( $p < 0,05$ ), ujemną zależność ( $r = -0,83$ ) pomiędzy  $d\%\_PP_{WanT}$  w [W·kg<sup>-1</sup>] a MP<sub>VO2max</sub> w [W] zmierzoną przed pobytem na wysokości zaprezentowano na rycinie 15.



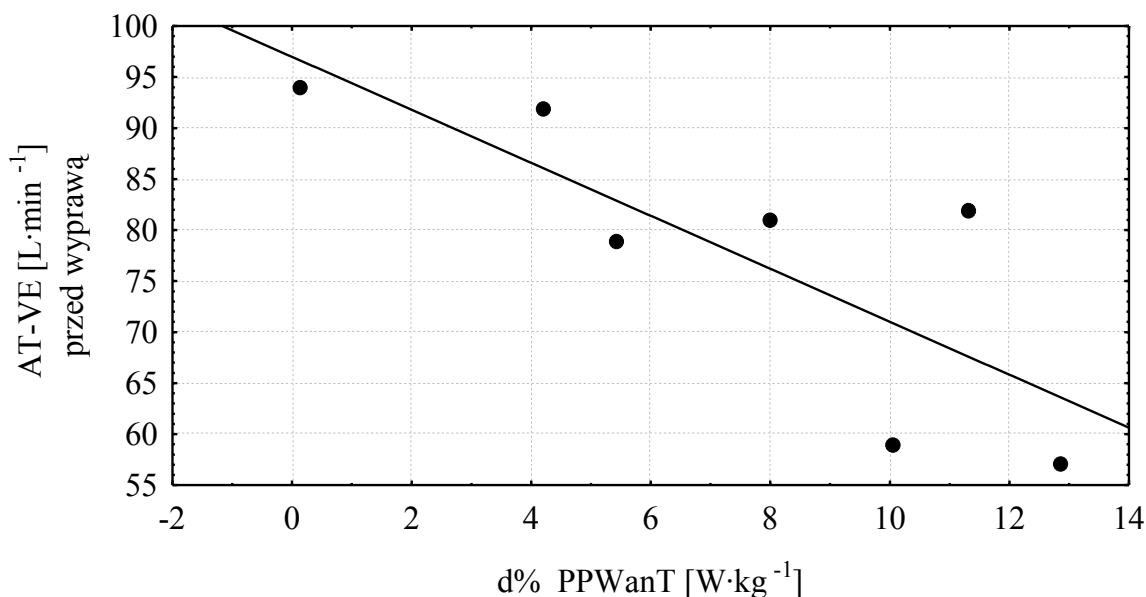
Rycina 15. Zależność procentu jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji  $d\%\_PP_{WanT}$  [W·kg<sup>-1</sup>] a maksymalną mocą tlenową przed okresem hipoksji MP<sub>VO2max</sub> [W].  $r = -0,83$ ;  $p = 0,02$ .

Stwierdzono statystycznie istotne ( $p < 0,05$ ), ujemne korelacje pomiędzy procentem jaki stanowiła zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed okresu hipoksji ( $d\%_{PP_{WanT}}$ ) w [W], [ $W \cdot kg^{-1}$ ], [ $W \cdot kgFFM^{-1}$ ] a poziomem maksymalnego zużycia tlenu ( $VO_{2max}$ ) w [ $L \cdot min^{-1}$ ] zarejestrowanym przed okresem hipoksji. Istotną statystycznie ( $p < 0,05$ ), ujemną zależność ( $r = -0,81$ ) pomiędzy  $d\%_{PP_{WanT}}$  w [ $W \cdot kg^{-1}$ ] a  $VO_{2max}$  w [ $L \cdot min^{-1}$ ] zmierzona przed pobytem na wysokości zaprezentowano na rycinie 16.



**Rycina 16. Zależność procentu jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji  $d\%_{PP_{WanT}}$  [ $W \cdot kg^{-1}$ ] a wartością maksymalnego zużycia tlenu sprzed okresu hipoksji  $VO_{2max}$  [ $L \cdot min^{-1}$ ].  $r = -0,81$ ;  $p = 0,03$ .**

Zaobserwowano znamienne statystycznie ( $p < 0,05$ ), ujemne korelacje pomiędzy procentem jaki stanowiła zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed okresu hipoksji ( $d\%_{PP_{WanT}}$ ) w [W], [ $W \cdot kg^{-1}$ ], [ $W \cdot kgFFM^{-1}$ ] a poziomem progu przemian anaerobowych (AT) w [W] i [ $L \cdot min^{-1}$ ] przed okresem hipoksji. Istotną statystycznie ( $p < 0,05$ ), ujemną zależność ( $r = -0,79$ ) pomiędzy  $d\%_{PP_{WanT}}$  w [ $W \cdot kg^{-1}$ ] a poziomem progu przemian anaerobowych w [ $L \cdot min^{-1}$ ] (AT-VE) zmierzonym przed pobytem na wysokości zaprezentowano na rycinie 17.



**Rycina 17. Zależność procentu jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji  $d\%_{PPWanT} [W \cdot kg^{-1}]$  a wartością progu przemian anaerobowych sprzed okresu hipoksji  $AT-VE [L \cdot min^{-1}]$ ,  $r=-0,79$ ;  $p=0,03$ .**

Nie zaobserwowano istotnych zależności zmian pracy całkowitej  $W_{tot}$  od żadnych parametrów mierzonych na poziomie morza przed okresem hipoksji.

## **4.2 Wyniki – badania funkcji poznawczych.**

### **4.2.1 Porównanie funkcjonowania poznawczego grupy klinicznej – alpinistów (badanych na poziomie 0m n.p.m. i na wysokości 4000m n.p.m.) oraz grupy kontrolnej.**

#### **4.2.1.1 Porównanie wyników testów funkcji poznawczych uzyskanych w badaniu 1 (0m n.p.m.) – i badaniu 2 (4000m n.p.m.) w grupie klinicznej – Alpinieści.**

Analizując wyniki zdolności uczenia się nowych informacji (VLT) zaobserwowano istotne statystycznie, ( $p<0,05$ ), zmniejszenie się sumy słów odtworzonych we wszystkich próbach z 41,57 w badaniu 1 do 29,29 w badaniu 2. Procent informacji odtworzonych po odroczeniu uległ również znamiennej zmniejszeniu z 98,18% na poziomie morza do 86,25% na wysokości 4000m n.p.m., ( $p<0,01$ ). Nie wykazano istotnych statystycznie zmian pomiędzy badaniem 1 i 2 w parametrach zdolności uczenia się nowych informacji (VLT) takich jak: suma słów odtworzonych w pierwszej próbie, suma wszystkich konfabulacji, liczba odtworzonych słów po 10 minutach. Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie spada nieistotnie

o 12,7 % z 6,71 do 5,86, ( $p=0,36$ ). Suma wszystkich konfabulacji wzrasta nieznacznie statystycznie o 24,6% z wartości 0,57 w badaniu 1 do 0,71 w badaniu 2, ( $p=0,83$ ). Liczba odtworzonych słów po 10 minutach zmniejsza się o 24,9% z 9,14 do 6,86, ( $p=0,054$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 5.

Zauważono istotnie statystycznie zmniejszenie wartości wskaźnika funkcji przestrzennych z 7,77 na poziomie morza do 6,69 w badaniu 2, ( $p<0,05$ ), co zaprezentowano w tabeli 5.

Nie wykazano istotnych statystycznie zmian w czasie wykonania i liczbie popełnianych błędów w próbie interferencji poznawczej Stroopa w badaniu 1 i 2. Czas wykonania wykazuje nieistotny statystycznie wzrost o 6,9 % z 72,14 s w badaniu 1 do 77,14 s w badaniu 2, ( $p=0,45$ ). Liczba popełnianych błędów nieznacznie spada o 82% z 2,43 do średnio 0,43, ( $p=0,13$ ).

Wykazano znamienne statystycznie zmniejszenie się łącznej liczby ruchów w próbach planowania z 89,14 na poziomie morza do 81,57 na wysokości około 4000m n.p.m., ( $p<0,05$ ). Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wynikami badania 1 i 2 takich parametrów zdolności planowania jak: liczba przekroczeń zasad, suma ruchów z 4 klockami oraz średnia liczba ruchów z 4 klockami. Liczba przekroczeń zasad nieistotnie zmniejsza się o 51,7 % z 0,29 w badaniu 1 do 0,14 w badaniu 2, ( $p=0,69$ ). Suma ruchów z 4 klockami spada o 8% z 72,86 do 67, ( $p=0,14$ ). Średnia liczba ruchów z 4 klockami również zmniejsza się o 8% z wartości 18,21 w badaniu 1 do 16,75 w badaniu 2, ( $p=0,14$ ).

Stwierdzono znamienne statystycznie wyższą wartość wyniku skali ostrej choroby górskiej (AMS) w badaniu 2 wynoszącą 4,17, w porównaniu do 0,67 na poziomie morza, ( $p<0,05$ ).

Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 5.

**Tabela 5. Porównanie wyników testów funkcji poznawczych grupy klinicznej uzyskanych podczas badania 1 na poziomie 0m n.p.m. i badania 2 na 4000m n.p.m.**

test		<b>Badanie 1 0m n.p.m. S (±SD)</b>	<b>Badanie 2 4000m n.p.m. S (±SD)</b>	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	6,71 (±1,89)	5,86 (±1,46)	0,36	ns
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	41,57 (±4,86)	29,29 (±4,61)	0,01	*
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	0,57 (±1,13)	0,71 (±0,95)	0,83	ns
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	9,14 (±0,69)	6,86 (±2,12)	0,054	ns
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	98,18 (±10,31)	86,25 (±22,8)	0,009	#
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	7,77 (±1,65)	6,69 (±1,89)	0,01	*
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	72,14 (±6,52)	77,14 (±19,24)	0,45	ns
3.2	Liczba błędów	2,43 (±3,15)	0,43 (±0,79)	0,13	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	89,14 (±6,15)	81,57(±7,39)	0,043	*
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0,29 (±0,76)	0,14 (±0,38)	0,69	ns
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	72,86(±6,77)	67,00 (±7,51)	0,14	ns
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	18,21 (±1,69)	16,75 (±1,87)	0,14	ns
5.0	<b>Skala AMS</b>	0,67 (±0,52)	4,17 (±2,14)	0,01	*
<p>Wartości przedstawiono jako średnia ± odchylenie standardowe S (±SD) , n- liczba uczestników badania - n=7. Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup zależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - * - p&lt;0.05; # - p&lt;0.01; ns – wartości nieistotne statystycznie.</p>					

#### **4.2.1.2 Porównanie wyników testów funkcji poznawczych uzyskanych w badaniu 1 (0m n.p.m.) – i badaniu 2 (0m n.p.m.) w grupie kontrolnej.**

Analizując wyniki zdolności uczenia się nowych informacji nie wykazano istotnych różnic pomiędzy badaniem 1 i 2 w żadnym z parametrów, co obrazuje tabela 6. Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie nieistotnie wzrasta o 9,5% z 6 w badaniu 1 do 6,57 w badaniu 2, ( $p=0,52$ ). Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach nieznamiennie zmniejsza się o 11,8 % z 37,43 w badaniu 1 do 33 w badaniu 2, ( $p=0,13$ ). Suma wszystkich konfabulacji ulega spadkowi o 64,6% z 2,43 do 0,86, ( $p=0,36$ ). Liczba odtworzonych słów po 10 minutach nieznamiennie wzrasta o 20% z 7,14 do 8,57, ( $p=0,07$ ). Procent informacji odtworzonych po odroczeniu ulega nieistotnemu wzrostowi z 83,31% w badaniu 1 do 95,59% w badaniu 2, ( $p=0,06$ ).

Zaobserwowano istotny statystycznie wzrost wartości wskaźnika funkcji przestrzennych z 6,39 podczas badania 1 do 8,45 w badaniu 2, ( $p<0,05$ ).

Nie wykazano istotnych statystycznie zmian w czasie wykonania i liczbie popełnianych błędów w próbie interferencji poznawczej Stroopa w badaniu 1 i 2. Czas wykonania wykazuje nieistotny statystycznie spadek o 3,8% z 70,86 s w badaniu 1 do 68,14 s w badaniu 2, ( $p=0,21$ ). Liczba popełnianych błędów nieznamiennie spadła o 76,5% z 4,86 w badaniu 1 do średnio 1,14 w badaniu 2, ( $p=0,34$ ).

Stwierdzono istotne statystycznie różnice w parametrach próby planowania pomiędzy badaniem 1 i 2. Liczba ruchów zmniejszyła się znamiennie statystycznie z 113,29 w badaniu 1 do 84,86 w badaniu 2, ( $p<0,05$ ). Liczba przekroczeń zasad uległa istotnej redukcji z 0,86 do 0, ( $p<0,05$ ). Suma ruchów z 4 klockami znamiennie zmniejszyła się z 98,42 w badaniu 1 do 70,0 w badaniu 2, ( $p<0,05$ ). Średnia liczba ruchów z 4 klockami uległa znamiennemu zmniejszeniu z 24,61 do 17,50, ( $p<0,05$ ). Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 6.

Stwierdzono nieznamienny statystycznie wzrost wartości wskaźnika ostrej choroby górskiej (AMS) z 0,57 w badaniu 1 do 1,71 w badaniu 2, ( $p=0,07$ ).

Wyniki zaprezentowano w tabeli 6.

**Tabela 6. Porównanie wyników testów funkcji poznawczych grupy kontrolnej uzyskanych podczas badania 1 oraz 2 na poziomie 0m n.p.m.**

test		<b>Badanie 1 0m n.p.m. S (±SD)</b>	<b>Badanie 2 0m n.p.m. S (±SD)</b>	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	6 (±1,29)	6,57 (±1,13)	0,52	ns
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	37,43 (±3,95)	33,00 (±3,42)	0,13	ns
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	2,43 (±3,31)	0,86 (±1,46)	0,36	ns
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	7,14 (±1,07)	8,57 (±0,98)	0,07	ns
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	83,31 (±9,87)	95,59 (±10,62)	0,06	ns
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	6,39 (±2,8)	8,45 (±1,8)	0,035	*
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	70,86 (±8,57)	68,14 (±6,84)	0,21	ns
3.2	Liczba błędów	4,86 (±10,24)	1,14 (±1,68)	0,34	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	113,29 (±23,84)	84,86 (±8,74)	0,01	*
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0,86 (±0,9)	0,0 (±0)	0,045	*
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	98,42 (±24,25)	70,00 (±7,02)	0,01	*
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	24,61 (±6,06)	17,50 (±1,76)	0,01	*
5.0	<b>Skala AMS</b>	0,57 (±1,13)	1,71 (±1,70)	0,07	ns
<p>Wartości przedstawiono jako średnia ± odchylenie standardowe S (±SD) , n- liczba uczestników badania - n=7. Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup zależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - * - p&lt;0.05; # - p&lt;0.01; ns – wartości nieistotne statystycznie.</p>					

#### **4.2.1.3 Porównanie zmian w wynikach testów funkcji poznawczych między badaniem 1 i badaniem 2 w obu grupach.**

Obliczono różnicę między wynikami testów z badania 1 i badania 2 grupy klinicznej i kontrolnej. Porównano wartości zmian poszczególnych parametrów (delty) pomiędzy dwoma grupami.

Zaobserwowano istotną statystycznie różnicę pomiędzy deltą sumy słów odtworzonych we wszystkich próbach, która w grupie klinicznej wynosiła 12,3 a w grupie kontrolnej 4,4; ( $p < 0,05$ ). Delta liczby słów odtworzonych po 10 minutach w badaniu 1 i 2 wynosiła 2,3 w grupie alpinistów co znamienne różni się od rezultatu (-1,4) grupy kontrolnej, ( $p < 0,01$ ). Wykazano istotną statystycznie różnicę w delcie procentu informacji odtworzonych po odroczeniu, która w grupie klinicznej wyniosła 2,3 a w kontrolnej (-12,3), ( $p < 0,01$ ). Nie stwierdzono znamiennej statystycznie różnicy pomiędzy deltą słów odtworzonych w pierwszej próbie, która wśród alpinistów wynosiła 0,71, natomiast w grupie kontrolnej (-0,57), ( $p = 0,43$ ). Zmiana sumy wszystkich konfabulacji nie różniła się istotnie między grupami. W grupie klinicznej wyniosła ona (-0,1), a w grupie kontrolnej 1,6, ( $p = 0,33$ ). Wyniki obrazuje tabela 7.

Stwierdzono znamienne statystycznie różnicę pomiędzy zmianą wartości wskaźnika funkcji przestrzennych w grupie alpinistów i grupie kontrolnej, ( $p < 0,01$ ). Delta wskaźnika funkcji przestrzennych wśród alpinistów wyniosła 11,9, natomiast w grupie kontrolnej (-2,1), co prezentuje tabela 7.

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy zmianami parametrów kontroli poznawczej w obu grupach między badaniem 1 i 2. Delta czasu wykonania próby wśród alpinistów wyniosła (-5) i nie różniła się istotnie od rezultatu grupy kontrolnej 2,7, ( $p = 0,26$ ). Delta liczby błędów, która w grupie klinicznej wyniosła 2, nie różniła się znamienne od wyniku grupy kontrolnej 3,7, ( $p = 0,66$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 7.

Stwierdzono znamienne statystycznie różnice między obiema grupami w zmianach wartości parametrów zdolności planowania. Delta liczby ruchów wśród alpinistów wynosiła 7,6, co znamienne statystycznie różniło się od wyniku 28,4 uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p < 0,05$ ). Zaobserwowano istotną statystycznie różnicę pomiędzy deltą sumy ruchów z 4 klockami, która w grupie klinicznej wyniosła 5,9, natomiast w grupie kontrolnej 28,4, ( $p < 0,05$ ). Zmiana średniej liczby ruchów z 4 klockami znamienne statystycznie różniła się między grupami, ( $p < 0,05$ ). Wśród

alpinistów zmiana wynosiła 1,5, w grupie kontrolnej 7,1. Nie stwierdzono różnic między deltą liczby przekroczeń zasad między obu grupami, ( $p=0,16$ ). Delta grupy klinicznej równała się 0,1, natomiast w grupie kontrolnej wynik wynosił 0,9. Wyniki prezentuje tabela 7.

Nie wykazano różnic w delcie wartości skali ostrej choroby górskiej (AMS) między obiema grupami, która dla alpinistów wyniosła (-2,7), a dla grupy kontrolnej (-1,8), ( $p=0,52$ ). Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 7.

**Tabela 7. Porównanie delt wyników testów funkcji poznawczych grupy klinicznej i kontrolnej uzyskanych w badaniu 1 i badaniu 2.**

test	Delta (Badanie 1– Badanie 2)	Grupa kliniczna S ( $\pm$ SD)	Grupa kontrolna S ( $\pm$ SD)	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	0,71 ( $\pm$ 3,55)	-0,57 ( $\pm$ 2,07)	0,43	ns
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	12,3 ( $\pm$ 5,8)	4,4 ( $\pm$ 6,7)	0,037	*
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	-0,1 ( $\pm$ 1,7)	1,6 ( $\pm$ 4,2)	0,33	ns
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	2,3 ( $\pm$ 1,6)	-1,4 ( $\pm$ 1,7)	0,001	#
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	2,3 ( $\pm$ 1,6)	-12,3 ( $\pm$ 14,1)	0,006	#
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	11,9 ( $\pm$ 13,2)	-2,1 ( $\pm$ 2,0)	0,005	#
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	-5,0 ( $\pm$ 16,5)	2,7 ( $\pm$ 5,1)	0,26	ns
3.2	Liczba błędów	2,0 ( $\pm$ 3,1)	3,7 ( $\pm$ 9,5)	0,66	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	7,6 ( $\pm$ 7,8)	28,4 ( $\pm$ 20,5)	0,037	*
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0,1 ( $\pm$ 0,9)	0,9 ( $\pm$ 0,9)	0,16	ns
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	5,9 ( $\pm$ 9,2)	28,4 ( $\pm$ 20,6)	0,029	*
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	1,5 ( $\pm$ 2,3)	7,1 ( $\pm$ 5,2)	0,029	*
5.0	<b>Skala AMS</b>	-2,7 ( $\pm$ 2,1)	-1,8 ( $\pm$ 1,5)	0,52	ns

Wartości przedstawiono jako średnia  $\pm$  odchylenie standardowe S ( $\pm$ SD) , n- liczba uczestników badania - n=7. Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup niezależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - \* -  $p<0,05$ ; # -  $p<0,01$ ; ns – wartości nieistotne statystycznie.

## **4.2.2 Porównanie funkcjonowania poznawczego grupy klinicznej – alpinistów (badanych na poziomie 4000m n.p.m. i na wysokości 6000m n.p.m.) oraz grupy kontrolnej.**

### **4.2.2.1 Porównanie wyników testów funkcji poznawczych uzyskanych w badaniu 2 (4000m n.p.m.) – i badaniu 3 (6000m n.p.m.) w grupie klinicznej – Alpinisci.**

Zaobserwowano istotne statystycznie zmiany we wszystkich parametrach zdolności uczenia się nowych informacji (VLT). Stwierdzono znamienne statystycznie zmniejszenie się sumy słów odtworzonych w pierwszej próbie z 6,0 w badaniu 2 do 4,8 w badaniu 3, ( $p < 0,05$ ). Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach uległa istotnemu zmniejszeniu z 30,89 podczas badania na poziomie około 4000m n.p.m. do 27,56 w badaniu na wysokości 6000m n.p.m., ( $p < 0,05$ ). Stwierdzono znamienne statystycznie wzrost sumy wszystkich konfabulacji z 0,44 w badaniu 2 do 1,33 w badaniu 3, ( $p < 0,01$ ). Liczba odtworzonych słów po 10 minutach uległa istotnemu statystycznie zmniejszeniu z 7,5 na poziomie około 4000m n.p.m. do 4,7 na wysokości około 6000m n.p.m., ( $p < 0,01$ ). Zaobserwowano spadek procentu informacji odtworzonych po odroczeniu z 86,14% w badaniu 2 do 58,25% w badaniu 3, ( $p < 0,01$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 8.

Nie wykazano istotnych statystycznie zmian między badaniem 2 i 3 wśród alpinistów w wynikach próby rotacji umysłowej, parametrach kontroli poznawczej, rezultatach próby planowania oraz w wartości wskaźnika ostrej choroby górskiej (AMS).

Stwierdzono brak znamiennej różnicy w wartości wskaźnika funkcji przestrzennych, która wzrosła o 1,8% i w badaniu 2 wyniosła 7,57, natomiast w badaniu 3 - 7,71, ( $p = 0,77$ ).

Czas wykonania próby interferencji poznawczej Stroopa nie uległ istotnej zmianie, zwiększył się jedynie o 1,4%, ( $p = 0,83$ ). W badaniu 2 czas równał się 77,63 s, a w badaniu 3 78,75 s. Liczba błędów popełnionych w próbie interferencji poznawczej w badaniu 2 wyniosła 1, co nie różniło się istotnie od wyniku 2,13 uzyskanego w badaniu 3, ( $p = 0,29$ ).

Liczba ruchów w próbie planowania uległa nieznamiennej spadkowi o 4,1% z 80,71 w badaniu 2 do 77,43 w badaniu 3, ( $p = 0,35$ ). Liczba przekroczeń zasad nieistotnie statystycznie spadła ze średnio 0,29 do 0, ( $p = 0,17$ ). Stwierdzono nieznamienne zmniejszenie się sumy ruchów z 4 klockami o 4,5% z wartości 68,6 w badaniu 2 do 65,5 w badaniu 3, ( $p = 0,31$ ). Średnia liczba ruchów z 4 klockami

również wykazuje tendencję do spadku i zmalała o 4,6% z wartości 17,2 do 16,4, (p=0,31).

Wartość wskaźnika ostrej choroby górskiej (AMS) nie zmieniła się i zarówno w badaniu 2 jak i 3 wyniosła 2, (p=1).

Powyższe wyniki zaprezentowano w tabeli 8.

**Tabela 8. Porównanie wyników testów funkcji poznawczych grupy klinicznej uzyskanych podczas badania 2 na poziomie 4000m n.p.m. i badania 3 na 6000m n.p.m.**

test		<b>Badanie 2 4000m n.p.m. S (±SD)</b>	<b>Badanie 3 6000m n.p.m. S (±SD)</b>	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	6,0 (±1,25)	4,8 (±1,03)	0,044	*
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	30,89 (±4,59)	27,56 (±2,13)	0,025	*
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	0,44 (±0,73)	1,33 (±0,87)	0,009	#
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	7,50 (±2,37)	4,70 (±2,26)	0,009	#
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	86,14 (±18,72)	58,25 (±25,69)	0,007	#
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	7,57 (±1,24)	7,71 (±2,17)	0,77	ns
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	77,63 (±17,33)	78,75 (±18,41)	0,83	ns
3.2	Liczba błędów	1,00 (±2,07)	2,13 (±1,64)	0,29	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	80,71 (±6,65)	77,43 (±7,11)	0,35	ns
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0,29 (±0,49)	0,0 (±0)	0,17	ns
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	68,6 (±9,75)	65,5 (±9,07)	0,31	ns
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	17,2 (±2,44)	16,4 (±2,27)	0,31	ns
5.0	<b>Skala AMS</b>	2,0 (±1,85)	2,0 (±2,39)	1	ns
<p>Wartości przedstawiono jako średnia ± odchylenie standardowe S (±SD) , n- liczba uczestników badania - n=7 (4.1; 4.2; 4.3; 4.4); n=8 (3.1; 3.2; 5); n=9 (1.2; 1.3; 2); n=10 (1.1; 1.4; 1.5). Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup zależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - * - p&lt;0.05; # - p&lt;0.01; ns – wartości nieistotne statystycznie.</p>					

#### **4.2.2.2 Porównanie wyników testów funkcji poznawczych uzyskanych w badaniu 2 (0m n.p.m.) – i badaniu 3 (0m n.p.m.) w grupie kontrolnej.**

Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy badaniem 2 i 3 w wynikach uzyskanych w próbie zdolności uczenia się nowych informacji (VLT) w grupie kontrolnej. Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie wyniosła w badaniu 2 i 3 odpowiednio 6 i 5,9 co nie stanowiło istotnej statystycznie różnicy – spadek o 1,7%, ( $p=0,8$ ). Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach równała się 31,11 w badaniu 2, co nie różniło się znamienne od wyniku 30,89 uzyskanego w badaniu 3, ( $p=0,83$ ). Nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy w sumie wszystkich konfabulacji, która zwiększyła się o 13,8% i wyniosła odpowiednio 1,66 w badaniu 2 i 1,89 w badaniu 3, ( $p=0,75$ ). Liczba odtworzonych słów po 10 minutach w badaniu 2 równała się 8, i była nieznamienne wyższa o 20% od wyniku 6,4 uzyskanego w badaniu 3, ( $p=0,07$ ). Wykazano nieistotny statystycznie spadek procentu informacji odtworzonych po odroczeniu, który w badaniu 2 i 3 wyniósł odpowiednio 92,37% i 73,04%, ( $p=0,08$ ).

