

**Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach**

mgr Katarzyna Jakubik-Bińczak

**PARAMETRY WYSIŁKOWE PODCZAS TREKKINGU W GÓRACH
WYSOKICH A RYZYKO OSTREJ CHOROBY WYSOKOGÓRSKIEJ
WŚRÓD UCZESTNIKÓW PROJEKTU „POLSKIE HIMALAJE 2018”**

Autoreferat rozprawy doktorskiej

Recenzenci:

dr hab. Beata Pluta prof. AWF
prof. dr hab. Tadeusz Ambroży
dr hab. Krzysztof Kaganek prof. AWF

Promotor:

dr hab. Krzysztof Sas-Nowosielski
prof. nadzw.

Katowice 2023

Spis treści

Wykaz skrótów.....	2
Wstęp.....	4
1. Metodologia badań własnych.....	6
1.1. Cel pracy i pytania badawcze.....	6
1.2. Metody, techniki i narzędzia badawcze.....	7
1.2.1. Pomiary częstości i zmienności pracy serca.....	7
1.2.2. Pomiary fizjologiczne.....	7
1.2.3. Pomiary psychologiczne.....	7
1.2.4. Pomiary struktury aktywności fizycznej.....	8
1.3. Teren badań.....	9
1.4. Charakterystyka grupy badanej.....	9
1.5. Organizacja i przebieg badań.....	11
1.5.1. Badania laboratoryjne.....	13
1.5.2. Badania terenowe.....	14
1.6. Metody statystycznej analizy danych.....	15
2. Wyniki badań.....	17
2.1. Struktura obciążeń wysiłkowych w grupie badanej.....	17
2.2. Występowanie ostrej choroby górskiej podczas trekkingu w grupie badanej.....	29
2.2.1. Występowanie ostrej choroby górskiej a reakcje autonomicznego układu nerwowego w grupie badanej.....	33
2.3. Jakość snu uczestników trekkingu.....	36
2.4. Korelacje zmiennych porannych z testu ortostatycznego z SpO ₂ , wysokością n.p.m. i występowaniem AMS.....	38
2.5. Dane czasowo-przestrzenne poszczególnych etapów trekkingu.....	44
3. Podsumowanie i wnioski.....	48
3.1. Ograniczenia badań.....	48
Bibliografia.....	50

Wykaz skrótów:

- AMS** (ang. acute mountain sickness)- ostra choroba górską
- D-D-** Dingboche-Dingboche, piąty etap trekkingu, dzień aklimatyzacyjny
- D-L-** Dingboche-Lobuche, szósty etap trekkingu
- EBC** (ang. Everest Base Camp)- obóz bazowy pod Everestem
- GPS** (ang. global positioning system)- globalny system lokalizacyjny
- H-** hipoksja, laboratorium hipoksji
- HACE** (ang. High Altitude Cerebral Edema)- wysokogórski obrzęk mózgu
- HAPE** (ang. High Altitude Pulmonary Edema)- wysokogórski obrzęk płuc
- HF** (ang. high frequency)- wysoka częstotliwość
- hh:mm:ss** (ang. hours:minutes:seconds)- godziny, minuty, sekundy; format zapisywania czasów trwania poszczególnych etapów trekkingu
- HR** (ang. heart rate)- częstość skurczów serca na minutę
- HRLa-** średnia częstość skurczów serca na progu mleczanowym
- HRleż-** średnia częstość skurczów serca w spoczynku (leżąc)
- HRmax** (ang. maximum hart rate)- maksymalna częstość skurczów serca na minutę
- HRpeak-** najwyższe wartości częstości skurczów serca
- HRV-** zmienności rytmu serca
- HRst-** średnia częstość skurczów serca w stanie
- HRavg-** wartości średnie częstości skurczów serca
- La-** stężenie mleczanu
- LF** (ang. low frequency)- niska częstotliwość
- LLSS** (ang. Lake Louise Scoring System)- Kwestionariusz Oceny Lake Louise
- L-E-** Lobuche-Everest Base Camp, siódmy etap trekkingu
- LT2-** mleczan, próg mleczanowy/beztlenowy
- min-max-** wartości minimalne i maksymalne
- m n.p.m.-** metry nad poziomem morza
- N-** normoksja, laboratorium normoksji
- N-N-** Namche Bazaar-Namche Bazaar, drugi etap trekkingu, dzień aklimatyzacyjny
- N-T-** Namche Bazaar-Tengboche, trzeci etap trekkingu
- OO-** oddychanie okresowe
- PaO₂-** ciśnienie parcjalne tlenu
- P-N-** Phakding-Namche Bazaar, pierwszy etap trekkingu