Poziom wskaźnika funkcji przestrzennych uległ nieznamienne statystycznie wzrostowi o 6,1% z wartości 8,32 w badaniu 2 do 8,83 w badaniu 3, ( $p=0,3$ ).

Zaobserwowano istotne statystycznie skrócenie czasu wykonania próby interferencji poznawczej Stroopa z 67,4 sekund w badaniu 2 do 61 sekund w badaniu 3, ( $p<0,05$ ). Nie stwierdzono różnic w liczbie popełnianych błędów w próbie interferencji poznawczej Stroopa, która nieistotnie spadła o 38,6% z wartości 2,25 do 1,38, ( $p=0,17$ ).

Nie wykazano istotnych statystycznie zmian w parametrach próby planowania. Liczba ruchów nieznamienne zmniejszyła się o 4% z 80,9 do 77,6, ( $p=0,17$ ). Nie wykazano przekroczeń zasad w badaniu 2 i 3. Liczba ruchów z 4 klockami nieistotnie zmniejszyła się o 5,1% z wartości 66,5 w badaniu 2 do 63,12 w badaniu 3, ( $p=0,11$ ). Stwierdzono również nieznamienne spadek średniej liczby ruchów z 4 klockami o 4.8% z 16,6 do 15,8, ( $p=0,11$ ).

Zaobserwowano istotny spadek wartości wskaźnika skali ostrej choroby górskiej (AMS) z 1,56 w badaniu 2 do 0,78 w badaniu 3, ( $p<0,05$ ).

Powyższe wyniki zaprezentowano w tabeli 9.

**Tabela 9. Porównanie wyników testów funkcji poznawczych grupy kontrolnej uzyskanych podczas badania 2 oraz 3 na poziomie 0m n.p.m.**

test		<b>Badanie 2 0m n.p.m. S (±SD)</b>	<b>Badanie 3 0m n.p.m. S (±SD)</b>	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	6 (0,94±)	5,9 (±1,2)	0,8	ns
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	31,11(±3,69)	30,89 (±5,21)	0,83	ns
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	1,66 (±1,87)	1,89 (±1,83)	0,75	ns
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	8,0 (±1,41)	6,40 (±2,95)	0,07	ns
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	92,37 (±12,32)	73,04 (±28,13)	0,08	ns
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	8,32 (±3,26)	8,83 (±3,26)	0,3	ns
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	67,4 (±9,29)	61,4 (±7,13)	0,03	*
3.2	Liczba błędów	2,25 (±3,5)	1,38 (±2,33)	0,17	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	80,9 (±7,52)	77,6(±3,31)	0,17	ns
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0	0	1	ns
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	66,5 (±7,03)	63,12 (±3,31)	0,11	ns
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	16,6 (±1,76)	15,8 (±0,83)	0,11	ns
5.0	<b>Skala AMS</b>	1,56 (±0,5)	0,78 (±0,97)	0,02	*
<p>Wartości przedstawiono jako średnia ± odchylenie standardowe S (±SD) , n- liczba uczestników badania - n=7 (4.1; 4.2; 4.3; 4.4); n=8 (3.1; 3.2; 5); n=9 (1.2; 1.3; 2); n=10 (1.1; 1.4; 1.5) . Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup zależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - * - p&lt;0.05; # - p&lt;0.01; ns – wartości nieistotne statystycznie.</p>					

#### **4.2.2.3 Porównanie zmian w wynikach testów funkcji poznawczych między badaniem 2 i badaniem 3 w obu grupach.**

Obliczono różnicę między wynikami testów z badania 2 i badania 3 grupy klinicznej i kontrolnej i porównano wartości delt pomiędzy dwoma grupami. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic pomiędzy dwoma grupami w deltach przeprowadzonych testów funkcji poznawczych, co przedstawia tabela 10.

Zmiana sumy słów odtworzonych w pierwszej próbie wśród alpinistów wyniosła 1,2 i nie różniła się istotnie od wyniku 0,1 uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p=0,1$ ). Delta sumy słów odtworzonych we wszystkich próbach uzyskana przez grupę kliniczną równała się 3,3, i nie była znamienne różna od delty grupy kontrolnej 0,2, ( $p=0,07$ ). Nie stwierdzono różnic w zmianach sumy wszystkich konfabulacji między grupą kliniczną i kontrolną, które wynosiły odpowiednio (-0,9) i (-0,2), ( $p=0,36$ ). Delta liczby odtworzonych słów po 10 minutach równała się 2,8 wśród alpinistów i nie była znamienne różna od wyniku 1,6 grupy kontrolnej, ( $p=0,31$ ). Nie stwierdzono różnicy w zmianie procentu informacji odtworzonych po odroczeniu w grupie klinicznej i kontrolnej, która wynosiła odpowiednio 27,9 i 19,3, ( $p=0,51$ ).

Delta wskaźnika funkcji przestrzennych, nie różniła się istotnie między grupami i wyniosła (-0,1) w grupie alpinistów i (-0,5) w grupie kontrolnej, ( $p=0,55$ ).

Zmiana czasu wykonania próby interferencji poznawczej, była nieistotnie niższa (-1,1) wśród alpinistów w porównaniu do wyniku 6,0 grupy kontrolnej, ( $p=0,22$ ). Zmiana liczby błędów była również nieznamienne niższa w grupie klinicznej (-1,1) w porównaniu do wyniku 0,9 grupy kontrolnej, ( $p=0,1$ ).

Delta liczby ruchów w próbie planowania nie różniła się między grupami i w obu wyniosła 3,3, ( $p=1$ ). Zmiana liczby przekroczeń zasad była w grupie kontrolnej nieznamienne niższa i równała się 0 w porównaniu do wyniku 0,3 grupy klinicznej, ( $p=0,15$ ). Nie wykazano istotnej różnicy w delcie sumy ruchów z 4 klockami między grupą kliniczną i kontrolną, których wyniki wyniosły odpowiednio 2,7 i 3,3, ( $p=0,88$ ). Zmiana średniej liczby ruchów z 4 klockami również nie różniła się istotnie między grupami. Wśród alpinistów wyniosła 0,7, a w grupie kontrolnej 0,8, ( $p=0,88$ ).

Nie stwierdzono istotnych różnic w zmianie wartości wskaźnika AMS, która dla grupy klinicznej wyniosła 0, natomiast dla grupy kontrolnej 0,8, ( $p=0,2$ ).

Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 10.

**Tabela 10. Porównanie delt wyników testów funkcji poznawczych grupy klinicznej i kontrolnej uzyskanych w badaniu 2 i badaniu 3.**

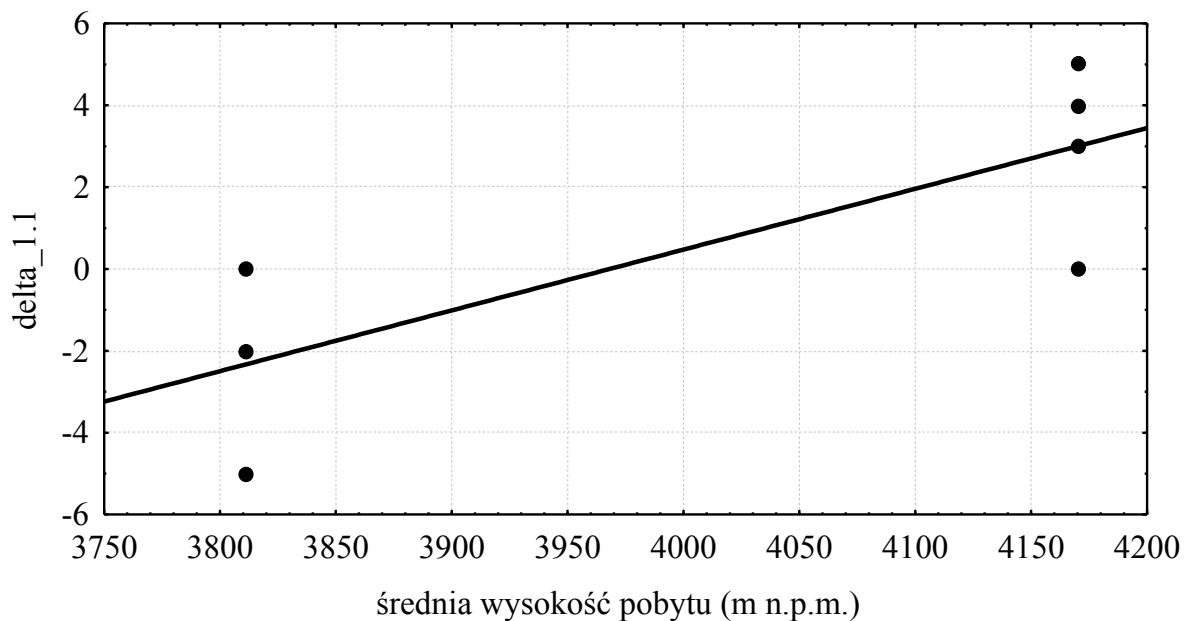
test	Delta (Badanie 2 – Badanie 3)	Grupa kliniczna S (±SD)	Grupa kontrolna S (±SD)	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	1,2 (±1,6)	0,1 (±1,2)	0,1	ns
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	3,3 (±3,6)	0,2 (±3,0)	0,07	ns
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	-0,9 (±0,8)	-0,2 (±2,0)	0,36	ns
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	2,8 (±2,7)	1,6 (±2,5)	0,31	ns
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	27,9 (±25,3)	19,3 (±31,3)	0,51	ns
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	-0,1 (±1,4)	-0,5 (±1,6)	0,55	ns
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	-1,1 (±14,3)	6,0 (±6,1)	0,22	ns
3.2	Liczba błędów	-1,1 (±2,8)	0,9 (±1,6)	0,1	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	3,3 (±8,6)	3,3 (±5,6)	1	ns
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0,3 (±0,5)	0	0,15	ns
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	2,7 (±8,6)	3,3 (±5,6)	0,88	ns.
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	0,7 (±2,1)	0,8 (±1,4)	0,88	ns.
5.0	<b>Skala AMS</b>	0,0 (±1,5)	0,8 (±0,8)	0,2	ns.
<p>Wartości przedstawiono jako średnia ± odchylenie standardowe S (±SD) , n- liczba uczestników badania - n=7 (4.1; 4.2; 4.3; 4.4); n=8 (3.1; 3.2; 5); n=9 (1.2; 1.3; 2); n=10 (1.1; 1.4; 1.5).</p> <p>Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup niezależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - * - p&lt;0.05; # - p&lt;0.01; ns – wartości nieistotne statystycznie.</p>					

### 4.2.3 Korelacje wartości oraz delt (zmian w wartościach) badanych parametrów funkcji poznawczych z długością i średnią wysokością pobytu oraz wynikiem skali AMS wśród alpinistów.

Długość pobytu na wysokości określono liczbą dni spędzonych na wysokości powyżej 2500m n.p.m. do dnia badania. Średnią wysokość obliczono analizując dni powyżej 2500m n.p.m. do momentu badania.

#### 4.2.3.1 Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT).

Wykazano istotną statystycznie ( $p < 0,05$ ) dodatnią korelację ( $r = 0,8$ ) pomiędzy deltą liczby słów odtworzonych w I próbie (delta\_1.1) w badaniu 1 i 2 a średnią wysokością pobytu do dnia badania 2, co przedstawiono na rycinie 18. Nie wykazano zależności pomiędzy pozostałymi wskaźnikami zdolności uczenia się nowych informacji a wartością skali ostrej choroby górskiej, długością i wysokością pobytu w warunkach przewlekłej hipoksji.



Rycina 18. Zależność zmiany liczby słów odtworzonych w I próbie w badaniu 1 i 2 (delta\_1.1) a średnią wysokością pobytu do dnia badania 2.  $r = 0,8$ ;  $p = 0,03$ .

#### 4.2.3.2 Próby rotacji umysłowej.

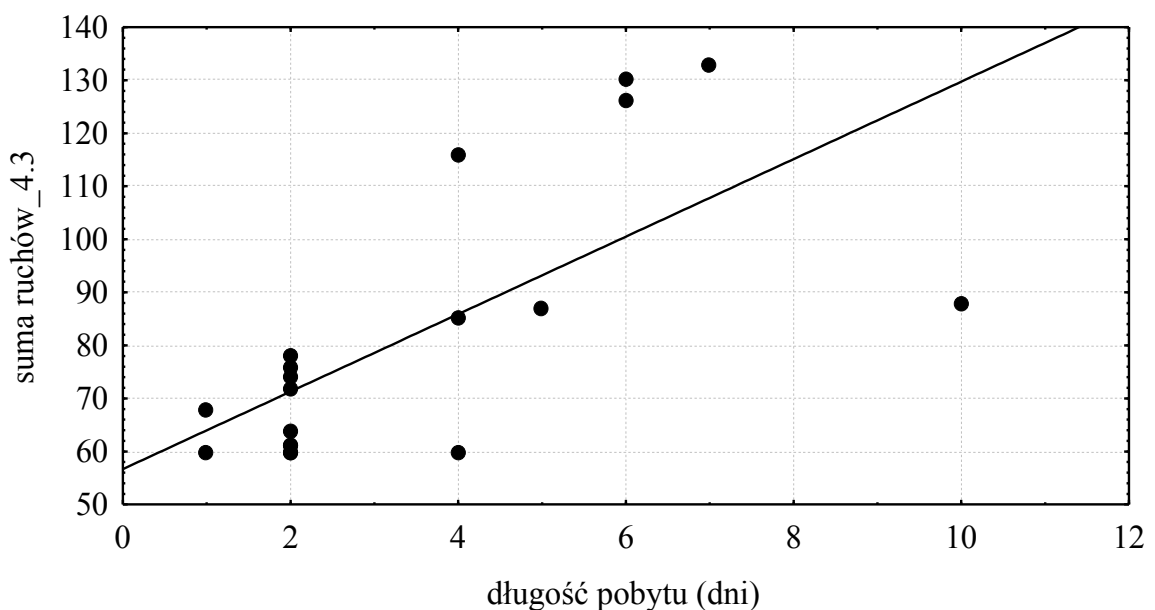
Nie wykazano istotnych statystycznie zależności zdolności do rotacji umysłowej od wartości skali AMS oraz długości i średniej wysokości pobytu.

#### 4.2.3.3 Próba interferencji poznawczej Stroopa.

Nie wykazano istotnych statystycznie zależności zdolności do kontroli poznawczej od wartości skali AMS oraz długości i średniej wysokości pobytu.

#### 4.2.3.4 Próby planowania oparte na Tower of Toronto.

Suma ruchów w próbach z 4 klockami w badaniu 2 istotnie statystycznie ( $p < 0,01$ ), dodatnio koreluje ( $r = 0,69$ ) z długością pobytu na wysokości do dnia badania 2. Zależność przedstawiono na rycinie 19. Średnia liczba ruchów w próbach z 4 klockami w badaniu 2 również istotnie ( $p < 0,01$ ), dodatnio koreluje z długością pobytu w warunkach hipoksji do dnia badania 2. Nie wykazano zależności liczby ruchów i liczby przekroczeń zasad od wartości skali AMS oraz długości i średniej wysokości pobytu.



Rycina 19. Zależność sumy ruchów w próbach z 4 klockami w badaniu 2 (suma ruchów\_4.3) od długości pobytu na wysokości do badania 2. ( $r = 0,69$ ;  $p = 0,001$ ).

#### **4.2.4 Porównanie wyników grupy klinicznej i kontrolnej w kolejnych badaniach.**

##### ***4.2.4.1 Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 1 (grupa kliniczna i kontrolna - poziom 0m n.p.m.).***

Wykazano statystycznie znamienne różnice między grupą kliniczną i kontrolną w badaniu 1 pod względem niektórych parametrów zdolności uczenia się nowych informacji. Liczba odtworzonych słów po 10 minutach przez alpinistów wynosiła 9,14 i była istotnie statystycznie wyższa od wyniku grupy kontrolnej wynoszącego 7,14; ( $p < 0,01$ ). Procent informacji odtworzonych po odroczeniu w grupie klinicznej wynosił 98,18% co jest rezultatem znamienne statystycznie wyższym od wyniku 83,31% uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p < 0,05$ ).

Nie wykazano różnic w takich parametrach zdolności uczenia się nowych informacji (VLT) jak: suma słów odtworzonych w pierwszej próbie, suma słów odtworzonych we wszystkich próbach oraz suma wszystkich konfabulacji. Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie przez alpinistów wynosiła 6,71, i była nieistotnie wyższa od uzyskanej przez grupę kontrolną wartości 6, ( $p = 0,43$ ). Ilości słów odtworzonych we wszystkich próbach, była nieistotnie statystycznie wyższa w grupie klinicznej w porównaniu z grupą kontrolną i wyniosła odpowiednio 41,57 i 37,43, ( $p = 0,1$ ). Suma wszystkich konfabulacji była nieistotnie wyższa w grupie kontrolnej i równała się 2,43 w porównaniu do wyniku 0,57 uzyskanego przez alpinistów, ( $p = 0,19$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 11.

Wskaźnik funkcji przestrzennych był nieznamienne statystycznie wyższy w grupie alpinistów i wyniósł 7,77, w porównaniu do wyniku 6,38 uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p = 0,3$ ), co obrazuje tabela 11.

Czas wykonania próby interferencji poznawczej Stroopa oraz liczba popełnionych błędów nie różniły się znamienne między obiema grupami w badaniu 1. Czas wykonania próby przez grupę kliniczną wyniósł 72,14s, natomiast średni czas grupy kontrolnej równał się 70,86, ( $p = 0,76$ ). Liczba błędów była nieistotnie statystycznie wyższa w grupie kontrolnej i wyniosła 4,86 w porównaniu do rezultatu 2,43 uzyskanego przez alpinistów, ( $p = 0,56$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 11.

Wykazano, iż grupa kliniczna wykonała istotnie statystycznie mniej ruchów w próbach opartych na Tower of Toronto, niż grupa kontrolna, ( $p < 0,05$ ). Alpinisci wykonali 89,14 ruchów, natomiast osoby z grupy kontrolnej 113,29. Suma ruchów z 4 klockami, była znamienne statystycznie niższa w grupie klinicznej i wynosiła 72,86

w porównaniu do wyniku 98.43 grupy kontrolnej, ( $p < 0,05$ ). Średnia liczba ruchów z 4 klockami była istotnie niższa wśród alpinistów i wynosiła 18,21 w porównaniu do rezultatu 24,61 uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p < 0,05$ ). Nie wykazano różnic między obiema grupami w liczbie przekroczeń zasad w próbie planowania w badaniu 1, która odpowiednio dla grupy klinicznej wynosiła 0,29, a dla grupy kontrolnej 0,86, ( $p = 0,22$ ). Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 11.

Nie stwierdzono różnic między grupami w wyniku wskaźnika skali ostrej choroby górskiej (AMS) w badaniu 1, który dla alpinistów równał się 1,14, natomiast dla grupy kontrolnej 0,57, ( $p = 0,41$ ). Powyższe wyniki zaprezentowano w tabeli 11.

**Tabela 11. Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 1.**

test		Grupa kliniczna – badanie 1 S ( $\pm$ SD)	Grupa kontrolna – badanie 1 S ( $\pm$ SD)	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	6,71 ( $\pm$ 1,89)	6 ( $\pm$ 1,29)	0,43	ns
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	41,57 ( $\pm$ 4,86)	37,43 ( $\pm$ 3,95)	0,1	ns
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	0,57 ( $\pm$ 1,13)	2,43 ( $\pm$ 3,31)	0,19	ns
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	9,14 ( $\pm$ 0,7)	7,14 ( $\pm$ 1,1)	0,002	#
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	98,18 ( $\pm$ 10,3)	83,31 ( $\pm$ 9,87)	0,02	*
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	7,77 ( $\pm$ 1,65)	6,38 ( $\pm$ 2,84)	0,3	ns
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	72,14 ( $\pm$ 6,52)	70,86 ( $\pm$ 8,57)	0,76	ns
3.2	Liczba błędów	2,43 ( $\pm$ 3,15)	4,86 ( $\pm$ 10,24)	0,56	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	89,14 ( $\pm$ 6,15)	113,29 ( $\pm$ 23,84)	0,04	*
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0,29 ( $\pm$ 0,76)	0,86 ( $\pm$ 0,9)	0,22	ns
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	72,86 ( $\pm$ 6,77)	98,43 ( $\pm$ 24,25)	0,03	*
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	18,21 ( $\pm$ 1,7)	24,61 ( $\pm$ 6,1)	0,03	*
5.0	<b>Skala AMS</b>	1,14 ( $\pm$ 1,34)	0,57 ( $\pm$ 1,13)	0,41	ns
Wartości przedstawiono jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe S ( $\pm$ SD), n- liczba uczestników badania $n=7$ . Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup niezależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - * - $p < 0,05$ ; # - $p < 0,01$ ; ns – wartości nieistotne statystycznie.					

#### **4.2.4.2 Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 2 (grupa kliniczna – 4000m n.p.m. i kontrolna - 0m n.p.m.).**

Nie wykazano statystycznie znamiennych różnic między grupą kliniczną i kontrolną w badaniu 2 pod względem wyników: zdolności uczenia się nowych informacji, próby rotacji umysłowych, próby interferencji poznawczej Stroopa oraz prób opartych na Tower of Toronto, co przedstawiono w tabeli 12.

Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie była nieistotnie wyższa w grupie kontrolnej i równała się średnio 6,3, w porównaniu do rezultatu 5,9 grupy klinicznej, ( $p=0,19$ ). Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach była nieznamiennie wyższa w grupie kontrolnej niż wśród alpinistów i wyniosła odpowiednio 32,12 i 30,74, ( $p=0,16$ ). Wykazano nieistotnie wyższą wartość sumy wszystkich konfabulacji w grupie kontrolnej, która wyniosła 0,94 w porównaniu do wyniku 0,48 uzyskanego przez grupę kliniczną, ( $p=0,17$ ). Stwierdzono, iż liczba słów odtworzonych po 10 minutach była nieznamiennie większa w grupie kontrolnej niż w grupie klinicznej i wyniosła odpowiednio 8 i 7,35, ( $p=0,14$ ). Procent informacji odtworzonych po odroczeniu w grupie kontrolnej równał się 90% i był nieistotnie statystycznie wyższy od wyniku 86,1% uzyskanego przez alpinistów, ( $p=0,32$ ).

Wskaźnik funkcji przestrzennych nie różnił się istotnie między grupami i wyniósł odpowiednio 7,47 w grupie klinicznej i 7,56 w grupie kontrolnej, ( $p=0,87$ ).

Czas wykonania próby interferencji poznawczej Stroopa był nieznamiennie statystycznie dłuższy w grupie alpinistów i równał się 75,9s w porównaniu do rezultatu 67,73s uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p=0,06$ ). Liczba błędów była nieistotnie wyższa w grupie kontrolnej w porównaniu do wyniku grupy klinicznej i równała się odpowiednio 2,91 i 1,4, ( $p=0,17$ ).

Liczba ruchów w próbie planowania nie różniła się istotnie między grupami i wyniosła odpowiednio 81,8 dla grupy klinicznej i 83,7 dla grupy kontrolnej, ( $p=0,6$ ). Liczba przekroczeń zasad była nieistotnie wyższa wśród alpinistów i równała się średnio 0,2 w porównaniu do braku przekroczeń zasad w grupie kontrolnej, ( $p=0,17$ ). Wykazano nieznamiennie wyższą liczbę ruchów z 4 klockami w grupie alpinistów niż w grupie kontrolnej, która wynosiła odpowiednio 82,1 i 76,1, ( $p=0,42$ ). Średnia liczba ruchów z 4 klockami była również nieznamiennie wyższa wśród alpinistów i równała się 20,5 w porównaniu do wyniku 19 uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p=0,42$ ).

Zauważono istotnie wyższy wynik skali ostrej choroby górskiej (AMS) w grupie klinicznej wynoszący 2 w porównaniu do wyniku 0,97 uzyskanego przez grupę kontrolną,  $p=0,01$ .

Wyniki przedstawiono w tabeli 12.

**Tabela 12. Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 2.**

test		Grupa kliniczna - Badanie 2 S ( $\pm$ SD)	Grupa kontrolna - Badanie 2 S ( $\pm$ SD)	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	5,9 ( $\pm$ 1,3)	6,3 ( $\pm$ 1,0)	0,19	ns
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	30,74 ( $\pm$ 4,26)	32,12 ( $\pm$ 3,46)	0,16	ns
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	0,48 ( $\pm$ 1,34)	0,94 ( $\pm$ 1,3)	0,17	ns
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	7,35 ( $\pm$ 1,92)	8 ( $\pm$ 1,48)	0,14	ns
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	86,1 ( $\pm$ 17,1)	90 ( $\pm$ 14)	0,32	ns
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	7,47 ( $\pm$ 2,29)	7,56 ( $\pm$ 2,47)	0,87	ns
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	75,90 ( $\pm$ 14,43)	67,73 ( $\pm$ 12,47)	0,06	ns
3.2	Liczba błędów	1,40 ( $\pm$ 2,16)	2,91 ( $\pm$ 4,51)	0,17	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	81,8 ( $\pm$ 7)	83,7 ( $\pm$ 8,86)	0,6	ns
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0,2 ( $\pm$ 0,42)	0 ( $\pm$ 0)	0,17	ns
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	82,1 ( $\pm$ 25,4)	76,1 ( $\pm$ 20)	0,42	ns
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	20,5 ( $\pm$ 6,35)	19 ( $\pm$ 5,0)	0,42	ns
5.0	<b>Skala AMS</b>	2 ( $\pm$ 1,83)	0,97 ( $\pm$ 1,15)	0,01	*

Wartości przedstawiono jako średnia  $\pm$  odchylenie standardowe S ( $\pm$ SD) , n- liczba uczestników badania - grupa kliniczna / grupa kontrolna -n=19/22 (4.1; 4.2; 4.3; 4.4); n=20/22 (3.1; 3.2); n=28/29 (5); n=31/34 (1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5; 2). Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup niezależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - \* -  $p<0,05$ ; # -  $p<0,01$ ; ns – wartości nieistotne statystycznie.

#### **4.2.4.3 Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 3 (grupa kliniczna – 6000m n.p.m. i kontrolna - 0m n.p.m.).**

Nie wykazano statystycznie znamiennej różnicy między grupą kliniczną i kontrolną w badaniu 3 pod względem wyników: zdolności uczenia się nowych informacji (oprócz sumy słów odtworzonych w pierwszej próbie), próby rotacji umysłowych, prób opartych na Tower of Toronto oraz skali AMS. Stwierdzono istotne statystycznie różnice w czasie wykonania próby interferencji poznawczej Stroopa.

Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie była istotnie wyższa w grupie kontrolnej i równała się średnio 5,9, w porównaniu do rezultatu 4,8 grupy klinicznej, ( $p < 0,05$ ). Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach była nieznacznie wyższa w grupie kontrolnej niż wśród alpinistów i wyniosła odpowiednio 31 i 28, ( $p = 0,1$ ). Wykazano nieistotnie wyższą wartość sumy wszystkich konfabulacji w grupie kontrolnej, która wyniosła 1,9 w porównaniu do wyniku 1,3 uzyskanego przez grupę kliniczną, ( $p = 0,43$ ). Stwierdzono, iż liczba słów odtworzonych po 10 minutach była nieznacznie większa w grupie kontrolnej niż w grupie klinicznej i wyniosła odpowiednio 6,4 i 4,7, ( $p = 0,17$ ). Procent informacji odtworzonych po odroczeniu w grupie kontrolnej równał się 73% i był nieistotnie statystycznie wyższy od wyniku 58% uzyskanego przez alpinistów, ( $p = 0,24$ ).

Wskaźnik funkcji przestrzennych był nieistotnie statystycznie wyższy w grupie kontrolnej i wyniósł 9 w porównaniu do rezultatu 7,7 uzyskanego przez alpinistów, ( $p = 0,2$ ).

Stwierdzono statystycznie znamiennej różnicę między grupą kliniczną i kontrolną w badaniu 3 pod względem czasu wykonania testu interferencji poznawczej Stroopa. Czas wykonania testu przez alpinistów wynosił 78 sekund i był istotnie statystycznie wyższy od wyniku 63 sekund uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p < 0,05$ ). Liczba błędów była nieistotnie wyższa w grupie klinicznej w porównaniu do wyniku grupy kontrolnej i równała się odpowiednio 2,9 i 1,8, ( $p = 0,37$ ).

Liczba ruchów w próbie planowania nie różniła się istotnie między grupami i wyniosła odpowiednio 101 dla grupy klinicznej i 92 dla grupy kontrolnej, ( $p = 0,73$ ). Liczba przekroczeń zasad była nieistotnie wyższa wśród alpinistów i równała się średnio 0,6 w porównaniu do wyniku 0,3 grupy kontrolnej, ( $p = 0,74$ ). Nie wykazano różnic między grupami w liczbie ruchów z 4 klockami, która wyniosła odpowiednio 78

w grupie klinicznej i 75 w grupie kontrolnej, ( $p=0,84$ ). Średnia liczba ruchów z 4 klockami była taka sama dla obu grup i równała się 19, ( $p=0,84$ ).

Zauważono nieistotnie wyższy wynik skali ostrej choroby górskiej (AMS) w grupie klinicznej wynoszący 2 w porównaniu do wyniku 0,7 uzyskanego przez grupę kontrolną, ( $p=0,18$ ).

Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 13.

**Tabela 13. Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 3.**

test		Grupa kliniczna - Badanie 3 S ( $\pm$ SD)	Grupa kontrolna - Badanie 3 S ( $\pm$ SD)	p	
	<b>Zdolność uczenia się nowych informacji (VLT)</b>				
1.1	Suma słów odtworzonych w pierwszej próbie	4,8 ( $\pm$ 1,03)	5,9 ( $\pm$ 1,2)	0,04	*
1.2	Suma słów odtworzonych we wszystkich próbach.	28 ( $\pm$ 2,13)	31 ( $\pm$ 5,21)	0,1	ns
1.3	Suma wszystkich konfabulacji.	1,3 ( $\pm$ 0,87)	1,9 ( $\pm$ 1,83)	0,43	ns
1.4	Liczba odtworzonych słów po 10 min	4,7 ( $\pm$ 2,26)	6,4 ( $\pm$ 2,95)	0,17	ns
1.5	Procent informacji odtworzonych po odroczeniu	58 ( $\pm$ 25,7)	73 ( $\pm$ 28,1)	0,24	ns
	<b>Funkcje przestrzenne (próby rotacji umysłowych)</b>				
2.0	Wskaźnik funkcji przestrzennych	7,7 ( $\pm$ 2,17)	9 ( $\pm$ 2,12)	0,2	ns
	<b>Kontrola poznawcza (próba interferencji poznawczej Stroopa)</b>				
3.1	Czas wykonania [s]	78 ( $\pm$ 16,3)	63 ( $\pm$ 7,89)	0,02	*
3.2	Liczba błędów	2,9 ( $\pm$ 2,6)	1,8 ( $\pm$ 2,78)	0,37	ns
	<b>Zdolność planowania (próby oparte na Tower of Toronto)</b>				
4.1	Liczba ruchów	101 ( $\pm$ 66,8)	92 ( $\pm$ 34,3)	0,73	ns
4.2	Liczba przekroczeń zasad	0,6 ( $\pm$ 1,67)	0,3 ( $\pm$ 1)	0,74	ns
4.3	Suma ruchów z 4 klockami	78 ( $\pm$ 36,3)	75 ( $\pm$ 28,4)	0,84	ns
4.4	Średnia liczba ruchów z 4 klockami	19 ( $\pm$ 9,07)	19 ( $\pm$ 7,09)	0,84	ns
5.0	<b>Skala AMS</b>	2 ( $\pm$ 2,39)	0,7 ( $\pm$ 0,95)	0,18	ns

Wartości przedstawiono jako średnia  $\pm$  odchylenie standardowe S ( $\pm$ SD) , n- liczba uczestników badania - n=9 (1.2; 1.3; 4.1; 4.2); n=10 (1.1; 1.4; 1.5; 2; 3.1; 3.2; 4.3; 4.4); grupa kliniczna/kontrolna - n=8/10 (5).  
Do obliczeń statystycznych zastosowano test t studenta dla grup niezależnych ponieważ rozkład wartości zmiennych był normalny. p – istotność statystyczna - \* -  $p<0.05$ ; # -  $p<0.01$ ; ns – wartości nieistotne statystycznie.

### **4.3 Wyniki – badania subiektywnej jakości snu.**

#### **4.3.1 Ocena własności psychometrycznych skal.**

Pięć osób, u których na podstawie wyników skal subiektywnej jakości snu Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) na poziomie morza stwierdzono bezsenność zostało wykluczonych z analizy rzetelności. Sześć osób zostało wykluczonych z analizowanej grupy z powodu przyjmowania leków takich jak: Diuramid (acetazolamide, ZF Polpharma SA, Polska) i Stilnox (zolpidem, Synthelabo, Francja), które mogły wpłynąć na proces aklimatyzacji oraz jakość snu. Ostatecznie włączono wyniki trzydziestu osób do analizy własności psychometrycznych skal. Wśród badanych było 27 mężczyzn i 3 kobiety, średnia wieku wyniosła 31 lat ( $SD \pm 10$ ), (przedział od 19 do 55 lat). PSQI i AIS zostały użyte do oceny jakości snu podczas tygodnia spędzonego na średniej wysokości 4527m n.p.m. ( $SD \pm 463$ ). Do analizy rzetelności użyto wyniki obu skal subiektywnej jakości snu.

Współczynnik spójności wewnętrznej alfa ( $\alpha$ ) Cronbach'a dla skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) w warunkach wysokogórskich był zadowalający i wyniósł 0,70. Współczynnik spójności wewnętrznej ( $\alpha$ ) Cronbach'a dla Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) w warunkach wysokogórskich był satysfakcjonujący i równał się 0,68.

Współczynniki korelacji komponent-skala dla skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) mieściły się w przedziale od 0,01 do 0,79. Najwyższe współczynniki korelacji komponent-skala stwierdzono dla następujących komponentów PSQI: efektywność snu (C4) 0,79; subiektywna jakość snu (C1) 0,78; długość trwania snu (C3) 0,72 i zasypianie (C2) 0,52. Najniższe współczynniki korelacji komponent-skala uzyskano dla następujących komponentów skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI): zaburzenia funkcjonowania podczas dnia (C7) 0,01 oraz zaburzenia snu (C5) 0,14. Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 14.

Współczynnik spójności wewnętrznej ( $\alpha$ ) Cronbach'a dla skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) byłby wyższy od wartości 0,70 obliczonej dla całej skali, po usunięciu następujących komponentów: zaburzenia funkcjonowania podczas dnia (C7), zaburzenia snu (C5), zasypianie (C2) i wynosiłby odpowiednio: 0,77; 0,75; 0,72. Współczynnik ( $\alpha$ ) miałaby wartość niższą od uzyskanej dla całej skali wartości 0,70 po wykluczeniu poniższych komponentów: efektywność snu (C4), długość trwania snu (C3), subiektywna jakość snu (C1) i równałby się odpowiednio: 0,57; 0,60; 0,64.

Wyniki zaprezentowano w tabeli 14.

**Tabela 14. Analiza rzetelności skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) w warunkach wysokogórskich.**

Komponenty PSQI	Współczynnik korelacji komponent-skala	$\alpha$ Cronbach'a po usunięciu komponentu
C1 Subiektywna jakość snu	0,78	0,64
C2 Zасыpianie	0,52	0,72
C3 Długość trwania snu	0,72	0,60
C4 Efektywność snu	0,79	0,57
C5 Zaburzenia snu	0,14	0,75
C7 Zaburzenia funkcjonowania podczas dnia	0,01	0,77

Współczynniki korelacji podskala-skala dla Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) mieściły się w przedziale od -0,21 do 0,70. Najwyższe korelacje z ogólnym wynikiem skali AIS wykazały podskale: jakość snu (5) 0,70, zasypianie (1) 0,66 oraz całkowity czas snu (4) 0,54. Najniższe korelacje z ogólnym wynikiem Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) stwierdzono dla: senności podczas dnia (8) (-0,21), funkcjonowania podczas dnia (7) 0,17 i budzenia się w ciągu nocy (2) 0,27. Podskale obudzenie się rano (3) oraz samopoczucie następnego dnia (6) miały współczynnik korelacji ze skalą AIS wynoszący odpowiednio 0,41 oraz 0,45. Szczegółowe wyniki analizy rzetelności Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) są zaprezentowane w tabeli 15.

Współczynnik spójności wewnętrznej ( $\alpha$ ) Cronbach'a dla skali AIS byłby wyższy bądź równy wartości 0,68 uzyskanej dla całej skali, po usunięciu następujących podskali: senność w ciągu dnia (8) oraz sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia (7) i wynosiłby odpowiednio: 0,76 i 0,68. Współczynnik ( $\alpha$ ) miałby odpowiednio niższą wartość od uzyskanej dla całej skali wartości 0,68 po wykluczeniu następujących podskali: jakość snu (5) 0,55; zasypianie (1) 0,55; całkowity czas snu (4) 0,60; samopoczucie następnego dnia (6) 0,64; obudzenie się rano (3) 0,64 i budzenie się podczas nocy (2) 0,67. Wyniki zaprezentowano w tabeli 15.

**Tabela 15. Analiza rzetelności Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) w warunkach wysokogórskich.**

Podskale AIS	Współczynnik korelacji podskala-skala	$\alpha$ Cronbach'a po usunięciu podskali
1- Zасыpianie	0,66	0,55
2- Budzenie się podczas nocy	0,27	0,67
3- Obudzenie się rano	0,41	0,64
4- Całkowity czas snu	0,54	0,60
5- Jakość snu	0,70	0,55
6- Samopoczucie następnego dnia	0,45	0,64
7- Sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia	0,17	0,68
8- Senność w ciągu dnia	-0,21	0,76

Znamienne statystycznie, dodatnie korelacje komponent-komponent skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) zaobserwowano między następującymi komponentami: subiektywna jakość snu (C1), zasypianie (C2), długość trwania snu (C3) i efektywność snu (C4). Subiektywna jakość snu (C1) znamienne statystycznie ( $p < 0,01$ ), dodatnio koreluje z zasypianiem (C2)  $r = 0,53$ , długością trwania snu (C3)  $r = 0,58$  oraz efektywnością snu (C4)  $r = 0,66$ . Zasypianie (C2) istotnie statystycznie, dodatnio koreluje z długością trwania snu (C3), ( $p < 0,05$ ;  $r = 0,32$ ) oraz efektywnością snu (C4), ( $p < 0,01$ ;  $r = 0,53$ ). Długość trwania snu (C3) znamienne statystycznie ( $p < 0,01$ ), dodatnio koreluje ( $r = 0,69$ ) z efektywnością snu (C4).

Komponent używanie leków nasennych (C6) został wykluczony z analizy korelacji zgodnie z kryterium wykluczenia z badania. Komponenty zaburzenia snu (C5) i zaburzenia funkcjonowania podczas dnia (C7) nie wykazały korelacji z innymi komponentami skali. Korelacje komponent-komponent były w przedziale od -0,13 (zaburzenia snu C5 i zaburzenia funkcjonowania podczas dnia C7) do 0,69 (efektywność snu C4 i długość trwania snu C3). Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 16.

**Tabela 16. Korelacje między komponentami skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) w warunkach wysokogórskich.**

Komponenty PSQI	C2	C3	C4	C5	C7
C1 Subiektywna jakość snu	0,53#	0,58#	0,66#	0,29	0,08
C2 Zасыpianie		0,32*	0,53#	0,09	-0,11
C3 Długość trwania snu			0,69#	0,14	0,15
C4 Efektywność snu				0,19	0,01
C5 Zaburzenia snu					-0,13
C7 Zaburzenia funkcjonowania podczas dnia					
# p<0,01; *p<0,05					

Istotnie statystycznie, dodatnie korelacje w Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) stwierdzono pomiędzy następującymi podskalami: zasypianie (1) i budzenie się podczas nocy (2), ( $p<0,05$ ;  $r=0,38$ ); zasypianie (1) i jakość snu (5), ( $p<0,01$ ;  $r=0,47$ ); zasypianie (1) i samopoczucie następnego dnia (6), ( $p<0,01$ ;  $r=0,48$ ); całkowity czas snu (4) i jakość snu (5), ( $p<0,01$ ;  $r=0,61$ ); jakość snu (5) i samopoczucie następnego dnia (6), ( $p<0,05$ ;  $r=0,38$ ). Podskala senność podczas dnia (8) nie korelowała dodatnio z resztą skali za wyjątkiem podskali sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia (7). Korelacje podskala-podskala były w przedziale od -0,35 (budzenie się podczas nocy (2) i senność w ciągu dnia (8)) do 0,61 (całkowity czas snu (4) i jakość snu (5)). Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 17.

**Tabela 17. Korelacje między podskalami Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) w warunkach wysokogórskich.**

Podskale AIS	2	3	4	5	6	7	8
1- Zасыpianie	0,38*	0,30	0,30	0,47#	0,48#	0,15	-0,05
2- Budzenie się podczas nocy		0,02	0,14	0,21	-0,01	-0,21	-0,35*
3- Obudzenie się rano			0,31	0,30	0,32	0,04	-0,16
4- Całkowity czas snu				0,61#	0,17	0,22	-0,12
5- Jakość snu					0,39*	0,06	-0,08
6- Samopoczucie następnego dnia						0,38*	-0,06
7- Sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia							0,23
8- Senność w ciągu dnia							
# p<0,01; *p<0,05							

Analiza korelacji pomiędzy komponentami skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) a podskalami Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) dowodzi, iż każda ze skal bierze w ocenie jakości snu pod uwagę jeden składnik, nie analizowany przez inną skalę. Dla PSQI jest to komponent zaburzenia snu (C5) a dla AIS to podskala obudzenie

się rano (3).

Korelacje komponent-podskala mieściły się w przedziale od -0.42 (zaburzenia snu (C5) i senność w ciągu dnia (8)) do 0.84 (zasypianie (C2) i zasypianie(1)). Stwierdzono istotne statystycznie ( $p<0,01$ ), dodatnie korelacje pomiędzy komponentem subiektywna jakość snu (C1) a podskalą zasypianie (1) ( $r=0,57$ ) oraz podskalą jakość snu (5) ( $r=0,56$ ). Zaobserwowano znamienne statystycznie ( $p<0,01$ ), dodatnią zależność ( $r=0,84$ ) między komponentem zasypianie (C2) – a podskalą zasypianie (1). Zauważono istotną statystycznie ( $p<0,01$ ), dodatnią korelację ( $r=0,45$ ) pomiędzy komponentem długość trwania snu (C3) a podskalą całkowity czas snu (4). Stwierdzono istotne statystycznie ( $p<0,01$ ), dodatnie korelacje pomiędzy komponentem efektywność snu (C4) a podskalami: zasypianie (1), ( $r=0,51$ ); budzenie się podczas nocy (2), ( $r=0,42$ ); całkowity czas snu (4), ( $r=0,48$ ); jakość snu (5), ( $r=0,56$ ). Zaobserwowano znamienne statystycznie ( $p<0,01$ ), dodatnią zależność ( $r=0,61$ ) między komponentem zaburzenia funkcjonowania podczas dnia (C7) a podskalą sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia (7). Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 18.

**Tabela 18. Korelacje między komponentami Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i podskalami Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) w warunkach wysokogórskich.**

Komponenty- PSQI Podskale AIS	C1 Subiektywna jakość snu	C2 Zасыpianie	C3 Długość trwania snu	C4 Efektywność snu	C5 Zaburzenia snu	C7 Zaburzenia funkcjonowania nocy i dnia
1- Zасыpianie	0,57#	0,84#	0,37*	0,51#	0,20	-0,10
2- Budzenie się podczas nocy	0,35*	0,40*	0,39*	0,42#	0,30	-0,24
3- Obudzenie się rano	0,12	0,13	0,18	0,15	0,23	-0,01
4- Całkowity czas snu	0,36*	0,26	0,45#	0,48#	0,25	0,19
5- Jakość snu	0,56#	0,37*	0,41*	0,56#	0,22	-0,05
6- Samopoczucie następnego dnia	0,36*	0,30	0,10	0,32	0,02	0,26
7- Sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia	0,13	0,06	0,18	0,10	0,06	0,61#
8- Senność w ciągu dnia	-0,23	0,01	-0,13	-0,09	-0,42 *	0,11
# p<0,01; *p<0,05						

### 4.3.2 Ocena subiektywnej jakości snu.

Do porównania subiektywnej jakości snu w warunkach wysokogórskich i na poziomie morza ostatecznie zakwalifikowano wyniki uzyskane przez trzydzieści dwie osoby, 28 mężczyzn i 4 kobiety o średniej wieku 31 lat ( $SD\pm 9$ ), (przedział od 19 do 55 lat). Sześć osób zostało wykluczonych z badania z powodu używania leków, które mogły wpłynąć na proces aklimatyzacji i jakość snu. Zanalizowano wyniki skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) oceniające tydzień snu na wysokości średnio 4524m n.p.m. ( $SD\pm 451$ m) oraz na poziomie morza.

Posługując się punktem odcięcia 5 w skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), 17 osób badanych (53%) określono jako osoby gorzej śpiące na wysokości. Biorąc pod uwagę punkt odcięcia 5 w Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS), 15 osób (47%) zakwalifikowano jako osoby z bezsennością. U dwóch osób (6%) zakwalifikowanych do badania stwierdzono bezsenność na poziomie morza na podstawie wyniku skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI).

Jakość snu oceniana punktowo według skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) wynosiła średnio 2,9 ( $SD\pm 1,7$ ) na poziomie morza oraz 7,6 ( $SD\pm 4,8$ ) w warunkach hipoksji hipobarycznej. Różnica była istotna statystycznie ( $z=-4,0$ ;  $p<0,01$ ). Podobnie, jakość snu według punktowej Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) była gorsza na wysokości niż na poziomie morza i wyniosła odpowiednio 5,6 ( $SD\pm 3,3$ ) i 2,1 ( $SD\pm 1,4$ ). Różnice w wynikach były statystycznie znamienne ( $z = - 4,0$ ,  $p<0,01$ ).

Istotne statystycznie różnice, pomiędzy wynikami na poziomie morza i na wysokości, po zastosowaniu poprawki Bonferroniego, zaobserwowano wśród następujących komponentów skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI): subiektywna jakość snu (C1), zasypianie (C2), efektywność snu (C4) i zaburzenia snu (C5).

Ocena zaburzeń subiektywnej jakości snu (C1) wynosiła 1,19 w warunkach wysokogórskich i była istotnie statystycznie wyższa od wartości 0,59 stwierdzonej na poziomie morza, ( $p<0,01$ ). Ocena problemów z zasypianiem (C2) miała znamienne statystycznie wyższy średni wynik na wysokości niż na poziomie 0m n.p.m. i wynosiła odpowiednio 2,09 i 0,41, ( $p<0,01$ ). Ocena zaburzeń efektywności snu (C4) wynosiła 1,25 w warunkach hipoksji hipobarycznej i była istotnie statystycznie wyższa od wartości 0,06 uzyskanej na poziomie morza, ( $p<0,01$ ). Ocena zaburzeń snu (C5) miała znamienne statystycznie wyższy średni wynik na wysokości niż na poziomie 0m n.p.m. i wynosiła odpowiednio 1,47 i 0,84, ( $p<0,01$ ). Wyniki przedstawiono w tabeli 19.

Czas zasypiania na poziomie morza wynosił około 13 minut i był znamienne statystycznie krótszy od czasu około 65 minut, który był potrzebny do zaśnięcia na wysokości, ( $p < 0,01$ ).

Nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic w zakresie długość trwania snu (C3), zaburzeń funkcjonowania podczas dnia (C7) oraz ilości godzin snu. Wartość komponentu długość trwania snu (C3) była nieznamiennie wyższa w warunkach hipoksji niż na poziomie morza i wyniosła odpowiednio 0,88 i 0,53, ( $p = 0,16$ ). Komponent zaburzenia funkcjonowania podczas dnia (C7) miał nieistotnie wyższą wartość 0,69 na wysokości niż 0,44 na poziomie 0m n.p.m., ( $p = 0,15$ ). Całkowita długość snu nie różniła się istotnie między warunkami wysokogóorskimi i poziomem morza i równała się odpowiednio 7,51 i 7,58 godziny, ( $p = 0,62$ ).

Powyższe wyniki zaprezentowano w tabeli 19.

**Tabela 19. Wyniki skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) uzyskane na poziomie morza oraz w warunkach wysokogóorskich.**

	Poziom morza Wartość średnia ( $\pm$ SD)	Warunki wysokogórskie Wartość średnia ( $\pm$ SD)	z	p
PSQI – wynik całkowity	2,88 ( $\pm$ 1,70)	7,56 ( $\pm$ 4,82)	-3,96	0,0001
C1 Subiektywna jakość snu	0,59 ( $\pm$ 0,50)	1,19 ( $\pm$ 0,78)	-3,40	0,0007*
C2 Zasypianie	0,41 ( $\pm$ 0,91)	2,09 ( $\pm$ 2,07)	-3,31	0,0009*
C3 Długość trwania snu	0,53 ( $\pm$ 0,57)	0,88 ( $\pm$ 1,24)	-1,41	0,1589
C4 Efektywność snu	0,06 ( $\pm$ 0,25)	1,25 ( $\pm$ 1,34)	-3,60	0,0003*
C5 Zaburzenia snu	0,84 ( $\pm$ 0,37)	1,47 ( $\pm$ 0,57)	-4,07	<0,0001*
C7 Zaburzenia funkcjonowania podczas dnia	0,44 ( $\pm$ 0,62)	0,69 ( $\pm$ 0,74)	-1,44	0,1511
Czas zasypiania, min	13,06 ( $\pm$ 7,56)	65,62 ( $\pm$ 89,86)	-3,42	0,001
Całkowita długość snu, h	7,51 ( $\pm$ 0,85)	7,58 ( $\pm$ 2,19)	-0,50	0,616
Do oceny istotności różnic zastosowano poprawkę Bonferroniego ( $0,05$ dzielone przez $6$ )= $0,0083$				

Wśród znamienych statystycznie przyczyn zaburzeń snu analizowanych w komponentcie zaburzenia snu (C5), badani najczęściej wskazywali na następujące problemy występujące w warunkach wysokogóorskich: budzenie się w środku nocy lub wcześniej rano (5b), zaburzenia oddychania (5d), uczucie zbyt zimna (5f) i uczucie zbyt gorąca (5g).