PNS (ang. parasympathetic nervous system)- przywspółczulny układ nerwowy

RMSSD (ang. root mean square of successive differences)- pierwiastek kwadratowy ze średniej sumy kwadratów różnic między kolejnymi odstępami NN; wskaźnik zmienności krótkoterminowej

RPE- skala subiektywnej oceny ciężkości wykonywanej pracy

RR- odstęp czasu między kolejnymi falami R EKG

RRśr- średnie ciśnienie tętnicze

QRS- fragmentu zapisu elektrokardiograficznego

SpO₂ (ang. arterial oxygen saturation)- procentowe wysycenie hemoglobiny tlenem – saturacja krwi tętniczej

SD (ang. standard deviation)- odchylenie standardowe

SDNN (ang. standard deviation of NN)- standardowe odchylenie wszystkich odstępów NN, tj. pierwiastek kwadratowy z wariancji; całkowita zmienność rytmu zatokowego

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

SNS (ang. sympathetic nervous system)- współczulny układ nerwowy

T-D- Tengboche-Dingboche, czwarty etap trekkingu

TRIMP (ang. training impulse)- metoda ilościowego określania tlenowego obciążenia treningowego

UIAA (fr. Union Internationale des Associations d'Alpinisme)- Międzynarodowa Federacja Związków Alpinistycznych

VO₂ (ang. oxygen consumption)- zużycie tlenu

Wstęp

W dysertacji przedstawiona została tematyka wpływu wybranych czynników, związanych z przebywaniem w warunkach wysokogórskich, na organizm człowieka. Na podstawie wieloaspektowego monitoringu grup turystów przemierzających szlak pieszy do bazy pod Mount Everestem w Parku Narodowym Sagarmatha, w Himalajach Nepalu, poszukiwano odpowiedzi na pytania badawcze, związane ze strukturą aktywności fizycznej, reakcjami organizmu w obrębie układu krwionośnego oraz występowaniem objawów ostrej choroby górskiej.

W pierwszej części pracy przedstawiona została charakterystyka obszarów górskich jako miejsc destynacji turystycznej oraz zagrożenia zdrowotne związane z przebywaniem na dużej wysokości wraz z wpływem hipoksji na organizm człowieka. W dalszej części znalazło się uzasadnienie podjęcia tematu oraz założenia i cel pracy. Z uwagi na fakt, iż turystyka jako zjawisko złożone, cieszy się zainteresowaniem wielu dyscyplin naukowych, w metodologii badań uwzględniono zróżnicowanie na pomiary struktury aktywności fizycznej, częstości i zmienności pracy serca, pomiary biochemiczne, fizjologiczne i psychologiczne. W kolejnym rozdziale przybliżony został teren badań wraz z opisem trasy trekkingu oraz charakterystyka grupy badanej. Kolejny element pracy stanowi opis organizacji i przebiegu badań z rozgraniczeniem na pomiary w warunkach laboratoryjnych i terenowych. W dalszej części opisano zastosowane w pracy metody statystycznej analizy danych. W rozdziale trzecim przedstawiono i omówiono wyniki badań własnych, dotyczące kolejno struktury aktywności fizycznej w grupie badanej, analizy pracy serca, czasu aktywności oraz oceny postrzeganego wysiłku w grupie badanej, następnie dane dotyczące analizy snu w grupie badanej, korelacje zmiennych porannych z testu ortostatycznego z wybranymi zmiennymi oraz analiza występowania ostrej choroby górskiej w grupie badanej. Jako uzupełnienie tej części pracy, przedstawiono analizy danych czasowo-przestrzennych poszczególnych etapów trekkingu. Na końcu znalazły się dyskusja oraz podsumowanie i wnioski, weryfikujące postawione pytania badawcze.

Jako iż większość dotychczasowych doniesień naukowych, dotyczących przebywania i wysiłku fizycznego w warunkach wysokogórskich, dotyczy sportowców, profesjonalnie zajmujących się alpinizmem i pokrewnymi aktywnościami góorskimi, bądź też odnosi się do zmian zachodzących w organizmach stałych mieszkańców obszarów wysokogórskich, istotą tej pracy było przebadanie grupy przeciętnych turystów, dla których niedostępne niegdyś

tereny gór wysokich, dziś stanowią niezwykle atrakcyjny i coraz bardziej popularny obszar penetracji turystycznej.

1. Metodologia badań własnych

1.1. Cel pracy i pytania badawcze

Celem badań była szczegółowa analiza struktury aktywności fizycznej podczas uprawiania trekkingu górskiego w Parku Narodowym Sagarmatha w Himalajach Nepalu oraz porównanie reakcji organizmu człowieka w warunkach hipoksji normo i hipobarycznej. W efekcie miałyby to stanowić walor aplikacyjny badań i przyczynić się do dokładniejszej, bardziej praktycznej i zrozumiałej oceny występowania ostrej choroby górskiej (AMS).

Dla realizacji powyższych celów przeanalizowano dane zebrane wśród uczestników jednego z najpopularniejszych trekkingów wysokogórskich, przemierzających trasę do bazy pod Everestem. Szlak ten przebiega Doliną Khumbu i uważany jest za klasyczną i jedną z najciekawszych tras trekkingowych nie tylko Nepalu (Kurczab 2013), ale i na całym świecie. Jedną z najbardziej powszechnych opcji jest przylot do Lukli (2800 m n.p.m.) i kilkudniowy marsz do bazy pod Everestem (5400 m n.p.m.) oraz wejście na punkt widokowy Kala Pattar. Do pokonania dystansu ok. 45 km w jedną stronę potrzeba 7-8 dni ze względu na stopniową aklimatyzację uczestników. Analiza sygnału GPS, danych akcelerometrycznych, częstotliwości skurczów serca, obliczenia prędkości marszu, sumy podejść i zejść, czasu ruchu i spoczynku, umożliwi przedstawienie komplementarnej struktury aktywności fizycznej na całej trasie opisywanego trekkingu.

Osiągnięcie celów pracy związane było ze sformułowaniem oraz poszukiwaniem odpowiedzi na następujące **pytania badawcze**:

1. Jak kształtuje się struktura aktywności fizycznej (objętość i intensywność wyrażona w czasie trwania wysiłku niezbędnego do pokonania poszczególnych etapów, prędkości poruszania się, przebytych dystansie, wartościach średniej i szczytowej częstości skurczów serca) uczestników trekkingu do bazy pod Everestem?
2. Czy i jakie są różnice w reakcji układu krwionośnego (HR, HRV, SpO₂) w warunkach hipoksji normobarycznej w porównaniu do warunków wysokogórskich środowiska naturalnego?
3. Czy i w jakim stopniu poranne pomiary HR, HRV, SpO₂ oraz czas trwania i jakość snu prognozują występowanie symptomów ostrej choroby górskiej?

1.2. Metody, techniki i narzędzia badawcze

1.2.1. Pomiary częstości i zmienności pracy serca

Najczęściej stosowaną metodą kontroli intensywności wysiłku fizycznego jest pomiar częstości skurczów serca (HR). Ponadto ten wskaźnik fizjologiczny umożliwia wyznaczenie stref wysiłkowych dla poszczególnych osób (Czuba 2013). Oceny pracy serca i układu krążenia dokonano przy zastosowaniu monitorów pracy serca Polar V800 z nadajnikami Polar H7 umieszczanymi na klatce piersiowej badanych. W trakcie trekkingu określone były wartości średnie częstości skurczów serca (HR_{śr}) i najwyższe w danym wysiłku (HR_{peak}). Określono również wartości indywidualne dla każdej osoby, takie jak średnie HR podczas spoczynku leżąc (HR_{leż}) oraz stojąc (HR_{st}) w teście ortostatycznym, HR najniższe (HR_{min}), HR na progu mleczanowym (HRL_a) oraz wartości maksymalne (HR_{max}) w teście progresywnym. Do porównań międzyosobniczych wyliczono względne wartości HR z równania: $\%HRR = (HR - HR_{min}) / (HR_{max} - HR_{min}) \times 100$ (Karvonen 1957).