Do oceny istotności różnic zastosowano poprawkę Bonferroniego. Stwierdzono istotną statystycznie, wyższą wartość oceny zaburzeń polegających na budzeniu się

w środku nocy lub wcześniej rano (5b) w warunkach wysokogórskich (2,22) niż na poziomie morza (0,66), ( $p < 0,01$ ). Zaobserwowano istotną statystycznie, wyższą wartość oceny zaburzeń oddychania (5d), która na wysokości wynosiła 0,75, w porównaniu do wartości 0,03 na poziomie morza, ( $p < 0,01$ ). Ocena uczucia zbyt zimna (5f) miała znamienne statystycznie, wyższą wartość 1,34 w warunkach hipoksji hipobarycznej w porównaniu do wartości 0,09 uzyskanej w warunkach normoksji, ( $p < 0,01$ ). Stwierdzono istotną statystycznie, wyższą wartość oceny uczucia zbyt gorąca (5g) na wysokości, która wynosiła 1,16 w porównaniu do wyniku 0,28 uzyskanego na poziomie 0m n.p.m., ( $p < 0,01$ ).

Nie zaobserwowano znamiennego statystycznie wpływu warunków wysokogórskich na takie składniki komponentu zaburzenia snu (C5) jak: budzenie się w nocy by załatwić potrzeby fizjologiczne (5c); kaszel, chrapanie (5e); złe sny, koszmary (5h); ból (5i); inne zaburzenia (5j). Ocena zaburzeń polegających na budzeniu się w nocy by załatwić potrzeby fizjologiczne (5c) miała nieistotną statystycznie wyższą wartość 1,53 w warunkach hipoksji w porównaniu do wyniku 0,91 uzyskanego na poziomie morza, ( $p = 0,02$  – nieistotne po zastosowaniu poprawki Bonferroniego). Ocena kaszlu i chrapania (5e) miała nieznamiennie wyższą wartość w warunkach wysokogórskich niż na poziomie morza, odpowiednio 0,50 i 0,28, ( $p = 0,3$ ). Wykazano nieistotnie wyższą ocenę zaburzeń snu spowodowanych złymi snami i koszmarami (5h) w warunkach hipoksji niż w normoksji, odpowiednio 0,59 i 0,13, ( $p = 0,01$  – nieistotne po zastosowaniu poprawki Bonferroniego). Ocena bólu (5i) uzyskała nieznamiennie wyższy wynik 0,72 w warunkach wysokogórskich niż rezultat 0,19 na poziomie 0m n.p.m., ( $p = 0,02$  – nieistotne po zastosowaniu poprawki Bonferroniego). Stwierdzono wyższą wartość oceny innych zaburzeń 5j w warunkach hipoksji niż normoksji, która wynosiła odpowiednio 0,38 i 0,13, ( $p = 0,01$  – nieistotne po zastosowaniu poprawki Bonferroniego).

Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 20.

**Tabela 20. Wyniki pozycji testowych komponenty Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) zaburzenia snu (C5) na poziomie morza oraz w warunkach wysokogórskich.**

	Poziom morza Wartość średnia ( $\pm$ SD)	Warunki wysokogórskie Wartość średnia ( $\pm$ SD)	z	p
5b- Budzenie się w nocy lub wcześniej rano	0,66 ( $\pm$ 0,94)	2,22 ( $\pm$ 0,97)	-4,22	<0,0001*
5c- Budzenie się w nocy by załatwić potrzeby fizjologiczne.	0,91 ( $\pm$ 1,06)	1,53 ( $\pm$ 1,29)	-2,27	0,0234
5d- Brak swobodnego oddechu podczas snu.	0,03 ( $\pm$ 0,18)	0,75 ( $\pm$ 1,05)	-3,12	0,0018*
5e- Kaszel, chrapanie.	0,28 ( $\pm$ 0,68)	0,50 ( $\pm$ 1,02)	-1,04	0,2968
5f-Uczucie nadmiernego zimna.	0,09 ( $\pm$ 0,30)	1,34 ( $\pm$ 1,21)	-4,07	<0,0001*
5g-Uczucie nadmiernego gorąca.	0,28 ( $\pm$ 0,52)	1,16 ( $\pm$ 1,25)	-3,22	0,0013*
5h- Złe sny / koszmary.	0,13 ( $\pm$ 0,34)	0,59 ( $\pm$ 0,95)	-2,49	0,0127
5i- Ból.	0,19 ( $\pm$ 0,59)	0,72 ( $\pm$ 1,02)	-2,41	0,0162
5j- Inne zaburzenia.	0,13 ( $\pm$ 0,42)	0,38 ( $\pm$ 0,49)	-2,53	0,0114
* Do oceny istotności różnic zastosowano poprawkę Bonferroniego (0,05 dzielone przez 9)=0,0055				

Średni czas spędzony w łóżku podczas nocy na poziomie morza wynosił 8,0 godzin ( $SD\pm 1,0$ ), (przedział od 6 do 10 godzin). Na wysokości czas ten wynosił 10 godzin 16 minut ( $SD\pm 1$  godzina 36 minut), (przedział od 6 do 13 godzin). Czas spędzony w „łóżku” był statystycznie znamienne dłuższy w warunkach wysokogórskich ( $z = - 4,45$ ,  $p < 0,001$ ). Średnio na poziomie morza uczestnicy badania kładli się spać około 23,40 ( $SD\pm 58$ min), (przedział od 21,30 do 1,00). Na wysokości szli spać średnio o 20,15 ( $SD\pm 60$ min), (przedział od 19,00 do 23,00). Różnica jest statystycznie znamienna ( $z = - 4,87$ ,  $p < 0,001$ ). Godzina budzenia się rano na poziomie morza to średnio 7,48 ( $SD\pm 64$ min), (przedział od 6,00 do 10,00). W warunkach wysokogórskich osoby badane budziły się średnio o 6,35. ( $SD\pm 86$ min), (przedział od 2 do 8,30). Różnica w godzinie budzenia się jest istotna statystycznie ( $z = - 3,78$ ,  $p < 0,001$ ).

Wśród podskal Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) statystycznie znamienne różnice, po zastosowaniu poprawki Bonferroniego, zaobserwowano w zakresie: zasypiania (1), budzenia się podczas nocy (2) i jakości snu (5). Wynik podskali zasypianie (1) był znamienne statystycznie wyższy na wysokości i wynosił 0,97

w porównaniu do wartości 0,28 uzyskanej na poziomie morza, ( $p < 0,01$ ). Stwierdzono istotnie statystycznie wyższą wartość podskali budzenie się podczas nocy (2) w warunkach hipoksji hipobarycznej, która wynosiła 1,47, w porównaniu do wyniku 0,56 uzyskanego w warunkach normoksji, ( $p < 0,01$ ). Wynik podskali jakość snu (5) był znamienne statystycznie wyższy na wysokości (0,78) niż na poziomie morza (0,06), ( $p < 0,01$ ).

Nie było istotnych statystycznie różnic pomiędzy wynikami na wysokości i poziomie morza, które dotyczyły obudzenia się rano (3), całkowitego czasu snu (4), samopoczucia następnego dnia (6), sprawności psychicznej i fizycznej następnego dnia (7) i senności w ciągu dnia (8). Wynik podskali obudzenie się rano (3) był nieistotnie wyższy na wysokości niż na poziomie morza i wyniósł odpowiednio 0,53 i 0,22, ( $p = 0,03$  – nieistotne po zastosowaniu poprawki Bonferroniego). Wykazano, iż wartość podskali całkowity czas snu (4) była nieznamiennie wyższa w warunkach hipoksji i wynosiła 0,50 w porównaniu do wyniku 0,38 uzyskanego na poziomie morza, ( $p = 0,5$ ). Wynik podskali samopoczucie następnego dnia (6) był nieistotnie wyższy na wysokości niż na poziomie morza i wyniósł odpowiednio 0,44 i 0,25, ( $p = 0,1$ ). Stwierdzono, iż wartość podskali sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia (7) była nieznamiennie wyższa w warunkach hipoksji i równała się 0,28, w porównaniu do wyniku 0,06 uzyskanego na 0m n.p.m., ( $p = 0,02$  – nieistotne po zastosowaniu poprawki Bonferroniego). Wartość podskali senność w ciągu dnia (8) była wyższa na wysokości niż na poziomie morza i wyniosła odpowiednio 0,63 i 0,28, ( $p = 0,03$  – nieistotne po zastosowaniu poprawki Bonferroniego).

Powyższe wyniki przedstawiono w tabeli 21.

**Tabela 21. Wyniki podskali Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) uzyskane na poziomie morza oraz w warunkach wysokogórskich.**

	Poziom morza Wartość średnia ( $\pm$ SD)	Warunki wysokogórskie Wartość średnia ( $\pm$ SD)	Z	p
AIS – wynik całkowity	2,09 ( $\pm$ 1,42)	5,59 ( $\pm$ 3,33)	-4,02	0,0001
1- Zасыianie	0,28 ( $\pm$ 0,52)	0,97 ( $\pm$ 1,00)	-2,84	0,0044*
2- Budzenie się podczas nocy	0,56 ( $\pm$ 0,50)	1,47 ( $\pm$ 0,76)	-4,04	0,0001*
3- Obudzenie się rano	0,22 ( $\pm$ 0,42)	0,53 ( $\pm$ 0,72)	-2,14	0,0323
4- Całkowity czas snu	0,38 ( $\pm$ 0,66)	0,50 ( $\pm$ 0,76)	-0,61	0,5412
5- Jakość snu	0,06 ( $\pm$ 0,25)	0,78 ( $\pm$ 0,91)	-3,45	0,0006*
6- Samopoczucie następnego dnia	0,25 ( $\pm$ 0,44)	0,44 ( $\pm$ 0,50)	-1,60	0,1088
7- Sprawność psychiczna i fizyczna następnego dnia	0,06 ( $\pm$ 0,25)	0,28 ( $\pm$ 0,46)	-2,33	0,0196
8- Senność w ciągu dnia	0,28 ( $\pm$ 0,46)	0,63 ( $\pm$ 0,66)	-2,13	0,0333
* Do oceny istotności różnic zastosowano poprawkę Bonferroniego (0,05 dzielone przez 8)=0,0062				

## 5. Dyskusja.

Aktualna wiedza na temat wpływu przewlekłej hipoksji hipobarycznej na organizm człowieka opiera się na badaniach przeprowadzonych wśród alpinistów przed i po wyprawach wysokogórskich (10,30,38,42,43,44,45,46). Dodatkowe źródło danych stanowią eksperymenty przeprowadzone w warunkach symulowanych (19,39,47). Liczebność grup badanych w publikowanych pracach nie przekracza 15 osób (10,29,30,33,38,39,41,42,46,47). Powodem tak małej liczebności grup wydaje się być istnienie stosunkowo nielicznego grona osób uczestniczących w wyprawach wysokogórskich oraz trudności w zebraniu określonej grupy w jednym miejscu, celem przeprowadzenia badania przy użyciu specjalistycznego sprzętu. Eksperymenty w warunkach symulowanych wymagają dużych nakładów finansowych. Unikalność badań wpływu przewlekłej hipoksji hipobarycznej na organizm człowieka powoduje, iż nieliczne grupy badane poddawane są jednocześnie wielu eksperymentom. Przykładem takich wielodyscyplinarnych projektów jest eksperyment symulowanego wejścia na wysokość Mount Everest w komorze hipobarycznej - Operation Everest II (19,39,47) oraz badania przeprowadzone wśród uczestników jednej z dwóch wypraw na Mount Everest i Lhotse (10,30,38,42,43,44,45). Mała liczebność przedstawianej grupy w badaniu własnym wynika z podobnych uwarunkowań.

Niektórzy autorzy w celu zwiększenia analizowanej grupy łączą wyniki badań przeprowadzonych na członkach różnych wypraw wysokogórskich, podobnych pod względem doświadczanych podczas nich warunków. 14 alpinistów analizowanych przez Hoppeler'a i innych to członkowie jednej z dwóch wypraw na Mount Everest i Lhotse (30,38). W prezentowanym badaniu własnym analizowani są uczestnicy czterech różnych wypraw. Podobny schemat zdobywania wysokości i okres pobytu w górach pozwolił zanalizować poszczególne grupy alpinistów jako całość w różnych konfiguracjach w zależności od rodzaju badania.

Czas przebywania w warunkach hipoksji, średnia wysokość oraz okres od zakończenia pobytu w warunkach hipoksji do przeprowadzenia badań na poziomie morza różni się między publikacjami, co może mieć wpływ na uzyskiwane wyniki i utrudnia ich porównywanie. Większość dotychczasowych badań, na przykład, wydolności fizycznej została przeprowadzona po wyprawach na szczyty ośmiotysięczne lub po pobycie w warunkach symulujących takie wyprawy. Średni okres przebywania w warunkach hipoksji analizowany przez innych autorów jest równy lub dłuższy niż

sześć tygodni, a średnia wysokość pobytu osób badanych podczas tego okresu przekracza 5000m n.p.m. (10,30,38,42,43,44,45).

Podawana przez niektórych autorów wysokość pobytu nie jest wysokością średnią tylko wysokością bazy wyprawy czyli poziomu poniżej którego badani nie schodzili (10,30,38,41,43,44,46). Biorąc pod uwagę fakt, iż część osób badanych to alpinisci, którzy kilkakrotnie wychodzili z bazy by zdobyć ośmiotysięcznik, można założyć że średnia wysokość pobytu była wyższa niż podawana wysokość bazy. Wysokość bazy wypraw analizowanych w badaniu własnym zmian masy i składu ciała oraz wydolności fizycznej to 4000m n.p.m. Średnia wysokość pobytu to około 4600m n.p.m. Różna interpretacja średniej wysokości pobytu może powodować różnice w wynikach badań między publikacjami.

Warto zauważyć także różnicę pomiędzy doświadczaniem hipoksji hipobarycznej w warunkach naturalnych i podczas symulacji w komorze hipobarycznej. Podczas wyprawy wysokogórskiej na organizm człowieka wpływa wiele czynników takich jak: niska temperatura, niska wilgotność powietrza, zwiększone promieniowanie UV, ograniczenia w diecie, ekstremalny wysiłek fizyczny i stres (6). Badania symulowane pozwalają badać wpływ samej hipoksji kontrolując resztę zmiennych (19,33,47).

Różna charakterystyka wydolnościowa i antropometryczna grup badanych może mieć wpływ na wyniki badań prowadzonych przez różnych autorów.

W prezentowanych badaniach wykazano tendencję do obniżania się wartości masy ciała (BW) oraz beztłuszczowej masy ciała (FFM) po okresie przewlekłej hipoksji. Brak znamiennej spadku masy ciała wykazany w prezentowanej pracy może wynikać z tygodniowej przerwy między zejściem z wysokości a badaniem, w którym to okresie mogło dojść do odzyskania utraconej masy ciała. Consolazio i inni wykazali wzrost masy ciała podczas 7 dni pobytu na poziomie morza po przewlekłym okresie pobytu w warunkach wysokogórskich (26). Obserwowano przywrócenie aż 63 % utraconej masy ciała w ciągu 4 dni pobytu na poziomie morza po symulowanym wejściu na Mount Everest (33).

Wykazana tendencja do obniżania się wartości masy ciała i beztłuszczowej masy ciała w wyniku przewlekłej hipoksji zależała dodatkowo od średniej wysokości pobytu n.p.m. Istnieje wiele prac, które wykazały spadek masy ciała po pobycie w warunkach

hipoksji (26,27,28,30,31,32,33,41). W zależności od długości i średniej wysokości pobytu procentowa redukcja masy ciała była różna, z tendencją do większej utraty po dłuższym pobycie na wyższej średniej wysokości. Kayser i inni zaobserwowali 3% spadek masy ciała po 3 tygodniowym pobycie na 5000m n.p.m. (31). Przebywanie 5 tygodniowe na wysokościach pomiędzy 4000m a 7000m n.p.m. spowodowało redukcję masy ciała o 5 % (28,30). Udział w wyprawie na szczyt ośmiotysięczny, gdzie okres pobytu na wysokościach pomiędzy 5300m a 8000m n.p.m. wynosił 12 tygodni był przyczyną utraty 10% masy ciała (27). Badania przeprowadzone przez niektórych autorów wśród alpinistów, którzy przebywali na wysokościach poniżej 4700m n.p.m. nie wykazały jednak zmian w masie ciała (34,35).

Badania własne wykazały, iż głównym składnikiem ciała, który ulega redukcji podczas miesięcznego pobytu na wysokości około 4600m n.p.m. jest masa tkanki tłuszczowej (FAT). Wynik ten jest zgodny z doniesieniami innych autorów, które potwierdzają, iż przyczyną spadku masy ciała podczas przewlekłego pobytu na wysokościach do 5400m n.p.m. jest redukcja głównie masy tłuszczowej a nie mięśniowej (28,29,36). Boyer i Blume analizując okres marszu do bazy pod Mount Everest (5400m n.p.m.), zauważyli spadek masy ciała, którego 70% stanowiły tłuszcze a 30% białka (28). W ich badaniach masa ciała spadła u osób, których masa tłuszczowa była powyżej 13 %. Reynolds i inni obserwowali spadek masy tłuszczowej i zachowanie masy mięśniowej podczas 9 tygodni ekspozycji na wysokość powyżej 5300m n.p.m. (41). Istotny statystycznie spadek masy mięśniowej, stwierdzony w wielu pracach, obserwowany był u alpinistów, którzy brali udział w wyprawach lub symulacjach wejść na ośmiotysięczniki, gdzie długość i średnia wysokość pobytu były większe niż w prezentowanej pracy (28,36,38,39). Stwierdzono, iż podczas pobytu na wysokościach powyżej 5500 - 6000m n.p.m. 73% traconej masy ciała stanowią białka a tylko 27% tłuszcze (28). Podobne wyniki uzyskano podczas eksperymentów w komorach hipobarycznych (19). Jakkolwiek, Westerterp zauważył, iż 3 tygodniowy pobyt na wysokości 6542mn.p.m. spowodował utratę masy ciała, której to tłuszcze stanowiły 74%. Wynik ten sugeruje, iż na jakość zmian składu ciała może mieć wpływ także okres ekspozycji, a nie tylko średnia wysokość pobytu (40).

Badania własne wykazały większy spadek masy tkanki tłuszczowej (FAT) u alpinistów o wyższym maksymalnym pułapie tlenowym, co potwierdza wysoką aktywność oksydacyjną komórek mięśniowych. Zauważono także bardziej znamiennej redukcję masy tkanki tłuszczowej (FAT) u osób z większą powierzchnią ciała (BSA),

co może wynikać z większych nakładów energetycznych u tych osób w celu utrzymania stałej temperatury wewnętrznej.

Powodem obserwowanych zmian masy ciała (BW) i masy tkanki tłuszczowej (FAT) w badaniach własnych może być spadek apetytu wykazany powyżej 4500m n.p.m. (26). Zaburzenia wchłaniania składników pokarmowych jako przyczynę obserwowanych zmian, można wykluczyć na podstawie wyników innych autorów. Nie wykazano zaburzeń wchłaniania węglowodanów (120), tłuszczu (34,120,121) oraz białek (31) do wysokości 5500m n.p.m. Stwierdzono upośledzone wchłanianie powyżej poziomu 6300m (32,89). Zmiany masy i składu ciała mogą również wynikać ze zmiany diety podczas wyprawy. Istnieją doniesienia mówiące o tym, że zwiększenie przyjmowania pokarmów wysoko-energetycznych na średnich wysokościach zmniejsza, a nawet może zapobiec utracie masy ciała (35,36). Niestety wartości energetyczne oraz skład diety analizowanej grupy nie były badane.

W prezentowanej pracy zaobserwowano obniżenie parametrów wydolności tlenowej takich jak próg przemian anaerobowych (AT) oraz parametrów wydolności beztlenowej takich jak maksymalna moc beztlenowa ( $PP_{\text{want}}$ ) i praca całkowita ( $W_{\text{tot}}$ ).

Wydolność tlenowa może zależeć od zmian: masy mięśniowej, struktury mięśni, poziomu hemoglobiny we krwi (Hb) i hematokrytu (Hct), wydolności układu krążenia i układu oddechowego (122).

W badaniach innych autorów, które są zgodne z wynikami przedstawianej pracy, nie obserwowano zmian wartości maksymalnego zużycia tlenu ( $VO_{2\text{max}}$ ) po okresie przewlekłej hipoksji (42,43,45,49). Istnieją jednak doniesienia, w których wykazano zmniejszenie się maksymalnego zużycia tlenu po okresie przewlekłej hipoksji w wartościach bezwzględnych (30,38,45). W analizowanej literaturze nie odnaleziono prac, które prezentowałyby zmiany maksymalnego zużycia tlenu po okresie przewlekłej hipoksji w wartościach względnych. Sugeruje to, iż spadki maksymalnego zużycia tlenu są konsekwencją redukcji masy ciała.

W przeciwieństwie do innych autorów w badaniach własnych nie wykazano wzrostu poziomu hemoglobiny we krwi (Hb), hematokrytu (Hct) oraz liczby krwinek czerwonych (RBC) po okresie hipoksji (45,123,124). Pewnym wytłumaczeniem uzyskanych wyników, może być proces neocytolizy, który mógł wystąpić podczas tygodniowej przerwy między pobytem na wysokości a badaniem na poziomie morza. Neocytoliza to proces adaptacyjny, polegający na hemolizie młodych krążących

krwinek czerwonych (neocytów), występujący w sytuacji, gdy liczba krwinek czerwonych jest rozpoznawana przez organizm jako zbyt wysoka (123).

Badanie własne stanowi według wiedzy autora pierwszą próbę oceny zmian progu przemian anaerobowych (AT) po okresie przewlekłej hipoksji. Próg przemian anaerobowych (AT) jest definiowany jako obciążenie wysiłkowe, przy którym przemiany tlenowe zaczynają być zbyt wolne w pokrywaniu zapotrzebowania energetycznego i włączają się procesy beztlenowe. Badania przeprowadzone na poziomie morza dowodzą, iż poziom progu przemian anaerobowych (AT) koresponduje z jakością przepływu krwi w mięśniach szkieletowych, procentową zawartością włókien wolnokurczliwych (ang. słow twitching - ST), gęstością naczyń kapilarnych w mięśniach oraz poziomem potencjału oksydacyjnego na poziomie komórkowym (125,126,127). Próg przemian anaerobowych (AT) wzrasta po treningu wytrzymałościowym natomiast spada po okresie 3-6 tygodni pozbawionych treningu (125,127,128).

W badaniu własnym zaobserwowano zmniejszenie się progu przemian anaerobowych (AT), tym większe im wyższy był jego poziom przed okresem hipoksji. Badana, grupa alpinistów mimo spadku progu przemian anaerobowych (AT) utrzymała go na poziomie około 60% maksymalnego zużycia tlenu ( $VO_{2max}$ ), który charakteryzuje osoby trenujące (126). Wykazano również, iż spadek progu przemian anaerobowych (AT) jest mniejszy u osób, u których przed okresem hipoksji wskaźnik spadku mocy beztlenowej (WSM) był wyższy. Mogłoby to świadczyć o tym, iż osoby o mniejszym potencjale glikolitycznym przed wyprawą, uzyskiwały mniejsze przyrosty aktywności kluczowych jej enzymów w okresie przebywania w hipoksji. Jest to jednak hipoteza, która wymaga potwierdzenia w dalszych badaniach.

Wydolność anaerobowa zależy od bardzo wielu czynników: masy mięśniowej, struktury mięśni szkieletowych, proporcji ilości włókien szybkokurczliwych (FT) do wolnokurczliwych (ST), aktywności enzymów glikolitycznych, enzymów odpowiedzialnych za rozpad fosfagenów i przenoszenie grup fosforanowych na ADP, ATPazy miozynowej, zapasów fosfagenów i glikogenu, zdolności do uwalniania i wiązania wapnia z siateczki endoplazmatycznej, potencjału buforowego (129,130). Zaobserwowany w badaniu własnym spadek parametrów wydolności beztlenowej takich jak maksymalna moc beztlenowa ( $PP_{WanT}$ ) i praca całkowita ( $W_{tot}$ ) jest zgodny z wynikami innych autorów. Z badań, w których analizowano wpływ przewlekłej hipoksji na wydolność beztlenową, wynika, że okres do trzech tygodni pobytu na

wysokości powyżej 5000m n.p.m. nie wpływa na maksymalny pik mocy beztlenowej (10,44,50,51). Nie obserwowano również zmian maksymalnej mocy beztlenowej po 4 tygodniach pobytu na wysokości 5050m n.p.m.(131). Okres dopiero 5 tygodni spowodował znamienne spadki maksymalnego piku mocy beztlenowej (10,44,50,51). W eksperymencie własnym zaobserwowano dodatnią zależność pomiędzy spadkiem maksymalnej mocy beztlenowej ( $PP_{\text{wanT}}$ ) a średnią wysokością pobytu. Wyniki innych autorów i własne mogą sugerować, iż na zmiany w wydolności beztlenowej, może mieć wpływ długość i wysokość pobytu w warunkach wysokogórskich.

Powodem obniżenia się parametrów wydolności tlenowej i beztlenowej może być zmniejszona aktywność fizyczna w warunkach przewlekłej hipoksji, która była obserwowana w warunkach symulowanych (19,47). Jakkolwiek badania Mizuno i innych nie wykazały wpływu poziomu aktywności fizycznej na zmiany struktury tkanki mięśniowej oraz aktywności enzymów mitochondrialnych w warunkach wysokogórskich, co jednak budzi pewne wątpliwości (46).

Potencjalną przyczyną zauważonych, w badaniu własnym i innych autorów, zmian parametrów wydolności tlenowej i beztlenowej, może być hipoksja krążeniowa mięśni lokomocyjnych. W warunkach hipoksji dochodzi do przewlekłego zmniejszenia ukrwienia mięśni lokomocyjnych kosztem znacznego zwiększenia procentu rzutu serca, który dostaje się do mięśni oddechowych (132,133). Przebywanie w warunkach hipoksji stymuluje układ oddechowy do zwiększonej pracy. Reakcją na hipoksję jest wzrost częstości oddechów na minutę. Wentylacja minutowa przy określonym obciążeniu jest większa na wysokości niż na poziomie morza. Poziom wentylacji w warunkach wysokogórskich zbliża się do wartości maksymalnego poziomu dowolnej wentylacji (134). Uzyskanie zwiększonego poziomu wentylacji na wysokości wymaga dostarczenia większej ilości tlenu do mięśni oddechowych kosztem mięśni lokomocyjnych. Na wysokości 5000m n.p.m. mięśnie oddechowe wykorzystują 26% rzutu serca a na poziomie morza tylko 5.5% (132). Lundby i inni badając grupę alpinistów po 8 tygodniach aklimatyzacji na 4100m n.p.m. stwierdził zmniejszony przepływ krwi do kończyn dolnych (133). Inni autorzy stwierdzili na poziomie morza zmniejszenie się przepływu krwi podczas wysiłku submaksymalnego w mięśniu obszernym bocznym i dwugłowym ramienia po wyprawie na ośmiotysięcznik (37,42). Stwierdzono, iż w ostrej hipoksji nie tylko hipoksemia, ale także praca mięśni oddechowych w znaczący sposób wpływa na zmęczenie mięśni lokomocyjnych podczas wysiłku (135).

Wzmoczona praca mięśni oddechowych i związana z nią redystrybucja krwi prowadzi do zwiększenia się efektywności i siły mięśni oddechowych, czego dowodem może być wzrost maksymalnej objętości oddechowej (VTmax) obserwowany w badaniu własnym. W literaturze brak jest danych na temat zmian w strukturze mięśni oddechowych na poziomie tkankowym i komórkowym po okresie przewlekłej hipoksji. Większa dostępność tlenu, substratów energetycznych i budulcowych do mięśni oddechowych w porównaniu z mięśniami lokomocyjnymi, może potencjalnie powodować odmienne zmiany w ich strukturze. Długotrwały wzmożony wydatek energetyczny mięśni oddechowych może w nich indukować zwiększoną utylizację tłuszczu co mogłoby tłumaczyć redukcję masy tkanki tłuszczowej (FAT) obserwowaną w badaniu własnym.

Ogólna zmniejszona dostępność tlenu w warunkach hipoksji oraz dodatkowo ograniczenie ukrwienia mięśni lokomocyjnych może powodować w nich spadek aktywności energetycznej oraz indukować preferencje metabolizmu beztlenowego. Wysokościowe niedokrwienie mięśni lokomocyjnych może zmniejszać do nich nie tylko dostęp tlenu ale także substratów energetycznych i budulcowych pochodzących ze źródeł poza-mięśniowych. Potencjalne zwiększenie katabolizmu białek mięśniowych zarówno strukturalnych jak i regulacyjnych może prowadzić do ograniczenia maksymalnej efektywności pracy mięśni lokomocyjnych zarówno w warunkach metabolizmu tlenowego jak i beztlenowego.

Wykazane przez wielu autorów zmiany degeneracyjne w strukturze mięśni lokomocyjnych na poziomie tkankowym i komórkowym po okresie hipoksji wydają się potwierdzać powyższą hipotezę.

Kilku do kilkunasto tygodniowy pobyt na wysokościach powyżej 5000m n.p.m. powoduje zmiany w strukturze mięśni szkieletowych. Dochodzi do zmniejszenia się objętości i przekroju poprzecznego włókien mięśniowych (30,36,37,38,39,46,47,48,49). Wykazano zmiany degeneracyjne w mięśniach po pobycie na wysokości wyrażające się zwiększoną objętością komórek satelitarnych a w nich wzrostem ilości lipofuscyny, która powstaje podczas peroksydacji lipidów przy degradacji mitochondriów (30,49,136,137). Nie stwierdzono zmian w proporcji włókien wolnokurczliwych (ST) do szybko kurczliwych (FT) po okresie hipoksji (39,47). W niektórych pracach stwierdzono, że stosunek ilości naczyń włosowatych do ilości włókien nieznacznie zmniejsza się po okresie hipoksji (30,38). Inne badania nie wykazały zmian (37,43,47,49). Stwierdzono wzrost gęstości naczyń włosowatych po okresie przewlekłej

hipoksji, głównie z powodu znaczącej utraty wielkości włókien mięśniowych (30,39,46,47,48,49).

Obserwowano zmniejszenie objętości mitochondriów oraz zmniejszenie aktywności enzymów oksydacyjnych w mięśniach szkieletowych po okresie przewlekłej hipoksji w warunkach symulowanych i wysokogórskich (30,36,37,38,43,47,49,138). Według niektórych autorów po pobycie na wysokości dochodzi do przesunięcia mięśniowego metabolizmu energetycznego z tlenowego na beztlenowy (43,49). Dowodem na to, są badania w których jest obserwowany spadek aktywności enzymów determinujących potencjał tlenowy oraz wzrost (43,49) lub brak zmian (47,138) w aktywności enzymów determinujących potencjał beztlenowy. Jakkolwiek, badanie Mizuno i innych nie wykazało zmian w poziomie aktywności enzymów mitochondrialnych po 10 tygodniach pobytu na wysokości powyżej 5250m n.p.m. (46). Badania przeprowadzone po krótszych okresach pobytu na niższych średnich wysokościach (18 dni pobytu na wysokości 4300m n.p.m.) nie wykazały zmian aktywności oksydacyjnej i glikolitycznej w mięśniach co może sugerować zależność zmian zarówno od długości jak i średniej wysokości przewlekłej hipoksji (139).

Badanie własne nie wykazało redukcji wartości beztłuszczowej masy ciała (FFM) co może oznaczać brak spadku masy mięśniowej. Sugeruje to, iż podłożem obserwowanych zmian wydolnościowych nie jest redukcja masy mięśniowej oraz zmiany strukturalne na poziomie tkankowym. Wytlumaczeniem uzyskanych rezultatów w badaniu własnym wpływu przewlekłej hipoksji na wydolność mogłoby być jednoczesne obniżenie potencjału tlenowego i beztlenowego na poziomie komórkowym w mięśniach szkieletowych.

Kolejnym wytłumaczeniem obserwowanych zmian wydolności tlenowej i beztlenowej po okresie przewlekłej hipoksji może być zastosowana metodologia badań. Badając wydolność tlenową testem do odmowy na ergometrze rowerowym obserwujemy zużycie tlenu zarówno przez mięśnie oddechowe jak i lokomocyjne. Natomiast, materiał biopsyjny do oceny zmian na poziomie tkankowym i komórkowym w mięśniach szkieletowych po okresie hipoksji w wielu badaniach pobierany był wyłącznie z mięśnia obszernego bocznego (30,36,37,38,39,46,47,48,49). Niektórzy autorzy zwracają uwagę na to, iż materiał biopsyjny uzyskany z mięśnia obszernego bocznego nie może reprezentować zmian całej masy mięśniowej po okresie hipoksji (30,39). Istnieje potencjalna możliwość, iż zmniejszone zużycie tlenu ( $VO_2$ )

w mięśniach lokomocyjnych, które podczas hipoksji uległy deterioracji, może być w pewien sposób kompensowane przez wzmożone zużycie tlenu ( $VO_2$ ) w mięśniach oddechowych, których siła potencjalnie zwiększyła się w okresie hipoksji. Hipoteza ta może tłumaczyć wyniki badań innych autorów, w których znaczne zmiany deterioracyjne obserwowane w badaniach materiału biopsyjnego mięśni lokomocyjnych nie spowodowały istotnego spadku parametrów wydolności tlenowej takich jak maksymalne zużycie tlenu ( $VO_{2max}$ ) w wartościach względnych i bezwzględnych (43,49).

Wydolność beztlenową w teście Wingate Anaerobic Test (WAnT) mierzy się natomiast w oparciu o pracę mechaniczną wykonywaną przez kończyny dolne, czyli mięśnie lokomocyjne. Jeżeli struktura mięśni lokomocyjnych uległa zmianom degeneracyjnym na poziomie tkankowym i komórkowym po okresie hipoksji to test (WAnT), który opiera się na badaniu pracy właśnie tych mięśni ma większe szanse by wykazać zmiany niż test do odmowy. Może to tłumaczyć wykazane w pracy własnej istotne zmiany w parametrach wydolności beztlenowej po okresie hipoksji i brak znamienych zmian w parametrach wydolności tlenowej takich jak maksymalna moc tlenowa ( $MP_{VO_{2max}}$ ) i maksymalne zużycie tlenu ( $VO_{2max}$ ).

Zmniejszona pojemność minutowa serca i związany z nią spadek perfuzji mięśni po okresie przewlekłej hipoksji może być kompensowany przez: łatwiejszą wymianę gazową na poziomie tkankowym dzięki zmianom w morfometrii mięśniowej oraz zwiększony poziom hemoglobiny we krwi i hematokrytu po okresie pobytu na wysokości (42,45). Ten mechanizm kompensacji może do pewnego stopnia tłumaczyć nieznamienny spadek wartości maksymalnego zużycia tlenu po okresie przewlekłej hipoksji mimo zmian deterioracyjnych w mięśniach szkieletowych (45).

W badaniu własnym wykazano znamienne obniżenie się wartości progu przemian anaerobowych (AT) po okresie przewlekłej hipoksji przy braku istotnych zmian w wartości maksymalnego zużycia tlenu ( $VO_{2max}$ ). Zmiany poziomu progu przemian anaerobowych (AT), przy stałej wartości maksymalnego zużycia tlenu ( $VO_{2max}$ ), świadczą o zmianach wytrzymałości organizmu i mogą wynikać ze zmian, które dokonały się na poziomie komórkowym w mięśniu szkieletowym (125). Zmiany te hipotetycznie mogłyby polegać po pierwsze na wzroście aktywności dehydrogenazy mleczanowej (ang. lactate dehydrogenase - LDH) w cytoplazmie komórek mięśniowych, po drugie na braku zmian w aktywności lub upośledzeniu działania układów przenoszących ekwiwalenty redukcyjne do mitochondrium w wyniku

długotrwałej hipoksji. Indukowany niedotlenieniem czynnik transkrypcyjny-1 (HIF-1) jest odpowiedzialny za transkrypcję genów kodujących transportery glukozy oraz enzymy glikolityczne (13,137). Istnieją prace, które wykazały wzrost aktywności enzymów glikolizy beztlenowej po okresie przewlekłej hipoksji (43,49). Mogłoby to w pewnym stopniu tłumaczyć obserwowany w pracy własnej spadek progu przemian anaerobowych przy braku zmian w maksymalnym zużyciu tlenu.

Hoppeler i inni stwierdzili, iż hipoksja indukuje mechanizmy sprzyjające preferencji węglowodanów jako, głównego źródła energii w mięśniu szkieletowym (137). Mogłoby to do pewnego stopnia ograniczać zużycie wolnych kwasów tłuszczowych jako źródła energii podczas wysiłku w hipoksji a jednocześnie sprzyjać wzrostowi aktywności enzymów glikolitycznych w tym LDH. Hipoteza ta jednak stoi w pewnej sprzeczności z wynikami redukcji masy tłuszczowej przedstawionymi w prezentowanej pracy.

Metody badania funkcji poznawczych możliwe do zastosowania w warunkach wysokogórskich muszą być maksymalnie krótkie, a przy tym dostarczać jak najwięcej informacji. Muszą mieć także odpowiedni poziom trudności, tak aby uniknąć efektu sufitowego zarówno w badaniu na poziomie 0m n.p.m., gdzie nie oczekuje się deficytów funkcji poznawczych, jak i w kolejnych badaniach, gdzie możliwy jest efekt wprawy. Wiele metod oceny funkcji poznawczych, w szczególności uwagi, funkcji przestrzennych oraz pamięci przestrzennej wymaga precyzji ruchu, zaś zaangażowanie grafomotoryki w proces wykonywania prób testowych mogłoby znacznie zniekształcić wyniki badania.

Hipoksja wpływa negatywnie na tempo reakcji ruchowej, szybkość motoryczną i precyzję ruchu (140,141,142). W warunkach wysokogórskich z uwagi na niską temperaturę (wymagającą użycia rękawic) i trudne warunki badania (badanie nie przy biurku, ale na siedząco w namiocie) badani mogliby osiągać niższe wyniki z powodu niekontrolowanych czynników zakłócających, nie związanych z hipotezami badawczymi odnośnie wpływu hipoksji na funkcjonowanie poznawcze.

Negatywny wpływ hipoksji na struktury wchodzące w skład układu limbicznego a przede wszystkim na hipokamp pozwalają przypuszczać, że funkcje związane ze zdolnością do zapamiętywania nowych informacji będą zaburzone w warunkach wysokogórskich. W wielu pracach obserwowano negatywny wpływ pobytu na

wysokości na pamięci (143,144,145,146,147). Stwierdzano także deficyty pamięci na poziomie morza po okresie przewlekłej hipoksji (55,143,145,148,149,150,151).

Uzyskane w badaniu własnym wyniki potwierdzają zmniejszenie się efektywności uczenia się materiału słownego w warunkach hipoksji hipobarycznej podczas wyprawy wysokogórskiej. Zaburzenia odnotowano wśród badanych alpinistów na 4000 i 6000m n.p.m. Wielu autorów obserwowało zaburzenia uczenia się nowych zadań na wysokości (143,144,145,146). Stwierdzenie w badaniu własnym redukcji efektywności uczenia się na wysokościach powyżej 4000m n.p.m. jest zgodne z badaniami innych autorów. Nie obserwowano zaburzeń uczenia się nowych zadań do 3000m n.p.m. (152). W wielu pracach nie zauważono zmian w zakresie funkcji amnestycznych na wysokościach poniżej 4000m n.p.m. (153,154,155). Zaburzenia funkcji amnestycznych były natomiast wyraźne na wysokości około 6000m n.p.m. (146). W badaniach innych autorów stwierdzono spowolnione tempo uczenia się na poziomie morza po 2 tygodniach od powrotu z wyprawy na sześciotysięcznik Mount Denali 6194m n.p.m. {9}. Powyższe fakty wydają się potwierdzać negatywny wpływ hipoksji na efektywność uczenia się nowych informacji. Analogiczne zaburzenia obserwowano w związku z zaburzeniami oddechowymi wśród pacjentów z Zespołem Bezdechów Sennych (OSA) (103,156).

Podobnie jak we wcześniejszych doniesieniach stwierdzono zaburzenia pamięci krótkotrwałej. W badaniu własnym odnotowano je dopiero na 6000m n.p.m. Wykazano również większe zmiany u alpinistów przebywających na wyższej średniej wysokości do dnia badania na 4000m n.p.m. Wyniki te sugerują, iż zaburzenia pamięci krótkotrwałej zależą od wysokości i są znaczące dopiero na ekstremalnie dużej wysokości. Rezultaty badań własnych wydają się być zgodne z wynikami Bartholomew'a i innych, którzy stosując u badanych pilotów na 4500m n.p.m. zadania pochłaniające duże zasoby pamięci, stwierdzili zaburzenia pamięci krótkotrwałej (157). Pogorszenie pamięci słownej krótkotrwałej wykazano również po okresie hipoksji doświadczanej w warunkach symulowanego wejścia na Mount Everest (143).

W badaniu własnym stwierdzono również zaburzenia pamięci odroczonej na wysokości 4000 i 6000m n.p.m., co stoi w sprzeczności z innymi badaniami. Wiele publikacji zwraca uwagę, iż istotą zaburzeń pamięci na wysokości jest upośledzenie kodowania informacji a nie wydobywania ich z pamięci, czyli odroczonego odtwarzania (143,144,145,146). Z drugiej strony wykazana przez innych autorów zależność między poziomem ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla ( $P_{aCO_2}$ ) i tlenu ( $P_{aO_2}$ ) we krwi

tętniczej a wynikami testów dotyczącymi odtwarzania u pacjentów z Przewlekłą Obturacyjną Chorobą Płuc (POCHP) może sugerować możliwości negatywnego wpływ hipoksji na pamięć odroczoną (158).

Badanie własne stanowi według mojej wiedzy pierwszą próbę oceny funkcji przestrzennych w warunkach wysokogórskich. W grupie alpinistów stwierdzono zaburzenia funkcji przestrzennych na wysokości 4000m n.p.m. Efekt ten jest szczególnie znamieny zważywszy na fakt, iż wyniki grupy kontrolnej w badaniu drugim poprawiły się, prawdopodobnie dzięki efektowi wprawy. Nie wykazano zależności funkcji przestrzennych od średniej wysokości i długości pobytu. Wysokość 6000m n.p.m. nie spowodowała zaburzeń większych niż 4000m n.p.m.

Uzyskane dane pozwalają przypuszczać, iż hipoksja powoduje zaburzenia funkcji przestrzennych. W badaniu zastosowano próbę wymagającą znaczącego zaangażowania pamięci operacyjnej, w szczególności zaś notesu wzrokowo-przestrzennego, zgodnie z modelem Baddeley'a, tak więc nie wiadomo czy zaobserwowany efekt pogorszenia wynika z zaburzeń funkcji przestrzennych per se, czy też z zaburzeń przestrzennej komponenty pamięci operacyjnej (159). Z uwagi na niemożność zastosowania zadań typu papier-ołówek, niezbędne było bowiem wykorzystanie próby angażującej pamięć operacyjną.

Dotychczasowe nieliczne badania wskazywały na pogorszenie pamięci przestrzennej. Stwierdzono zaburzenia tej formy pamięci na wysokościach powyżej 5000m n.p.m. (160). Regard u 6 z 8 zbadanych na poziomie morza doświadczonych himalaistów zaobserwował ograniczenie pamięci przestrzennej (161). Jako że dowiedziono wrażliwość na hipoksję takich struktur jak kora mózgowa płatów czołowych, a część grzbietowo-boczna płatów czołowych jest zaangażowana w mechanizm pamięci operacyjnej, być może zaburzenia funkcji przestrzennych stwierdzane w badaniu własnym można wytłumaczyć właśnie w kategorii zaburzeń przestrzennego komponentu pamięci operacyjnej (7,55,56,57,58,162,163,164).

Biorąc pod uwagę stwierdzone w badaniu własnym zaburzenia funkcji przestrzennych, nie wiadomo na ile wcześniejsze doniesienia innych autorów świadczą o rzeczywistym pogorszeniu pamięci przestrzennej, czy też o zaburzeniach samych procesów percepcyjnych.

W badaniu własnym nie odnotowano znaczących zmian kontroli poznawczej na 4000 i 6000m n.p.m. w grupie alpinistów. Stwierdzono spadek zdolności selekcji śladów pamięciowych od przypadkowych skojarzeń na 6000m n.p.m., co może

przemawiać za zaburzeniami kontroli poznawczej. Uzyskane wyniki własne sugerują, iż dopiero ekstremalnie duża wysokość wpływa negatywnie na kontrolę poznawczą. Zauważone zmiany są częściowo zgodne z wynikami innych autorów, którzy sugerują, iż pobyt powyżej 2500m n.p.m. wpływa negatywnie na funkcje kontroli poznawczej (7,59,150). Regard badając doświadczonych himalaistów, którzy w swojej karierze przebywali na wysokościach powyżej 8500m n.p.m. bez używania dodatkowego tlenu, zaobserwował u wszystkich obniżenie elastyczności poznawczej w porównaniu do grupy kontrolnej (161). Obserwowane zaburzenia uwagi stwierdzone na wysokościach pomiędzy 3000m a 5000m n.p.m. mogą tłumaczyć tendencję do ograniczenia kontroli poznawczej (150,151,165,166,167). Zastosowana w badaniu metoda badania kontroli poznawczej angażuje również pamięć operacyjną / procesy uwagi.

Pewne znaczenie w odnotowanych zmianach kontroli poznawczej może mieć obserwowany przez innych autorów wzrost progu detekcji bodźców wzrokowych na wysokości (168). Stwierdzone zaburzenia rozpoznawania kolorów takie jak: wzrost progu dla koloru zielonego, zaburzenia osi żółty-niebieski, zaburzenia rozpoznawania koloru czerwonego i niebieskiego mogły potencjalnie wpłynąć na rezultaty próby interferencji poznawczej Stroopa (169,170,171,172).

Zachowanie zdolności do prawidłowego planowania, może być elementem kluczowym podczas wspinaczki w warunkach wysokogórskich. W piśmiennictwie nie znaleziono badań dotyczących procesu planowania w warunkach wysokogórskich. W badaniu własnym stwierdzono poprawę funkcji planowania wśród alpinistów na wysokości 4000m n.p.m. oraz w grupie kontrolnej w drugim badaniu, co może wynikać z efektu wprawy i wiązać się z zachowaną pamięcią proceduralną. Wysokość 6000m n.p.m. nie spowodowała dysfunkcji planowania. Wy tłumaczeniem uzyskanych wyników może być także efekt sufitowy. Poziom trudności zastosowanej metody był prawdopodobnie zbyt niski, by wykazać wpływ hipoksji na badaną funkcję. By wyeliminować efekt wprawy i efekt sufitowy w przyszłych badaniach, należy zastosować metodę o wyższym stopniu trudności, w której kolejne próby planowania będą zawierały odrębne problemy, o innej strukturze rozwiązania, o porównywalnym stopniu trudności. Zaobserwowano mniejszą poprawę zdolności do prawidłowego planowania u alpinistów przebywających dłużej na wysokości do 4000m n.p.m., co może sugerować negatywny wpływ dłuższego okresu hipoksji na funkcje planowania.

Zaobserwowana lepsza zdolność planowania w grupie klinicznej niż kontrolnej w pomiarze pierwszym świadczy o tym, iż profil funkcjonowania poznawczego

alpinistów może być różny od ogółu osób zdrowych. Być może osoby cechujące się lepszą zdolnością planowania wybierają wspinaczkę wysokogórską albo też alpinizm sprzyja rozwijaniu zdolności planowania. Hipotezy te można by zweryfikować jedynie w badaniach prospektywnych. Z uwagi na różnorodność grupy jaką stanowią alpiniści pod względem częstotliwości, długości oraz średniej wysokości wypraw badania takie wydają się jednak trudne do przeprowadzenia.

Wyniki przeprowadzonego badania pokazują, że skale Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńska Skala Bezsenności (AIS) są rzetelne w warunkach przewlekłej hipoksji hipobarycznej. Współczynniki rzetelności były niższe na wysokości niż w źródłowych badaniach przeprowadzonych na poziomie morza. Wartość współczynnika alfa ( $\alpha$ ) Cronbach'a dla skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) w warunkach wysokogórskich była 0,70, w porównaniu do wartości 0,83 w badaniach źródłowych (106). Wartości dla Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) były odpowiednio 0,68 w warunkach górskich i 0,89 w badaniach źródłowych (111,112). Powodem tych różnic mógł być różny stan zdrowia, liczebność badanej grupy oraz specyfika problemów związanych ze snem w warunkach wysokogórskich.

Badań jakości snu na poziomie morza nie przeprowadzono przed wyprawą, lecz po pobycie na wysokości. Badania polisomnograficzne nie wykazały różnic w zakresie parametrów snu na poziomie morza przed i po pobycie na wysokość. Badania wykonane przez Netzer'a i Strohl'a potwierdzają, iż obniżona jakość snu w warunkach wysokogórskich nie wpływa na jakość snu na poziomie morza po pobycie na wysokości (69). W związku z powyższym jakość snu zbadana w pracy własnej po wyprawie wysokogórskiej powinna być porównywalna z jakością snu przed wyprawą. Nie wydaje się także, aby różny okres od zakończenia wyprawy do momentu oceny jakości snu na poziomie morza miał istotny wpływ na uzyskane dane.

Zmiana okresu oceny jakości snu w skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) z jednego miesiąca do jednego tygodnia mogła wpłynąć na czułość skali. Warunki wyprawy wysokogórskiej, której czas często jest krótszy niż jeden miesiąc i gdzie wczesna ocena problemów ze snem jest niezbędna, powoduje, iż zmiana okresu oceny jakości snu z jednego miesiąca do jednego tygodnia jest nieodzowna. Okres oceny jakości snu został skrócony do jednego tygodnia w badaniach dotyczących rzetelności i trafności skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) stosowanej wśród pacjentów

z chorobami nowotworowymi oraz do dwóch tygodni wśród pacjentów cierpiących na bezsenność (109,173).

Psychometryczna ocena skal badających subiektywną jakość snu w warunkach wysokogórskich powinna składać się nie tylko z analizy ich rzetelności ale także trafności. Niestety brak możliwości sprzętowych oraz trudności organizacyjne uniemożliwiły przeprowadzenie analizy trafności za pomocą obiektywnych metod badania jakości snu jakimi są badania aktygraficzne i polisomnografia. Brak jakiegokolwiek standaryzowanej skali oceniającej subiektywną jakość snu o potwierdzonej rzetelności i trafności w warunkach wysokogórskich, uniemożliwił ocenę trafności skal Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS).

Uzyskane wyniki badań potwierdzają sugestie przedstawione przez innych autorów mówiące o tym, że skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) lepiej odzwierciedla efektywność snu oraz subiektywną jakość snu niż zaburzenia snu i zaburzenia funkcjonowania podczas dnia (107,173). W przedstawionych badaniach jakość snu badana przez skalę Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńską Skalę Bezsenności (AIS) zależy głównie od komponentów oceniających: jakość snu oraz całkowity czas trwania snu a w mniejszym stopniu od komponentów takich jak: budzenie się w ciągu nocy i samopoczucie podczas dnia.

Podobieństwa obu skal potwierdzają silne korelacje pomiędzy następującymi komponentami skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i podskalami Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS): subiektywna jakość snu (C1) i jakość snu (5), efektywność snu (C4) i całkowity czas snu (4), zasypianie (C2) i zasypianie (1), zaburzenia funkcjonowania podczas dnia (C7) i funkcjonowanie podczas dnia (7). Jakkolwiek, jedynie skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) bierze pod uwagę w ogólnej ocenie jakości snu, w komponencie zaburzenia snu (C5), wiele czynników mogących powodować zaburzenia snu takie jak: potrzeby fizjologiczne, problemy z oddychaniem, dyskomfort związany z temperaturą, ból.

Skala Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) bierze pod uwagę używanie leków nasennych. Wydaje się, iż może to dawać mylące wyniki w całkowitej ocenie jakości snu jeżeli w analizie nie będzie uwzględniany typ leku. Rozpoznanie przedwczesnego budzenia się rano możliwe jest tylko przy użyciu Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS).

Z uwagi na zwięzłość, łatwy system oceniania i możliwość dowolnego dopasowania okresu oceny jakości snu dla potrzeb badania, Ateńska Skala Bezsenności

(AIS) wydaje się być skalą bardziej przyjazną dla użytkownika i dlatego mogłaby być wykorzystywana przez lekarzy wyprawowych. Mniejsza czułość Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) potencjalnie zapobiegnie nadużywaniu leków nasennych. Zidentyfikowano dzięki niej, w porównaniu ze skalą Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), mniej osób z gorszą jakością snu na wysokości. Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) jako skala bardziej szczegółowa i głównie ilościowa może znaleźć zastosowanie w badaniach klinicznych. Niektóre komponenty skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) składają się z kilku elementów, które mogłyby dać dokładniejszy obraz przyczyn leżących u podstawy zaburzeń snu. Jako że Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) okazała się skalą bardziej czułą niż Ateńska Skala Bezsenności (AIS) wydaje się być lepszą metodą do zastosowania w badaniach naukowych.

Stosowanie badań jakości snu takich jak polisomnografia w warunkach wysokogórskich w badaniach naukowych na dużych grupach uczestników jest trudne ze względu na problemy techniczne i duży koszt potrzebnego wyposażenia (66,69,78). Powoduje to, iż liczebność grup badawczych jest bardzo niska. Szerokie zastosowanie skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) umożliwiło obserwację zaburzeń jakości snu wśród wielu grup klinicznych: (PSQI) (106,107,108,109,173,174,175,176); (AIS) (111,112,113,114,177,178). Zastosowanie skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) pozwoliło także na ocenę efektywności terapii zaburzeń snu na poziomie morza (176,179,180). Biorąc pod uwagę powyższe fakty oraz wyniki przedstawionych w tej pracy badań, skale Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńska Skala Bezsenności (AIS) stanowią dobrą, praktyczną alternatywę badań obiektywnych, jako rzetelne narzędzia diagnostyczne i badawcze. W przyszłych projektach badawczych do obiektywnej oceny jakości snu w warunkach wysokogórskich należy wziąć pod uwagę badanie aktygraficzne. Badanie za pomocą aktygrafów nie jest tak dokładne jak polisomnografia ale można je zastosować w warunkach wysokogórskich, w których użycie polisomnografii na szeroką skalę jest praktycznie niemożliwe (181,182).

Według analizy literatury dotyczącej snu na wysokości przeprowadzonej przez Weil'a, jakość snu w warunkach wysokogórskich znacząco obniża się (20). Porównanie jakości snu na wysokości i na poziomie morza w badaniu własnym wykazało, że jakość snu na wysokości ulega pogorszeniu. Stwierdzone w prezentowanej pracy zaburzenia jakości snu potwierdzone przez obie skale Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńską Skalę Bezsenności (AIS) były spowodowane ogólnie gorszą jakością snu,

dłuższym okresem zasypiania oraz zaburzeniami powodującymi budzenie się w nocy. Inni autorzy opierając się na osobistych doświadczeniach alpinistów oraz osób badanych w warunkach symulowanych opisywali podobne objawy zaburzeń snu (3,62,68). Luks i inni posługując się nie standaryzowanym kwestionariuszem uzyskali podobne wyniki (4).

Dzięki badaniom polisomnograficznym w warunkach hipoksji hipobarycznej zaobserwowano zaburzenia ciągłości snu. Fragmentacja snu, spowodowana zwiększeniem liczby przebudzeń oraz występowaniem oddechu okresowego może tłumaczyć odczuwane przez alpinistów zaburzenia snu polegające na budzeniu się w nocy (3,20,62,63,69). Zaburzenia ciągłości snu mogą być główną przyczyną słabej jakości snu na wysokości (20,69). Przewaga faz snu płytkiego I i II NREM nad fazami głębokimi III i IV może do pewnego stopnia tłumaczyć płytkość snu oraz ogólne pogorszenie jego jakości (20). Pedlar używając skali Leeds Sleep Evaluation Questionnaire (LSEQ) nie stwierdził spadku subiektywnej jakości snu podczas jednej nocy spędzonej w warunkach hipoksji normobarycznej (77). Wynik ten można tłumaczyć brakiem różnic w jakości faz snu NREM III i IV w warunkach hipoksji i normoksji wykazanych w badaniach polisomnograficznych tej samej pracy Pedlar'a (77). W badaniu własnym zaburzenia snu były spowodowane głównie budzeniem się w nocy lub wcześniej rano, problemami z oddychaniem oraz uczuciem nadmiaru ciepła lub zimna. Weil również opisuje, że nocne budzenia się są związane z uczuciem duszenia się przez alpinistę (20). Złe sny/ koszmary jako przyczyna zaburzeń snu były obserwowane przez Barcroft'a i West'a (68,74). Przeciwnie do tych obserwacji, z uzyskanych w prezentowanej pracy rezultatów nie wynika, iż obniżenie jakości snu było związane z występowaniem złych snów / koszmarów.

Znacznie dłuższy czas zasypiania w warunkach wysokogórskich stwierdzony w badaniu własnym, może być częściowo spowodowany tym, że osoby badane kładły się spać prawie 3,5 godziny wcześniej na wysokości niż na poziomie morza. Przeciwnie do wyników prezentowej pracy, jedna noc spędzona w warunkach hipoksji normobarycznej symulujących wysokość 2500m n.p.m. nie spowodowała trudności w zasypianiu, które były badane skalą Leeds Sleep Evaluation Questionnaire (77). Praca Beaumont'a i innych jest jedyną, w której za pomocą polisomnografii analizowano okres zasypiania w warunkach hipoksji (67). Autor, w przeciwieństwie do wyników uzyskanych w pracy własnej, obserwuje znamienne skrócenie okresu zasypiania w symulowanych warunkach hipoksji odpowiadającej 4000m n.p.m. Czas zasypiania

w jego pracy liczony był od momentu zgaszenia światła do czasu pojawienia się II fazy snu. Powyższa rozbieżność jest nieoczekiwana i wymaga dalszych badań.

Weil, Netzer i Strahl w swoich badaniach opierających się na polisomnografii nie obserwują zmian całkowitej długości snu na wysokości w porównaniu z poziomem morza (20,69). Podobnie wyniki uzyskane w badaniu własnym wskazują na brak wpływu wysokości na całkowitą długość snu. Pogorszenie subiektywnej jakości snu w hipoksji hipobarycznej nie jest spowodowane zmianami w całkowitej długości snu. Jakkolwiek, podczas doświadczeń przeprowadzanych w warunkach symulowanych, w komorze hipobarycznej zaobserwowano skrócenie całkowitej długości snu (62). Wyniki badań własnych wskazują na pogorszenie efektywności snu na wysokości, czyli zmniejszenie stosunku całkowitego czasu snu do czasu spędzonego w „łóżku”. Powyższy wynik, można częściowo tłumaczyć dłuższym o ponad dwie godziny czasem przebywania w „łóżku” w warunkach wysokogórskich. Jakość snu na wysokości wydają się nie zależeć od zaburzeń fazy budzenia się. Pora budzenia się rano, która była o ponad godzinę wcześniejsza niż na poziomie morza nie powoduje zaburzeń snu. Z przeprowadzonych badań własnych wynika, iż alpiniści podczas wypraw wysokogórskich chodzą spać i budzą się wcześniej. Może być to spowodowane zmianą rodzaju aktywności podczas dnia, a także warunkami zakwaterowania na wyprawie.

W przeciwieństwie do sugestii wysuniętych przez innych autorów nie zaobserwowano wpływu gorszej jakości snu na funkcjonowanie podczas dnia na wysokości (68,183). Badania neuropsychologiczne przeprowadzone przez Luks'a i innych, podobnie jak wyniki pracy własnej, nie wskazują na wpływ gorszej jakości snu w hipoksji na funkcjonowanie podczas dnia (4).

Wydaje się, iż subiektywne i obiektywne zmiany jakości snu w warunkach hipoksji mogą zależeć od długości i wysokości pobytu. Badania polisomnograficzne przeprowadzone podczas jednej nocy spędzonej w warunkach hipoksji normobarycznej symulujących wysokość 2500m n.p.m. wykazały znaczący wzrost zaburzeń oddechowych oraz brak zmian jakości faz snu, w przeciwieństwie do badań oceniających dłuższe pobyty na wyższych wysokościach gdzie stwierdzano zaburzenia faz snu głębokiego (20,77). Zmiany subiektywnej jakości snu obserwowane w tej samej pracy podczas jednej nocy w warunkach symulowanych badane skalą LSEQ wykazały jedynie uczucie zmęczenia (77). W przeciwieństwie do wyników uzyskanych w prezentowanej pracy, nie wykazano zmian w jakości snu oraz w zasypianiu (77).

Wyniki skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) są zgodne z wynikami polisomnografii (106). Niezależnie od tego warto zauważyć, iż polisomnografia i skale subiektywnej oceny jakości snu oceniają sobie właściwe aspekty snu. Polisomnografia bazuje na analizie faz snu, nie bierze pod uwagę subiektywnej jakości snu (180). Te dwie metody oceny snu uzupełniają się wzajemnie.

## 6. Podsumowanie

Projekt badawczy Polish High Altitude Research Expeditions (PHARE), przeprowadzony podczas czterech polskich wypraw wysokogórskich, którego wyniki przedstawiono w prezentowanej pracy, to głos w dyskusji na temat wpływu przewlekłej hipoksji hipobarycznej na organizm człowieka.

Mimo średniej wysokości przeprowadzonych badań, która była niższa niż 5000m n.p.m. wykazano negatywny wpływ przewlekłej hipoksji na masę i skład ciała, wydolność fizyczną, funkcje poznawcze oraz jakość snu.

Wyniki przedstawionej pracy są dowodem na to, iż wysokości poniżej 5000m n.p.m. mogą powodować zmiany deterioracyjne w organizmie człowieka. Wynik ten stanowi praktyczną informację dla alpinistów, iż długotrwały pobyt w warunkach wysokogórskich nie tylko podczas wypraw na ośmiotysięczniki ale także sześć i siedmiotysięczniki może stopniowo ujemnie wpływać na funkcjonowanie ich organizmów. Obniżająca się wydolność fizyczna, upośledzenie funkcji poznawczych i pogarszająca się jakość snu na wysokości mogą mieć decydujący wpływ na sukces wyprawy mierzony nie tylko zdobyciem szczytu, ale przede wszystkim bezpieczeństwem członków ekspedycji.

Informacje uzyskane dzięki przeprowadzonym badaniom mogą być wykorzystane przez lekarzy wyprawowych przygotowujących zabezpieczenia medyczne ekspedycji wysokogórskich, których celem powinna być szeroko pojęta, możliwie największa ochrona alpinistów przed negatywnymi skutkami hipoksji hipobarycznej.

## 7. Wnioski

1. Pobyt w warunkach przewlekłej hipoksji hipobarycznej przez okres miesiąca na wysokości około 4600m n.p.m. powoduje obniżenie wartości parametrów wydolności tlenowej oraz beztlenowej.
2. Zmiany wartości progu przemian anaerobowych mogą być jednym z pierwszych markerów obniżania się potencjału tlenowego mięśni szkieletowych podczas pobytu na wysokości.
3. Przewlekła hipoksja hipobaryczna doświadczana przez okres miesiąca na średniej wysokości 4600m n.p.m. powoduje spadek masy tłuszczowej.
4. Pobyt na wysokości powyżej 4000m n.p.m. wpływa negatywnie na efektywność uczenia się, proces wydobywania z pamięci zapamiętywanych wcześniej informacji oraz funkcje przestrzenne.
5. Skale Pittsburgh Sleep Quality Index i Ateńska Skala Bezsenności stanowią rzetelne narzędzia oceny jakości snu w warunkach przewlekłej hipoksji hipobarycznej.
6. Hipoksja hipobaryczna wpływa ujemnie na subiektywną jakość snu.

## 8. Streszczenie

Możliwości aklimatyzacji organizmu człowieka powyżej 5500m n.p.m. są ograniczone. Wydają się, iż kilkutygodniowe przebywanie powyżej 5000 – 6000m n.p.m. powoduje, iż nad korzystnymi zmianami, które zaszły w procesie aklimatyzacji na niższych wysokościach, zaczynają przeważać zmiany deterioracyjne - wyniszczające organizm alpinisty. Wyznaczenie granicy pomiędzy brakiem aklimatyzacji, aklimatyzacją a deterioracją jest trudne, a dostępne w literaturze wyniki badań nie są jednoznaczne.

Celem pracy była próba odpowiedzi na pytanie czy udział w wyprawach na sześciotysięczniki i siedmiotysięczniki powoduje zmiany deterioracyjne w organizmie człowieka.

Uczestnikami badań byli polscy alpinisci biorący udział w czterech wyprawach wysokogórskich na szczyty powyżej 6000 i 7000m n.p.m. Badania obejmowały łącznie 104 osoby: 70 alpinistów oraz 34 osoby w grupie kontrolnej. Oceniano wpływ pobytu w warunkach hipoksji hipobarycznej na takie parametry jak: masa i skład ciała, wydolność tlenowa i beztlenowa, funkcje poznawcze oraz jakość snu. Badania prowadzono przed, w trakcie oraz po wyprawach.

Wykazano statystycznie istotny spadek po okresie przewlekłej hipoksji takich parametrów jak: masa tkanki tłuszczowej (FAT), próg przemian anaerobowych (AT), maksymalna moc beztlenowa ( $PP_{W_{ant}}$ ) oraz praca całkowita ( $W_{tot}$ ). Stwierdzono istotny wzrost maksymalnej objętości oddechowej ( $VT_{max}$ ).

Wykazano negatywny wpływ hipoksji hipobarycznej na funkcje poznawcze takie jak: zdolność uczenia się nowych informacji, proces wydobywania z pamięci zapamiętywanych wcześniej informacji oraz funkcje przestrzenne.

Stwierdzono, iż skale Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńska Skala Bezsenności (AIS) są rzetelne w warunkach przewlekłej hipoksji hipobarycznej. Wykazano obniżenie się subiektywnej jakości snu w warunkach wysokogórskich, które wynikało głównie z wydłużenia okresu zasypiania oraz budzenia się w nocy.

Większość prac dostępnych w literaturze, analizuje zmiany zachodzące w organizmach alpinistów biorących udziału w wyprawach na szczyty ośmiotysięczne. Prezentowana praca koncentrując się na wpływie na organizm człowieka udziału w wyprawach na sześciotysięczniki i siedmiotysięczniki. Przeprowadzone badania dotyczą więc szerszego grona osób, a nie tylko wąskiej grupy himalaistów biorących udział w wyprawach ekstremalnych.

Badanie własne stanowi według wiedzy autora pierwszą próbę oceny wpływu długotrwałego pobytu na wysokości na: wydolność tlenową i beztlenową u tej samej grupy badanej; próg przemian anaerobowych (AT); funkcje przestrzenne oraz proces planowania. Nie odnaleziono również innych publikacji, w których oceniano by w warunkach wysokogórskich subiektywną jakość snu za pomocą standaryzowanych metod takich jak Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i Ateńska Skala Bezsenności (AIS).

Unikalność badań wpływu przewlekłej hipoksji hipobarycznej na organizm człowieka wymaga ujednoczenia metodologii oraz organizacji projektów międzynarodowych, które umożliwiłyby badania na większej grupie alpinistów.

Pobyt w warunkach przewlekłej hipoksji hipobarycznej podczas wypraw na sześciotysięczniki i siedmiotysięczniki powoduje zmiany deterioracyjne w organizmie człowieka.

## 9. Piśmiennictwo

1. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. History. In: West JB eds. High Altitude Medicine and Physiology. London: Hodder Arnold.(2007).1-14.
2. Pollard AJ, Murdoch DR. The High Altitude Medicine Handbook. Delhi: Book Faith India. ( 1997).146.
3. Reite, M., Jackson, D., Cahoon, R. L., & Weil, J. V. Sleep physiology at high altitude. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.* (1975). 38, 463-471.
4. Luks, A. M., van Melick, H., Batarese, R. R., Powell, F. L., Grant, I., & West, J. B. Room oxygen enrichment improves sleep and subsequent day-time performance at high altitude. *Respir.Physiol.* (1998). 113, 247-258.
5. Windsor, J. S., Rodway, G. W. Supplemental oxygen and sleep at altitude. *High Alt.Med.Biol.* (2006). 7, 307-311.
6. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. The atmosphere. In: West JB eds. High Altitude Medicine and Physiology. London: Hodder Arnold.(2007).15-26.
7. Virues-Ortega, J., Buela-Casal, G., Garrido, E., & Alcazar, B. Neuropsychological functioning associated with high-altitude exposure. *Neuropsychol.Rev.* (2004). 14, 197-224.
8. Kamiński B, Kozłowski S, and Nazar K. Wpływ zmiennych warunków środowiska gazowego na organizm człowieka. In: Kozłowski S eds. Wprowadzenie do Fizjologii Klinicznej. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.(1999).579-595.
9. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Altitude acclimatization and deterioration. In: West JB eds. High Altitude Medicine and Physiology. London: Hodder Arnold.(2007).39-50.
10. Cerretelli, P. Muscle energetics and ultrastructure in chronic hypoxia. *Respiration* (1992). 59, 24-29.
11. Cerretelli, P., Samaja, M. Acid-base balance at exercise in normoxia and in chronic hypoxia. revisiting the "lactate paradox". *Eur.J.Appl.Physiol.* (2003). 90, 431-448.
12. Semenza, G. L. HIF-1: Mediator of physiological and pathophysiological responses to hypoxia. *J. Appl. Physiol.* (2000). 88, 1474-1480.
13. Zagórska, A., Dulak, J. HIF-1: The knows and unknowns of hypoxia sensing. *Acta Biochim Polon* (2004). 51, 563-585.

14. Małecki, M., Proczka, R., CHmiel, B., Kotlarz, A., & Chorodtowska-Wynimko, J. Cardiovascular gene therapy: Application of HIF-1  $\alpha$  gene. *Acta Angiol.* (2008). 14, 125-130.
15. Hewitson, K.S., Schofield, C.J. The HIF pathway as a therapeutic target. *Drug Discov. Today* (2004). 9, 704-711.
16. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Ventilatory response to hypoxia and carbon dioxide. In: Anonymous High Altitude Medicine and Physiology. London: Hodder Arnold.(2007).51-66.
17. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Hematology. In: Anonymous High Altitude Medicine and Physiology. London: Hodder Arnold.(2007).103-116.
18. Szymczak, R., Pawłowska, E., & Basiński, A. 5 dni z wysokościowym obrzękiem płuc pod wierzchołkiem Mont Blanc na wysokości 4362m n.p.m. - opis dwóch przypadków. *Med. Intens. Rat.* (2003). 6, 151-156.
19. Rose, M. S., Houston, C. S., Fulco, C. S., Coates, G., Sutton, J. R., & Cymerman, A. Operation everest. II: Nutrition and body composition. *J.Appl.Physiol.* (1988). 65, 2545-2551.
20. Weil, J. V. Sleep at high altitude. *High Alt.Med.Biol.* (2004). 5, 180-189.
21. Pugh, L. G. C. E. Physiological and medical aspects of the himalayan scientific and mountaineering expedition, 1960-1961. *BMJ* (1962). 2, 621-633.
22. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. High altitude populations. In: West JB eds. High Altitude Medicine and Physiology. London: Hodder Arnold.(2007).235-250.
23. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Chronic mountain sickness and high altitude pulmonary hypertension. In: West JB eds. High Altitude Medicine and Physiology. London: Hodder Arnold.(2007).299-310.
24. Savourey, B., Launay, J. C., Besnard, Y., Guinet, S., & Travers, S. Normo- and hypobaric hypoxia: Are there any physiological differences? *Eur.J.Appl.Physiol.* (2003). 89, 122-126.
25. Roach, R. C., Loeppky, J. A., & Icenogle, M. V. Acute mountain sickness: Increased severity during simulated altitude compared with normobaric hypoxia. *J.Appl.Physiol.* (1996). 81, 1908-1910.
26. Consolazio, C. F., Matoush, L. O., Johnson, H. L., & Daws, T. A. Protein and water balances of young adults during prolonged exposure to high altitude (4300m). *Am. J. Clin. Nutr.* (1968). 21, 134-161.

27. Cerretelli, P. Limiting factors to oxygen transport on mount everest. *J.Appl.Physiol.* (1976). 40, 658-667.
28. Boyer, S. J., Blume, F. D. Weight loss and changes in body composition at high altitude. *J.Appl.Physiol.* (1984). 57, 1580-1585.
29. Guillaud, J. C., Klepping, J. Nutritional alterations at high altitude in man. *Eur.J.Appl.Physiol.Occup.Physiol.* (1985). 54, 517-523.
30. Hoppeler, H., Kleinert, E., Schlegel, C., Claassen, H., Howald, H., Kayar, S. R., & Cerretelli, P. Morphological adaptations of human skeletal muscle to chronic hypoxia. *Int.J.Sports Med.* (1990). 11, 3-9.
31. Kayser, B., Acheson, K., Decombaz, J., Fern, E., & Cerretelli, P. Protein absorption and energy digestibility at high altitude. *J.Appl.Physiol.* (1992). 73, 2425-2431.
32. Dinmore, A. J., Edwards, J. S. A., Menzies, I. S., & Travis, S. P. L. Intestinal carbohydrate absorption and permeability at high altitude (5730m). *J.Appl.Physiol.* (1994). 76, 1903-1907.
33. Westerterp-Plantenga, M. S., Westerterp, K. R., Rubbens, M., Verwegen, C. R., Richelet, J. P., & Gardette, B. Appetite at "high altitude" [operation everest III (comex-'97)]: A simulated ascent of mount everest. *J. Appl. Physiol.* (1999). 87, 391-399.
34. Rai, R. M., Malhotra, M. S., Dimri, G. P., & Sampathkumar, T. Utilization of different quantities of fat at high altitude. *Am. J. Clin. Nutr.* (1975). 28, 242-245.
35. Butterfield, G. E., Gates, J., & Fleming, S. Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *J.Appl.Physiol.* (1992). 72, 1741-1748.
36. Mathieu-Costello, O. Muscle adaptation to altitude: Tissue capillarity and capacity for aerobic metabolism. *High Alt.Med.Biol.* (2001). 2, 413-425.
37. Boutellier, U. Human muscle adaptations to chronic hypoxia. *Prog.Clin.Biol.Res.* (1983). 136, 273-285.
38. Hoppeler, H., Howald, H., & Cerretelli, P. Human muscle structure after exposure to extreme altitude. *Experientia* (1990). 46, 1185-1187.
39. MacDougall, J. D., Green, J. R., Sutton, J. R., Coates, G., Cymerman, A., Young, P., & Houston, C. S. Operation everest II: Structural adaptations in skeletal muscle in response to extreme simulated altitude. *Acta Physiol.Scand.* (1991). 142, 421-427.
40. Westerterp, K. R., Kayser, B., Wouters, L., Le Trong, J. L., & Richalet, J. P. Energy balance at high altitude of 6,542 m. *J.Appl.Physiol.* (1994). 77, 862-866.

41. Reynolds, R. D., Lickteig, J. A., Deuster, P. A., Howard, M. P., Conway, J. M., Pietersma, A., deStoppelaar, J., & Deurenberg, P. Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing mt. everest. *J.Nutr.* (1999). 129, 1307-1314.
42. Cerretelli, P., Marconi, C., Deriaz, O., & Giezendanner, D. After effects of chronic hypoxia on cardiac output and muscle blood flow at rest and exercise. *Eur.J.Appl.Physiol.Occup.Physiol.* (1984). 53, 92-96.
43. Howald, H., Pette, D., Simoneau, J. A., Uber, A., Hoppeler, H., & Cerretelli, P. Effects of chronic hypoxia on muscle enzyme activities. *Int.J.Sports Med.* (1990). 11, 10-14.
44. Ferretti, G., Hauser, H., & di Prampero, P. E. Maximal muscular power before and after exposure to chronic hypoxia. *Int.J.Sports Med.* (1990). 11, 31-34.
45. Ferretti, G., Boutellier, U., Pendergast, D. R., Moia, C., Minetti, A. E., Howald, H., & di Prampero, P. E. Oxygen transport system before and after exposure to chronic hypoxia. *Int.J.Sports Med.* (1990). 11, 15-20.
46. Mizuno, M., Savard, G. K., Areskog, N. H., Lundby, C., & Saltin, B. Skeletal muscle adaptations to prolonged exposure to extreme altitude: A role of physical activity?. *High Alt.Med.Biol.* (2008). 9, 311-317.
47. Green, H. J., Sutton, J. R., Cymerman, A., Young, P., & Houston, C. S. Operation everest II: Adaptations in human skeletal muscle. *J.Appl.Physiol.* (1989). 66, 2454-2461.
48. Hoppeler, H., Desplanches, D. Muscle structural modifications in hypoxia. *Int.J.Sports Med.* (1992). 13, 166-168.
49. Howald, H., Hoppeler, H. Performing at extreme altitude: Muscle cellular and subcellular adaptations. *Eur.J.Appl.Physiol.* (2003). 90, 360-364.
50. di Prampero PE, Mognoni P, and Veicsteinas A. The effects of hypoxia on maximal anaerobic alactic power in man. In: Brendel W eds. *High Altitude Physiology and Medicine*. New York: Springer.(1982).88-93.
51. Cerretelli P, di Prampero PE. Aerobic and anaerobic metabolism during exercise at altitude. In: Rivolier J eds. *High Altitude Deterioration*. Basel, Karger: Med Sport Sci.(1985).1-19.
52. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Exercise. In: West JB eds. *High Altitude Medicine and Physiology*. London: Hodder Arnold.(2007).145-160.

- 53.** Raichle ME, Hornbein TF. The high-altitude brain. In: Hornbein TF eds. High Altitude: An Exploration of Human Adaptation. New York: Merceel Dekker.(2001).377-423.
- 54.** McFarland, R. A. Psycho-physiological studies at high altitude in the andes. III. mental and psychosomatic responses during gradual adaptation. *Comp. Psychol.* (1938). 24, 147-188.
- 55.** Hornbein, T. F., Townes, B. D., & Schoene, R. B. The cost to the central nervous system of climbing to extremely high altitude. *N.Engl.J.Med.* (1989). 321, 1714-1719.
- 56.** Shukitt-Hale, B., Kadar, T., Marlowe, B. E., Stillman, M. J., Galli, R. L., Levy, A., Devine, J. A., & Lieberman, H. R. Morphological alterations in the hippocampus following hypobaric hypoxia. *Hum.Exp.Toxicol.* (1996). 15, 312-319.
- 57.** Reed, L. J., Marsden, P., Lasserson, D., Sheldon, N., Lewis, P., Stanhope, N., Guinan, E., & Kopelman, M. D. FDG-PET analysis and findings in amnesia resulting from hypoxia. *Memory* (1999). 7, 599-612.
- 58.** Gerard, A. B., McElroy, M. D., & Taylor, M. J. Six percent oxygen enrichment of room air at simulated 5000m altitude improves neuropsychological function. *High Alt.Med.Biol.* (2000). 1, 51-61.
- 59.** West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Central nervous system. In: West JB eds. High Altitude Medicine and Physiology. London: Hodder Arnold.(2007).221-234.
- 60.** Kelly DA, Coppel DB. Sleep disorders. In: Tarter RE eds. Medical Neuropsychology. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic/ Plenum Publishers.(2001).267-284.
- 61.** West, J. B. Commuting to high altitude: Value of oxygen enrichment of room air. *High Alt.Med.Biol.* (2002). 3, 223-235.
- 62.** Anholm, J. D., Powles, A. C., Downey, R. 3., Houston, C. S., Sutton, J. R., Bonnet, M. H., & Cymerman, A. Operation everest II: Arterial oxygen saturation and sleep at extreme simulated altitude. *Am.Rev.Respir.Dis.* (1992). 145, 817-826.
- 63.** Salvaggio, A., Insalaco, G., Marrone, O., Romano, S., Braghiroli, A., Lanfranchi, P., Patruno, V., Donner, C. F., & Bonsignore, G. Effects of high-altitude periodic breathing on sleep and arterial oxyhaemoglobin saturation. *Eur.Respir.J.* (1998). 12, 408-413.

64. Zieliski, J., Koziej, M., Mankowski, M., Akpay, S., Sarybaev, A. S., Jamila, S., Tursalieva, J. S., Sabirov, I. S., Karamuratov, A. S., & Mirrakhimov, M. M. The quality of sleep and periodic breathing in healthy subjects at an altitude of 3,200 m. *High Alt.Med.Biol.* (2000). 1, 331-336.
65. Plywaczewski, R., Wu, T. Y., Wang, X. Q., Cheng, H. W., Sliwinski, P. S., & Zielinski, J. Sleep structure and periodic breathing in tibetans and han at simulated altitude of 5000 m. *Respiratory physiology & neurobiology* (2003). 136, 187-197.
66. Burgess, K. R., Johnson, P., Edwards, N., & Cooper, J. Acute mountain sickness is associated with sleep desaturation at high altitude. *Respirology* (2004). 9, 485-492.
67. Beaumont, M., Batejat, D., Coste, O., Van Beers, P., Colas, A., Clere, J. M., & Pierard, C. Effects of zolpidem and zaleplon on sleep, respiratory patterns and performance at a simulated altitude of 4,000 m. *Neuropsychobiology* (2004). 49, 154-162.
68. West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Sleep. In: West JB eds. *High Altitude Medicine and Physiology*. London: Hodder Arnold.(2007).177-188.
69. Netzer, N. C., Strohl, K. P. Sleep and breathing in recreational climbers at an altitude of 4200 and 6400 meters: Observational study of sleep and patterning of respiration during sleep in a group of recreational climbers. *Sleep Breath* (1999). 3, 75-82.
70. McElroy, M. K., Gerard, A., Powell, F. L., Prisk, G. K., Sentse, N., Holverda, S., & West, J. B. Nocturnal O<sub>2</sub> enrichment of room air at high altitude increases daytime O<sub>2</sub> saturation without changing control of ventilation. *High Alt.Med.Biol.* (2000). 1, 197-206.
71. Barash, I. A., Beatty, C., Powell, F. L., & Prisk, G. K. Nocturnal oxygen enrichment of room air at 3800 meter altitude improves sleep architecture. *High Alt.Med.Biol.* (2001). 2, 525-533.
72. Buguet, A., Rivolier, J., & Jouvet, M. Human sleep patterns in antarctica. *Sleep* (1987). 10, 374-382.
73. Ohi, M., Chin, K., Hirai, M., Kuriyama, T., Fukui, M., Sagawa, Y., & Kuno, K. Oxygen desaturation following voluntary hyperventilation in normal subjects. *Am J Respir Crit Care Med* (1994). 149, 731-738.
74. Barcroft J. *The Respiratory Function of the Blood. Part I. Lessons from High Altitudes*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. ( 1925).

- 75.** Fischer, R., Lang, S. M., Leitl, M., Thiere, M., Steiner, U., & Huber, R. M. Theophylline and acetazolamide reduce sleep-disordered breathing at high altitude. *Eur Respir J* (2004). 23, 47-52.
- 76.** Pappenheimer, J. R. Sleep and respiration of rats during hypoxia. *J.Physiol.(Lond.)* (1977). 266, 191-207.
- 77.** Pedlar, C., Whyte, G., Emegbo, S., Stanley, N., Hindmarch, I., & Godfrey, R. Acute sleep responses in a normobaric hypoxic tent. *Med.Sci.Sports Exerc.* (2005). 37, 1075-1079.
- 78.** Erba, P., Anastasi, S., Maggiorini, M., & Bloch, K. E. Acute mountain sickness is related to nocturnal hypoxemia but not to hypoventilation. *Eur Respir J* (2004). 24, 303-308.
- 79.** DuBois, d., DuBois, E. F. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Medicine* (1916). 17, 863-871.
- 80.** Wang, Y., Moss, J., & Thisted, R. Predictors of body surface area. *J Clin Anesth* (1992). 4, 4-10.
- 81.** Suchanowski, A. Efficiency in restitution. *Research Yearbook, AWF Gdańsk* (1993). 1, 97-105.
- 82.** Wasserman K, Hauser JE, Sue DJ, and Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia: Lea and Febiger. ( 1987).
- 83.** Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyal, S. N., & Beaver, W. L. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J.Appl.Physiol.* (1973). 35, 236-243.
- 84.** Yoshida, T. Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur.J.Appl.Physiol.Occup.Physiol.* (1987). 56, 7-11.
- 85.** Solberg, G., Robstad, B., Skjonsberg, O. H., & Borchsenius, F. Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J Sports Sci & Med* (2005). 4, 29-36.
- 86.** Dotan, R., Bar-Or, O. Load optimization for the wingate anaerobic test. *Eur.J.Appl.Physiol.Occup.Physiol.* (1983). 51, 409-417.
- 87.** Zdanowicz R, Wojcieszak I, and Wojczuk J. Cykloergometryczny test wydolności anaerobowej. In: Wojcieszak I ed. *Wydolnościowe Testy Specjalne. Wdrożenia.* Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Sportu.(1985).9-25.
- 88.** Bar-Or, O. The wingate anaerobic test. an update on methodology, reliability and validity. *Sports Med.* (1987). 4, 381-394.

- 89.** Inbar O, Bar-Or O, and Skinder JS. The Wingate Anaerobic Test. In: Anonymous Human Kinetics. Champaign: IL.(1996).8-94.
- 90.** Staniak, Z. Informatyczny system do wspomaganie testów wydolnościowych prowadzonych na cykloergometrach. *Trening* (1994). 1, 251-257.
- 91.** Serresse, O., Lortie, G., Bouchard, C., & Boulay, M. R. Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *Int.J.Sports Med.* (1988). 9, 456-460.
- 92.** Medbo, J. I., Tabata, I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J.Appl.Physiol.* (1989). 67, 1881-1886.
- 93.** Serresse, O., Simoneau, J. A., Bouchard, C., & Boulay, M. R. Aerobic and anaerobic energy contribution during maximal work output in 90 s determined with various ergocycle workloads. *Int.J.Sports Med.* (1991). 12, 543-547.
- 94.** Smith, J. C., Hill, D. W. Contribution of energy systems during a wingate power test. *Br.J.Sports Med.* (1991). 25, 196-199.
- 95.** Hill, D. W., Smith, J. C. Calculation of aerobic contribution during high intensity exercise. *Res Q Exerc Sport* (1992). 63, 85-88.
- 96.** Bangsbo, J. Is the O<sub>2</sub> - deficit an accurate quantitative measures of the anaerobic energy production during intense exercise? *J.Appl.Physiol.* (1992). 73, 1207-1208.
- 97.** Medbo, J. I., Tabata, I. Anaerobic energy release in working muscle during 30s to 3 min of exhausting bicycling. *J.Appl.Physiol.* (1993). 75, 1654-1660.
- 98.** Bogdanis, G., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. A., & Boobis, H. M. Muscle metabolism during repeated sprint exercise in man. *J Physiol* (1994). 475, 25-26.
- 99.** Szczęśna-Kaczmarek, A., Kaczmarek-Kusznierewicz, P., Ziemann, E., & Grzywacz, T. Maximal intermittent exercise - the limitations of performance: Comparison the trained and untrained subjects. *Biol Sport* (2004). 21, 39-49.
- 100.** Roach RC, Bartsch P, Hackett PH, and Oelz O. The Lake Louise acute mountain sickness scoring system. In: Sutton JR eds. *Hypoxia and Mountain Medicine.* Burlington: Queen City Printers.(1993).272-274.
- 101.** West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Acute mountain sickness. In: West JB eds. *High Altitude Medicine and Physiology.* London: Hodder Arnold.(2007).251-270.
- 102.** Stroop, J. R. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journ. of Experimental Psychology* (1935). 18, 643-662.

103. Lezak, M. D. ed. *Neuropsychological Assessment*. New York:Oxford University Press. (1995).
104. Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. A redrawn vandenbergh & kuse mental rotations test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition* (1995). 28, 39-58.
105. Saint-Cyr, J. A., Taylor, A. E., & Lang, A. E. Procedural learning and neostriatal dysfunction in man. *Brain* (1988). 111, 941-959.
106. Buysse, D. J., Reynolds, C. F. 3., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. The pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res.* (1989). 28, 193-213.
107. Carpenter, J. S., Andrykowski, M. A. Psychometric evaluation of the pittsburgh sleep quality index. *J.Psychosom.Res.* (1998). 48, 5-13.
108. Doi, Y., Minowa, M., Uchiyama, M., Okawa, M., Kim, K., Shibui, K., & Kamei, Y. Psychometric assessment of subjective sleep quality using the japanese version of the pittsburgh sleep quality index (PSQI-J) in psychiatric disordered and control subjects. *Psychiatry Res.* (2000). 97, 162-175.
109. Backhaus, J., Junghanns, K., Broocks, A., Riemann, D., & Hohagen, F. Test-retest reliability and validity of the pittsburgh sleep quality index in primary insomnia. *J.Psychosom.Res.* (2002). 53, 737-740.
110. Tsai, P. S., Wang, S. Y., Wang, M. Y., Su, C. T., Yang, T. T., Huang, C. J., & Fang, S. C. Psychometric evaluation of the chinese version of the pittsburgh sleep quality index (CPSQI) in primary insomnia and control subjects. *Qual Life Res* (2005). 14, 1943-1952.
111. Soldatos, C. R., Dikeos, D. G., & Paparrigopoulos, T. J. Athens insomnia scale: Validation of an instrument based on ICD-10 criteria. *J.Psychosom.Res.* (2000). 48, 555-560.
112. Soldatos, C. R., Dikeos, D. G., & Paparrigopoulos, T. J. The diagnostic validity of the athens insomnia scale. *J.Psychosom.Res.* (2003). 55, 263-267.
113. Novak, M., Mucsi, I., Shapiro, C. M., Rethelyi, J., & Kopp, M. S. Increased utilization of health services by insomniacs--an epidemiological perspective. *J.Psychosom.Res.* (2004). 56, 527-536.

- 114.** Prejbisz, A., Kabat, M., Januszewicz, A., Szelenberger, W., Piotrowska, A. J., Piotrowski, W., Piwonski, J., Makowiecka-Ciesla, M., Widecka, K., Patera, B., Bieniaszewski, L., Narkiewicz, K., Tykarski, A., Piejko, A., Grodzicki, T., Czerwińska, B., & Wiecek, A. Characterization of insomnia in patients with essential hypertension. *Blood Press.* (2006). 15, 213-219.
- 115.** Gliklich, R. E., Taghizadeh, F., & Winkelman, J. W. Health status in patients with disturbed sleep and obstructive sleep apnea. *Otolaryngol Head Neck Surg* (2000). 122, 542-546.
- 116.** StatSoft ed. *Elektroniczny podręcznik statystyki*. Kraków:WEB: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>. (2006).
- 117.** Stanisław, A. ed. *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. TOM 1 Statystyki podstawowe*. Kraków: StatSoft Polska Sp. z o. o. (2006).
- 118.** Stanisław, A. ed. *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. TOM 2 Modele liniowe i nieliniowe*. Kraków: StatSoft Polska Sp. z o. o. (2007).
- 119.** Wątroba, J. ed. *Zaawansowane metody analizy danych empirycznych - techniki analizy wariancji i analizy regresji. Materiały Kursowe*. Gdańsk:StatSoft Polska, Sp z o. o. (2007).
- 120.** Chesner, I. M., Small, N. A., & Dykes, P. W. Intestinal absorption at high altitude. *Postgrad. Med. J.* (1987). 63, 173-175.
- 121.** Imray, C. H., Chesner, I., & Winterbourn, M. Fat absorption at altitude: A reappraisal (abstract). *Int.J.Sports Med.* (1992). 13, 87-87.
- 122.** Kozłowski S, Nazar K. Wydolność fizyczna i tolerancja wysiłkowa. In: Anonymous *Wprowadzenie do Fizjologii Klinicznej*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.(1999).320-342.
- 123.** Rice, L., Ruiz, W., & Driscoll, T. Neocytolysis on descent from altitude: A newly recognised mechanism for the control of red cell mass. *Ann. Intern. Med.* (2001). 134, 652-656.
- 124.** West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Hematology. In: West JB eds. *High Altitude Medicine and Physiology*. London: Hodder Arnold.(2007).103-116.
- 125.** Davis, J. A., Frank, M. H., Whipp, B. J., & Wasserman, K. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J.Appl.Physiol.* (1979). 46, 1039-1046.

- 126.** Ivy, J. L. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J.Appl.Physiol.* (1980). 48, 523-527.
- 127.** Denis, C., Fouquet, R., Poty, P., Geysant, A., & Lacour, J. R. Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *Int.J.Sports Med.* (1982). 3, 208-214.
- 128.** Ready, A. E., Quinney, H. A. Alterations in anaerobic threshold as the result of endurance training and detraining. *Med.Sci.Sports Exerc.* (1982). 14, 292-296.
- 129.** Kozłowski S, Nazar K, and Kuciuba-Uściłko H. Fizjologia wysiłków fizycznych. In: Kozłowski S eds. *Wprowadzenie do Fizjologii Klinicznej.* Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.(1999).169-341.
- 130.** Kozłowski S, Nazar K, and Chwalbińska-Moneta H. Trening fizyczny – mechanizmy i efekty fizjologiczne. In: Kozłowski S eds. *Wprowadzenie do Fizjologii Klinicznej.* Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.(1999).342-387.
- 131.** Kayser, B., Narici, M., Milesi, S., Grassi, B., & Cerretelli, P. Body composition and maximum alactic anaerobic performance during a one month stay at high altitude. *Int.J.Sports Med.* (1993). 14, 244-247.
- 132.** Cibella, F., Cuttitta, G., Romano, S., Grassi, B., Bonsignore, G., & Milic-Emili, J. Respiratory energetics during exercise at high altitude. *J.Appl.Physiol.* (1999). 86, 1785-1792.
- 133.** Lundby, C., Sander, M., van Hall, G., Saltin, B., & Calbet, J. A. Determinants of maximal exercise and muscle oxygen extraction in acclimatizing lowlanders and in high altitude natives. *J Physiol* (2006). 573, 535-543.
- 134.** West JB, Schoene RB, and Milledge JS. Ventilatory response to hypoxia and carbon dioxide. In: West JB eds. *High Altitude Medicine and Physiology.* London: Hodder Arnold.(2007).51-66.
- 135.** Amann, M., Pegelow, D. F., Jacques, A. J., & Dempsey, J. Inspiratory muscle work in acute hypoxia influences locomotor muscle fatigue and exercise performance of healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* (2007). 293, R2036-R2045.
- 136.** Martinelli, M., Winterhalder, R., Cerretelli, P., Howald, H., & Hoppeler, H. Muscle lipofuscin content and satellite cell volume is increased after high altitude exposure in humans. *Experientia* (1990). 46, 672-676.
- 137.** Hoppeler, H., Vogt, M., Weibel, E. R., & Fluck, M. Response of skeletal muscle mitochondria to hypoxia. *Exp.Physiol.* (2003). 88, 109-119.

- 138.** Saltin, B., Nygaard, E., & Rasmussen, B. Skeletal muscle adaptation in man following prolonged exposure to high altitude. *Acta Physiol. Scand* (1980). 109, 31A.
- 139.** Young, A. J., Evans, W. J., Fisher, E. C., Sharp, R. L., Costill, D. L., & Maher, J. T. Skeletal muscle metabolism of sea-level natives following short-term high-altitude residence. *Eur J Appl Physiol* (1984). 52, 463-466.
- 140.** McFarland, R. A. Psycho-physiological studies at high altitude in the andes. II. sensory and motor responses during acclimatization. *Comp. Psychol.* (1938). 23, 227-258.
- 141.** Hornbein, T. F., Townes, B. D., Schoene, R. B., Sutton, J. R., & Houston, C. S. The cost to the central nervous system of climbing to extremely high altitude. *N.Engl.J.Med.* (1989). 321, 1714-1719.
- 142.** Bolmont, B., Thullier, F., & Abraini, J. H. Relationships between mood states and performances in reaction time, psychomotor ability, and mental efficiency during a 31-day gradual decompression in a hypobaric chamber from sea level to 8848 m equivalent altitude. *Physiol.Behav.* (2000). 71, 469-476.
- 143.** Townes BD, Hornbein TF, Schoene RB, Sarnquist FH, and Grant I. Human cerebral function at extreme altitude. In: West JB eds. *High Altitude and Man.* Bethesda, MD: American Physiological Society.(1984).32-36.
- 144.** Oelz, O., Howald, H., & di Prampero, P. E. Physiological profile of world-class high-altitude climbers. *J.Appl.Physiol.* (1986). 60, 1734-1742.
- 145.** Cavaletti, G. Brain damage after high-altitude climbs without oxygen. *Lancet* (1987). 1, 101-101.
- 146.** Nelson, T. O., Dunlowsky, J., White, D. M., Steinberg, J., Townes, B. D., & Anderson, D. Cognition and metacognition at extreme altitudes on mount everest. *J. Exp. Psychol. Gen.* (1990). 119, 367-374.
- 147.** Kramer, A. F., Coyne, J. T., & Strayer, D. L. Cognitive function at high altitude. *Hum.Factors* (1993). 35, 329-344.
- 148.** Ryn, Z. Mental disorders in alpinists under condition of stress at high altitudes, doctoral thesis, university of cracow, poland. (1970).
- 149.** Ryn, Z. Psychopathology in alpinism. *Acta Med, Pol.* (1971). 12, 453-467.
- 150.** Regard, M., Oelz, O., Brugger, P., & Landis, T. Persistent cognitive impairment in climbers after repeated exposure to extreme altitude. *Neurology* (1989). 39, 210-213.

- 151.** Cavaletti, G., Tredici, G. Long-lasting neuropsychological changes after a single high altitude climb. *Acta Neurol.Scand.* (1993). 87, 103-105.
- 152.** Paul, M. A., Fraser, W. D. Performance during mild acute hypoxia. *Aviat.Space Environ.Med.* (1994). 65, 891-899.
- 153.** Phillips, L. M., Pace, N. Performance changes at moderated high altitude: Short term memory measured by free recall. *Psychol. Rep.* (1966). 19, 655-665.
- 154.** Crow, T., Kelman, G. Effect of mild acute hypoxia on human short-term. *Br.J.Anaesth.* (1971). 43, 335-337.
- 155.** Sharma, V. M., Malhotra, M. S., & Baskaran, A. S. Variations in psychomotor efficiency during prolonged stay at high altitude. *Ergonomics* (1975). 18, 511-516.
- 156.** Salorio, C. F., White, D. A., Piccirillo, J., Duntley, S. P., & Uhles, M. J. Learning, memory and executive control on individuals with obstructive slepp apnea syndrome. *J. Clin Exp. Neuropsychol.* (2002). 24, 93-100.
- 157.** Bartholomew, C. J., Jensen, W., Petros, T. V., Ferraro, F. R., Fire, K. M., & Biberdorf, D. The effect of moderate levels of simulated altitude on sustained cognitive performace. *Int.J.Aviat.Psychol.* (1999). 9, 351-359.
- 158.** Stuss, D. T., Peterkin, D. A., Guzman, D. A., Guzman, C., & Troyer, A. K. Chronic obstructive pulmonary disease: Effects of hypoxia on neurological and neuropsychological measures. *J. Clin Exp. Neuropsychol.* (1997). 19, 515-524.
- 159.** Gathercole, S. E., Baddeley, A. D. eds. *Working memory and language.* Hove (UK):Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. (1993).
- 160.** Nelson, M. Psychological testing at high altitude. *Aviat.Space Environ.Med.* (1982). 53, 122-126.
- 161.** Regard, M., Oelz, O., Brugger, & Landis, T. Persistent cognitive impairment in climbers after repeated exposure to extreme altitude. *Neurology* (1989). 39, 210-213.
- 162.** Prigatano, G. P., Parson, O., Wright, E., Levin, D. C., & Hawryluk, D. Neuropsychological test performance in mildly hipoxemix patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J. Consult. Clin. Psychol.* (1983). 51, 108-116.
- 163.** Bedard, M., Montplaisir, J., Richer, F., Rouleau, I., & Malo, J. Obstructive sleep apnea syndrome: Pathogenesis of neuropsychological deficits. *J. Clin Exp. Neuropsychol.* (1991). 13, 950-964.
- 164.** Hornbein, T. F., Schoene, R. B. eds. *High ALtitude: An exploration of human adaptation.* New York:Marcel Dekker. (2001).

165. Evans, W., Wit, N. F. The inetraction of high altitude and psychotropic drug action. *Psychopharmacologia* (1966). 10, 184-188.
166. Berry, D., McConnel, J. W., Phillips, B. A., Carswell, C. M., Lamb, D. G., & Prine, B. C. Isocapnic hypoxemia and neuropsychological functioning. *J. Clin Exp. Neuropsychol.* (1989). 11, 241-251.
167. Stivalet, P., Leiffen, D., Poquin, D., Savourey, G., Launay, J., & Barraud, P. A. Positive expiratory pressure as a method for preventing the impairment of attentional processes by hypoxia. *Ergonomics* (2000). 43, 474-485.
168. Kobrick, J. L., Appleton, B. Effects of extended hypoxia on visual performance and retinal vascular state. *J.Appl.Physiol.* (1971). 31, 357-362.
169. Kobrick, J. L., Zwick, H., Wit, C. E., & Devine, J. A. Effects of extended hypoxia on night vision. *Aviat.Space Environ.Med.* (1984). 55, 191-195.
170. Richalet, J. P., Duval-Arnould, G., Darnaud, B., Keromes, A., & Rutgers, V. Modification of colour vision in green-red axis in acute and chrionic hypoxia explored with portable analoscop. *Aviat.Space Environ.Med.* (1988). 59, 620-623.
171. Bouquet, C., Gardette, B., Gortan, C., Therme, P., & Abraini.J.H. Color discrimination under chronic hypoxia conditions (simulated climb "everest-comex 97"). *Percept. Mot. Skills.* (2000). 90, 169-179.
172. Leid, J. I. C.,J.M. Color vision at very high altitude. *Color Res. Appl* (2001). 26, 281-283.
173. Beck, S. L., Schwartz, A. L., Towsley, G., Dudley, W., & Barsevick, A. Psychometric evaluation of the pittsburgh sleep quality index in cancer patients. *J.Pain Symptom Manage.* (2004). 27, 140-148.
174. Stein, M. B., Chartier, M., & Walker, J. R. Sleep in nondepressed patients with panic disorder: I. systematic assessment of subjective sleep quality and sleep disturbance. *Sleep* (1993). 16, 724-726.
175. Singh, N. A., Clements, K. M., & Fiatarone, M. A. A randomized controlled trial of the effect of exercise on sleep. *Sleep* (1997). 20, 95-101.
176. Reynolds, C. F. 3. Which elderly patients with remitted depression remain well with continued interpersonal psychotherapy after discontinuation of antidepressant medication? *Am.J.Psychiatry* (1997). 154, 958-962.
177. Szelenberger, W., Niemcewicz, S. Severity of insomnia correlates with cognitive impairment. *Acta Neurobiol.Exp.* (2000). 60, 373-373.

- 178.** Lazaratou, H., Dikeos, D. G., Anagnostopoulos, D. C., Sbokou, O., & Soldatos, C. R. Sleep problems in adolescence. A study of senior high school students in greece. *Eur.Child Adolesc.Psychiatry* (2005). 14, 237-243.
- 179.** Nierenberg, A. A., Adler, L. A., Peselow, E., Zornberg, G., & Rosenthal, M. Trazodone for antidepressant-associated insomnia. *Am.J.Psychiatry* (1994). 151, 1069-1072.
- 180.** King, A. C., Oman, R. F., Brassington, G. S., Bliwise, D. L., & Haskell, W. L. Moderate-intensity exercise and self-rated quality of sleep in older adults. A randomized controlled trial. *JAMA* (1997). 277, 32-37.
- 181.** Littner, M., Kushida, C. A., McDowell Anderson, W., Bailey, D., Berry, R. B., Davila, D. G., Hirshkowitz, M., Kapen, S., Kramer, M., Loubé, D., Wise, M., & Johnson, S. F. Practice parameters for the role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms: An update for 2002. *Sleep* (2003). 26, 337-341.
- 182.** Ancoli-Israel, S., Cole, R., Alessi, C., Chambers, M., Moorcroft, W., & Pollak, C. P. The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep* (2003). 26, 342-392.
- 183.** Bonnet, M. H., Arand, D. L. Insomnia-nocturnal sleep disruption-daytime fatigue. the consequences of a week of insomnia. *Sleep* (1996). 19, 453-461.

## **10. Dodatek**

### ***10.1 Załączniki***

**Załącznik 1. Próba uczenia się 10 słów – wersja 1.**

### Załącznik 1. Próba uczenia się 10 słów – wersja 1.

Nazwisko i imię.....Data badania..... Badanie: Pierwszy raz, drugi raz, trzeci raz (podkreśl właściwe) Miejsce badania.....

**Instrukcja dla badanego:** Przeczytam teraz listę wyrazów. Proszę uważnie posłuchać, bo kiedy skończę wymieni Pan(i) tyle z tych wyrazów, ile może Pan (i) zapamiętać. Nie ma znaczenia w jakiej kolejności je Pan(i) powtórzy. Proszę po prostu spróbować zapamiętać tak dużo jak Pan(i) może.

**Po 1 próbie:** Teraz przeczytam powtórnie tę samą listę wyrazów, a potem ją powtórzę. Kiedy skończę czytać proszę wymienić wszystkie słowa, które może sobie Pan(i) przypomnieć włącznie ze słowami, które wymienił(a) Pan(i) za pierwszym razem. Nie ma znaczenia w jakiej kolejności je Pan(i) wymieni. Proszę po prostu wymienić wszystkie słowa z listy, jakie Pan(i) zapamiętał(a), niezależnie od tego, czy powiedział(a) je Pan(i) poprzednio.

**Po 10 min.** Proszę wymienić jak najwięcej słów z listy, którą Pan(i) niedawno zapamiętywała.

BADAJĄCY - proszę czytać w tempie 1 słowo na sekundę. Po 4 próbie WŁĄCZYĆ STOPER i po 10 min. wykonać próbę odroczonego przypominania.

W tabelce wpisz PLUSY PRZY SŁOWACH odtworzonych

Tu zapisz słowa, które mówił badany w kolejnych seriach. JEŚLI WYSTĄPIŁY słowa spoza listy (KONFABULECJE) zapisz je też i OTOCZ RAMKĄ.

Seria: 1

2

3

WŁĄCZ STOPER  
4 po 10min.

LISTA 1	1	2	3	4	po 10 min
1 aktor					
2 notes					
3 poseł					
4 jajko					
5 motyl					
6 hotel					
7 flaga					
8 ekran					
9 bilet					
10 kubek					
SUMA					
Konfabulacje					
SUMA 1-4			Suma konfabulacji 1-5		

--	--	--	--

Załącznik 2. Próba interferencji poznawczej Stroop'a – arkusz dla badanego – wersja 1.

czarny	niebieski	żółty	czzerwony	zielony
niebieski	czzerwony	zielony	żółty	czzerwony
czarny	żółty	zielony	niebieski	czzerwony
niebieski	żółty	zielony	żółty	zielony
czarny	czzerwony	niebieski	zielony	czzerwony
niebieski	żółty	zielony	niebieski	żółty
czarny	zielony	czzerwony	niebieski	zielony
żółty	czzerwony	niebieski	zielony	żółty
czarny	niebieski	zielony	czzerwony	żółty
zielony	żółty	czzerwony	niebieski	czzerwony
czarny	niebieski	zielony	żółty	czzerwony
żółty	czzerwony	niebieski	zielony	czzerwony
czarny	niebieski	żółty	niebieski	czzerwony
żółty	zielony	żółty	zielony	czzerwony
niebieski				

### Załącznik 3. Próba interferencji poznawczej Stroop'a – arkusz dla badającego –wersja 1

Nazwisko i imię ..... Data badania:..... Badanie : Pierwszy raz, drugi raz, trzeci raz (podkreśl właściwe)  
 Instrukcja dla badanego: Proszę podawać jaki kolor ma czcionka w każdym kolejnym wyrazie na karcie. Proszę pamiętać, że wyrazy na karcie nie zawsze będą właściwą nazwą koloru czcionki. Proszę starać się zrobić to od razu dobrze, samodzielne poprawki błędnych odpowiedzi nie są już zaliczane.

BADAJĄCY – przy pierwszym przeczytaniem wyrazie WŁĄCZYĆ STOPER, przy ostatnim WYŁĄCZYĆ STOPER

Badający ma przekreślić błędnie zidentyfikowane przez badanego kolory. Proszę sprawdzać w miarę jak badany czyta. Samodzielne poprawki badanego, który wcześniej podał całe słowo błędnie nie są zaliczane jako poprawne odczytanie – należy przeczytać dobrze od razu, inaczej traktujemy to jako błąd)

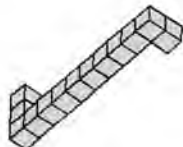


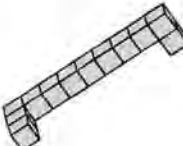
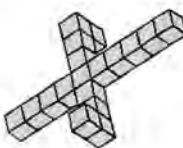
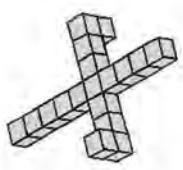
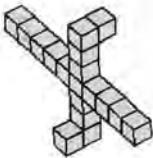
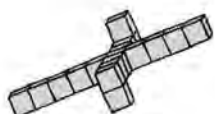
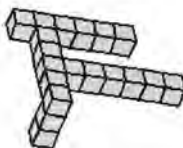
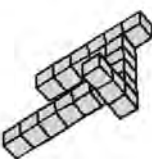
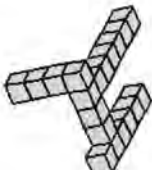


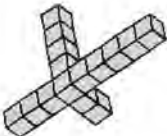
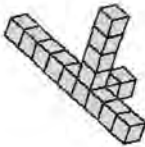
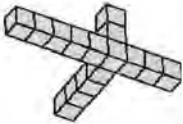
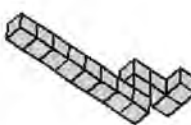
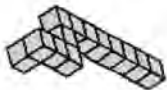

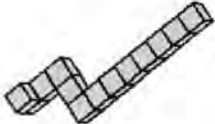
ZATRZYMAJ STOPER – ZANOTUJ CZAS:

Czas:		liczba błędów:	
-------	--	----------------	--

czarny	Nniebieski	z/żółty	C/czerwony	z/zielony	Nniebieski	C/czerwony	z/zielony	z/żółty	C/czerwony	
czarny	z/żółty	z/zielony	Nniebieski	C/czerwony	Nniebieski	z/żółty	z/zielony	z/żółty	z/zielony	
czarny	C/żółty	Nniebieski	z/zielony	C/czerwony	Nniebieski	z/czerwony	z/zielony	Nniebieski	z/żółty	
czarny	z/zielony	C/żółty	Nniebieski	z/czerwony	z/żółty	C/czerwony	Nzielony	z/czerwony	z/niebieski	
czarny	N/czerwony	z/żółty	C/niebieski	z/zielony	z/niebieski	z/czerwony	C/zielony	N/żółty	C/zielony	
czarny	N/żółty	z/niebieski	z/żółty	C/czerwony	z/niebieski	C/czerwony	Nzielony	z/czerwony	C/żółty	
czarny	Nzielony	z/niebieski	N/żółty	C/zielony	z/czerwony	z/niebieski	z/czerwony	z/niebieski	C/zielony	N/żółty

**Załącznik 4. Próba funkcji przestrzennych – arkusz dla badanego - fragment wersji 1.**

**ZESTAW 1.** Wiek:..... płeć: M / K Liczba lat nauki szkolnej..... CZAS:.....Liczba błędów:.....

1				
2				
3				
4				
5				

**Załącznik 5. Próba planowania opracowana na podstawie Tower of Toronto – arkusz dla badanego – wersja 1.**

**ZESTAW 1**

1      2      3  
Pozycja startowa

1      2      3  
Pozycja końcowa

**OBOWIĄZUJĄ DWIE ZASADY:**

- 1. Za jednym razem można przelożyć tylko jeden krążek.**
- 2. Nigdy nie należy umieszczać ciemniejszego krążka na jaśniejszym.**

---

To jest układanka, chciałbym, abyś spróbował ją ułożyć. Chodzi o to, aby przelożyć krążki ze stosu, na którym teraz leżą, na inny - tak jak jest to pokazane na rysunkach. Możesz w trakcie rozwiązywania układanki położyć krążek na dowolny z trzech kółków. W tej układance obowiązują dwie zasady:

1. Za jednym razem można przelożyć tylko jeden krążek.
2. Nigdy nie należy umieszczać ciemniejszego krążka na jaśniejszym.

*[pokazać tablicę z zasadami]*

Np. czerwony nigdy nie może być położony na żółtym, czarny na czerwonym, lub na żółtym. Na początku zaczniemy używając tylko trzech krążków: żółtego, czerwonego i czarnego. *[Zdejmujemy biały, górny klocek]*. Pamiętaj o powyższych dwóch zasadach, planuj z wyprzedzeniem i nie spiesz się.

Pamiętaj też, że twój wynik zależy od jak najmniejszej liczby ruchów a nie od czasu wykonania.

Instrukcja do układanki Tower of Toronto dla czterech krążków

Teraz masz przed sobą tę samą układankę, ale na szczyt stosu dodam jeszcze jeden, biały

**Załącznik 6. Skala Ostrej Choroby Górskiej Lake Louise - Lake Louise Acute Mountain Sickness Score (Skala AMS).**

- I. Ból głowy
  - 0. brak
  - 1. lekki
  - 2. średni
  - 3. ciężki, nie do zniesienia
- II. Objawy żołądkowo - jelitowe
  - 0. dobry apetyt
  - 1. słaby apetyt lub nudności
  - 2. średnie uczucie nudności lub wymioty
  - 3. ciężkie osłabiające wymioty
- III. Zmęczenie / osłabienie
  - 0. brak zmęczenia / osłabienia
  - 1. lekkie
  - 2. średnie
  - 3. ciężkie, całkowite opadnięcie z sił
- IV. Zawroty głowy
  - 0. brak
  - 1. lekkie
  - 2. średnie
  - 3. ciężkie, nie do zniesienia
- V. Kłopoty ze snem
  - 0. śpię dobrze, jak zwykle
  - 1. nie śpię dobrze
  - 2. wiele razy się budzę, słaby sen
  - 3. nie śpię w ogóle

### Załącznik 7. Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI).

Instrukcja: Pytania zawarte w kwestionariuszu dotyczą Twoich nawyków związanych ze snem w okresie ostatniego tygodnia. Za każdym razem proszę wybrać odpowiedź, która najlepiej opisuje Twój sen podczas większości dni i nocy w ciągu ostatniego tygodnia. Proszę odpowiedzieć na wszystkie pytania.

W okresie ostatniego tygodnia

1. O której godzinie kładł(a)ś się zazwyczaj spać? \_\_\_\_\_
2. Ile czasu zajmowało Tobie zaśnięcie każdej nocy? \_\_\_\_\_
3. O której godzinie zazwyczaj wstawał(a)ś rano? \_\_\_\_\_
4. Ile godzin rzeczywiście spał(a)ś tej nocy? (liczba godzin snu może być różna od liczby godzin spędzonych w łóżku)

5. Jak często w ciągu ostatniego tygodnia miał(a)ś problem ze snem ponieważ...	podczas ostatniego tygodnia w ogóle się to nie zdarzało (0)	zdarzało się to raz w tygodniu (1)	dwa razy w tygodniu (2)	trzy lub więcej razy w tygodniu (3)
a. nie mogł(a)ś zasnąć w ciągu 30 min				
b. budził(a)ś się w środku nocy lub wcześniej rano				
c. musiał(a)ś wstawać, aby załatwić potrzeby fizjologiczne				
d. nie mogł(a)ś swobodnie oddychać				
e. kaszlał(a)ś lub chrapał(a)ś głośno				
f. było Ci za zimno				
g. było Ci za gorąco				
h. miał(a)ś koszmary/złe sny				
i. bolało Cię coś				
j. Jeśli powody były inne, to proszę je opisać i określić częstotliwość tych problemów:				
6. Jak często w ciągu ostatniego tygodnia zażywał(a)ś leki nasenne (na receptę lub bez recepty)?				
7. Jak często w ciągu ostatniego tygodnia musiał(a)ś się starać, aby nie zasnąć podczas spożywania posiłków, uczestniczenia w spotkaniach?				
8. Jak często w ciągu ostatniego tygodnia zdarzało się, że Twoje zaangażowanie malało w miarę wykonywania różnych czynności?				

	bardzo dobra (0)	raczej dobra (1)	raczej zła (2)	bardzo zła (3)
9. Jak ocenił(a)byś jakość Twojego snu w okresie ostatniego tygodnia?				

**Obliczanie wartości skali PSQI.**

Komponent PSQI	Obliczenie wartości komponentu
Komponent 1 (C1) - Subiektywna jakość snu	Odpowiedź na pyt. 9
Komponent 2 (C2) - Zасыpianie	Do odpowiedzi na pyt. 2 : 0 – jeżeli wynik $\leq$ 15 minut 1 – jeżeli wynik między 16 – 30 minut 2 – jeżeli wynik między 31 – 60 minut 3 – jeżeli wynik $>$ 60 minut Dodajemy odpowiedź na pytanie 5a. 0 – jeżeli suma = 0 1 – jeżeli suma = 1 lub 2 2 – jeżeli suma = 3 lub 4 3 – jeżeli suma = 5 lub 6
Komponent 3 (C3) - Długość trwania snu	Odpowiedź na pytanie 4: 0 – jeżeli $>$ 7 godzin 1 – jeżeli między $\geq$ 6 a 7 godzin 2 – jeżeli między $\geq$ 5 – 6 godzin 3 – jeżeli $<$ 5 godzin
Komponent 4 (C4) - Efektywność snu	(Odpowiedź na pytanie 4 – całkowita ilość godzin snu) / (całkowitą liczbę godzin spędzonych w łóżku – odpowiedź na pytanie 1 i 3) x 100 0 – jeżeli wynik $>$ 85% 1 – jeżeli wynik między 75% a 84% 2 – jeżeli wynik między 65% a 74% 3 – jeżeli wynik $<$ 65%
Komponent 5 (C5) - Zaburzenia snu	Suma wyników z odpowiedzi od 5b do 5j 0 – jeżeli suma = 0 1 – jeżeli suma jest między 1 a 9 2 – jeżeli suma jest między 10 a 18 3 – jeżeli suma jest między 19 a 27
Komponent 6 (C6) - Używanie leków nasennych	Odpowiedź na pytanie 6
Komponent 7 (C7) - Zaburzenia funkcjonowania podczas dnia	Suma odpowiedzi na pytanie 7 i 8 0 – jeżeli suma = 0 1 – jeżeli suma = 1 lub 2 2 – jeżeli suma = 3 lub 4 3 – jeżeli suma = 5 lub 6
Całkowita wartość skali PSQI	Suma wyników wszystkich siedmiu komponentów

## **Załącznik 8. Ateńska Skala Bezsenności - Athens Insomnia Scale (AIS-8).**

Instrukcja: Czy w ciągu co najmniej trzech dni w ostatnim tygodniu występowały takie objawy jak:

Proszę o zaznaczenie podkreśleniem po jednej cyfrze w odpowiedzi na każde pytanie.

1. Zасыpianie
  0. szybkie
  1. nieznacznie opóznione
  2. opóznione
  3. bardzo opóznione lub problem z zaśnięciem w ogóle
2. Budzenie się w ciągu nocy
  0. nie występowało
  1. sporadycznie
  2. często
  3. bardzo często lub bezsenność przez całą noc
3. Obudzenie się rano w odniesieniu do zamierzonej godziny przebudzenia
  0. o zamierzonej godzinie
  1. nieznacznie wcześniej
  2. znacznie wcześniej
  3. dużo wcześniej lub bezsenność przez całą noc
4. Całkowity czas snu
  0. wystarczający
  1. prawie dostateczny
  2. wyraźnie niewystarczający
  3. całkowicie niewystarczający
5. Jakość snu
  0. satysfakcjonująca
  1. nieznacznie niesatysfakcjonująca
  2. znacznie niesatysfakcjonująca
  3. całkowicie niesatysfakcjonująca
6. Samopoczucie następnego dnia
  0. dobre
  1. dość dobre
  2. raczej złe
  3. złe
7. Funkcjonowanie (fizyczne i psychiczne) podczas następnego dnia
  0. niezaburzone
  1. lekko zaburzone
  2. wyraźnie zaburzone
  3. całkowicie zaburzone
8. Senność w ciągu dnia
  0. nie zdarzają się
  1. czasami
  2. często
  3. bardzo często

## **10.2 Spis tabel**

<b>Tabela 1.</b> Porównanie wartości antropometrycznych przed i po okresie przewlekłej hipoksji hipobarycznej.	43
<b>Tabela 2.</b> Porównanie wartości MPVO <sub>2</sub> max , wskaźników charakteryzujących czynność układu krążenia i oddechowego podczas wysiłku fizycznego o maksymalnej intensywności oraz (AT), przed i po okresie przewlekłej hipoksji hipobarycznej.	48
<b>Tabela 3.</b> Zmiany wartości wskaźników mechanicznych charakteryzujących wysiłek fizyczny o supramaksymalnej intensywności – WAnT, przed i po okresie przewlekłej hipoksji hipobarycznej.	52
<b>Tabela 4.</b> Porównanie wyników badań krwi przed i po okresie przewlekłej hipoksji hipobarycznej.	55
<b>Tabela 5.</b> Porównanie wyników testów funkcji poznawczych grupy klinicznej uzyskanych podczas badania 1 na poziomie 0m n.p.m. i badania 2 na 4000m n.p.m.	66
<b>Tabela 6.</b> Porównanie wyników testów funkcji poznawczych grupy kontrolnej uzyskanych podczas badania 1 oraz 2 na poziomie 0m n.p.m.	68
<b>Tabela 7.</b> Porównanie delt wyników testów funkcji poznawczych grupy klinicznej i kontrolnej uzyskanych w badaniu 1 i badaniu 2.	70
<b>Tabela 8.</b> Porównanie wyników testów funkcji poznawczych grupy klinicznej uzyskanych podczas badania 2 na poziomie 4000m i badania 3 na 6000m n.p.m.	72
<b>Tabela 9.</b> Porównanie wyników testów funkcji poznawczych grupy kontrolnej uzyskanych podczas badania 2 oraz 3 na poziomie 0m n.p.m.	74
<b>Tabela 10.</b> Porównanie delt wyników testów funkcji poznawczych grupy klinicznej i kontrolnej uzyskanych w badaniu 2 i badaniu 3.	76
<b>Tabela 11.</b> Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 1.	80
<b>Tabela 12.</b> Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 2.	82
<b>Tabela 13.</b> Porównanie wyników uzyskanych przez obie grupy podczas badania 3.	84
<b>Tabela 14.</b> Analiza rzetelności skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) w warunkach wysokogórskich.	86

<b>Tabela 15.</b> Analiza rzetelności Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) w warunkach wysokogórskich.	87
<b>Tabela 16.</b> Korelacje między komponentami skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) w warunkach wysokogórskich.	88
<b>Tabela 17.</b> Korelacje między podskalami Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) w warunkach wysokogórskich.	88
<b>Tabela 18.</b> Korelacje między komponentami Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) i podskalami Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) w warunkach wysokogórskich.	90
<b>Tabela 19.</b> Wyniki skali Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) uzyskane na poziomie morza oraz w warunkach wysokogórskich.	92
<b>Tabela 20.</b> Wyniki pozycji testowych komponenty Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) zaburzenia snu (C5) na poziomie morza oraz w warunkach wysokogórskich.	94
<b>Tabela 21.</b> Wyniki podskali Ateńskiej Skali Bezsenności (AIS) uzyskane na poziomie morza oraz w warunkach wysokogórskich.	96

### 10.3 Spis rycin

<b>Rycina 1.</b> Zależność zmian PB , PIO <sub>2</sub> oraz SaO <sub>2</sub> od wysokości nad poziom morza.	14
<b>Rycina 2.</b> Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na FAT[%].	44
<b>Rycina 3.</b> Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na FAT[kg].	44
<b>Rycina 4.</b> Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na VTmax [L].	49
<b>Rycina 5.</b> Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na AT-VO <sub>2</sub> .	50
<b>Rycina 6.</b> Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na PPWanT [W·kg <sup>-1</sup> ].	53
<b>Rycina 7.</b> Wpływ przewlekłej hipoksji hipobarycznej na Wtot [J·kg <sup>-1</sup> ].	53
<b>Rycina 8.</b> Zależność między masą ciała d <sub>BW</sub> [kg] a średnią wysokością pobytu n.p.m., (r=0,63; p=0.049).	56
<b>Rycina 9.</b> Zależność między procentem jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji d%_PPWanT[W] a średnią wysokością pobytu n.p.m., (r=0,77; p=0.042).	57
<b>Rycina 10.</b> Zależność między procentem jaki stanowi zmiana masy tłuszczowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji d_%FAT[kg] a wartością powierzchni ciała BSA[m <sup>2</sup> ] sprzed okresu hipoksji, (r=0,66; p=0,037).	58
<b>Rycina 11.</b> Zależność między procentem jaki stanowi zmiana masy tłuszczowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji d_%FAT[kg] a poziomem VO <sub>2</sub> max [mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ] sprzed okresu hipoksji, (r=0,68; p=0,03).	59
<b>Rycina 12.</b> Zależność między (d <sub>AT-VO<sub>2</sub></sub> ) - zmianą AT wyrażoną poziomem VO <sub>2</sub> w [mL O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ] a wartością AT [mL O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ] sprzed okresu hipoksji, (r=0,77; p=0,0095).	60
<b>Rycina 13.</b> Zależność między (d%_AT-VO <sub>2</sub> ) - procentem jaki stanowi zmiana progu anaerobowego wyrażonego poziomem VO <sub>2</sub> w [mL O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ] w stosunku do wartości AT-VO <sub>2</sub> przed wyprawą a wartością AT-VO <sub>2</sub> [mL O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ] sprzed okresu hipoksji, (r=0,67; p=0,03).	61
<b>Rycina 14.</b> Zależność między zmianą progu anaerobowego mierzonego poziomem VO <sub>2</sub> w [mL O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ] (d <sub>AT-VO<sub>2</sub></sub> ) a wartością wskaźnika spadku mocy beztlenowej (WSM) w [%] sprzed okresu hipoksji, (p=0,015; r=-0,85).	61
<b>Rycina 15.</b> Zależność procentu jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji d%_PPWanT[W·kg <sup>-1</sup> ] a maksymalną mocą tlenową przed okresem hipoksji MP <sub>VO<sub>2</sub>max</sub> [W]. r=-0,83; p=0,02.	62

- Rycina 16.** Zależność procentu jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji  $d\%_{PPWanT}$  [ $W \cdot kg^{-1}$ ] a wartością maksymalnego zużycia tlenu sprzed okresu hipoksji  $VO_{2max}$  [ $L \cdot min^{-1}$ ].  $r=-0,81$ ;  $p=0,03$ . 63
- Rycina 17.** Zależność procentu jaki stanowi zmiana maksymalnej mocy beztlenowej w stosunku do wartości sprzed hipoksji  $d\%_{PPWanT}$  [ $W \cdot kg^{-1}$ ] a wartością progu przemian anaerobowych sprzed okresu hipoksji  $AT-VE$  [ $L \cdot min^{-1}$ ],  $r=-0,79$ ;  $p=0,03$ . 64
- Rycina 18.** Zależność zmiany liczby słów odtworzonych w I próbie w badaniu 1 i 2 ( $\Delta_{1.1}$ ) a średnią wysokością pobytu do dnia badania 2.  $r=0,8$ ;  $p=0,03$ . 77
- Rycina 19.** Zależność sumy ruchów w próbach z 4 klockami w badaniu 2 (suma ruchów<sub>4.3</sub>) od długości pobytu na wysokości do badania 2. ( $r=0,69$ ;  $p=0,001$ ). 78

#### **10.4 Spis załączników**

- Załącznik 1.** Próba uczenia się 10 słów – wersja 1. 136
- Załącznik 2.** Próba interferencji poznawczej Stroop’a – arkusz dla badanego – w.1. 137
- Załącznik 3.** Próba interferencji poznawczej Stroop’a. Arkusz dla badającego – w.1 138
- Załącznik 4.** Próba funkcji przestrzennych – arkusz dla badanego – fragment wersji 1. 139
- Załącznik 5.** Próba planowania opracowana na podstawie Tower of Toronto – arkusz dla badanego – wersja 1. 140
- Załącznik 6.** Skala Ostrej Choroby Górskiej Lake Louise - Lake Louise Acute Mountain Sickness Score (Skala AMS). 141
- Załącznik 7.** Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI). 142
- Załącznik 8.** Ateńska Skala Bezsenności - Athens Insomnia Scale (AIS-8). 144

#### **10.5 Spis fotografii**

- Fotografia 1.** Mount Everest 8848m n.p.m., Tybet 12
- Fotografia 2.** Chan Tengri 7010m n.p.m., Kirgistan. 24
- Fotografia 3.** Pomiar wydolności tlenowej – test do odmowy. 40
- Fotografia 4.** Pomiar wydolności beztlenowej - Wingate Anaerobie Test (WanT). 40
- Fotografia 5.** Próba planowania Tower of Toronto. Pik Lenina - obóz III 6400m 41
- Fotografia 6.** Próba rotacji umysłowej. Pik Lenina – obóz III – 6400m n.p.m. 41