1.2.2. Pomiary fizjologiczne

Pomiarów saturacji hemoglobiny tlenem (SpO₂) dokonywano metodą pulsoksymetrii, która stanowi jedyną jak dotąd nieinwazyjną metodę monitorowania tego parametru (Cysewska-Sobusiak 2011). W pomiarach wykorzystuje się naturalne pulsacje tętnicze oraz selektywną absorpcję światła przez składniki krwi, a czujnik pomiarowy montuje się bezpośrednio na obiekcie, którym musi być dobrze ukrwiona warstwa tkanek, np. palec. W badaniach zastosowano model pulsoksymetru na palec dłoni PO-60 Beurer. Urządzenie to spełnia wymogi dyrektywy UE 93/42/EEC dotyczącej wyrobów medycznych, Ustawy o wyrobach medycznych oraz normy DIN EN ISO 80601-2-61 (Elektryczne urządzenia medyczne).

Zgodnie ze specyfikacją producenta pomiary dokonywane są przy wykorzystaniu światła czerwonego (długość fali 660 nm), podczerwieni (długość fali 905 nm) oraz krzemowej diody odbiorczej. W celu zapewnienia rzetelności odczytów, pomiary wykonywano zawsze o tej samej porze, w zbliżonej temperaturze otoczenia, w zamkniętym pomieszczeniu oraz u wszystkich badanych na tym samym palcu - wskazującym dominującej dłoni.

1.2.3. Pomiary psychologiczne

Do oceny objawów choroby górskiej zastosowano Skalę Ostrej Choroby Górskiej (AMS) - Lake Louise Acute Mountain Sickness Score (LLSS) dla osób dorosłych (załącznik

nr 1), opracowaną przez Komisję Medyczną Międzynarodowej Federacji Związków Alpinistycznych UIAA, przeznaczoną dla lekarzy, operatorów i uczestników wypraw trekkingowych i ekspedycji (Küpper i in. 2012, w adaptacji Uchowicza). Kwestionariusz ocenia stopień nasilenia objawów choroby (AMS), takich jak: ból głowy, zaburzenia żołądkowo-jelitowe, zmęczenie i/lub osłabienie, zawroty głowy/zaburzenia równowagi i zaburzenia snu. Każdy objaw oceniany był na 0-3 punktów (brak: 0, uniemożliwiający funkcjonowanie: 3, a w przypadku zaburzeń snu – sen niezaburzony: 0, bezsenność: 3). Kwestionariusz składał się z 5 pytań, na które osoba badana odpowiadała samodzielnie. Uzyskanie rezultatu ≥ 3 oznaczało ostrą chorobę górską (AMS), pod warunkiem, że jednym z zaznaczonych objawów był ból głowy i objawy te pojawiły się podczas przebywania w warunkach wysokogórskich (Roach, Bärtsch i in. 1993, Küpper 2012).

Do oceny postrzeganego wysiłku posłużono się skalą subiektywnej oceny ciężkości wykonywanej pracy (RPE) (Załącznik nr 2). Zakres skali obejmował punktację od 6 do 20, gdzie 6 oznaczało „bez wysiłku”, a 20 „maksymalny wysiłek”. Odczucie to powinno być zależne głównie od obciążenia i zmęczenia mięśni oraz trudności z oddychaniem. Osoby badane określały swoje odczucie ciężkości wysiłku najdokładniej jak to było możliwe, bez porównywania do innych osób (Coquart i in. 2014, Sharkey, Gaskill 2013).

1.2.4. Pomiary struktury aktywności fizycznej

W trakcie trekkingu na szlaku wykonywano pomiary GPS, a dodatkowo w miejscu noclegu pomiary aktywności z akcelerometru (Polar V800). Umożliwiło to określenie czasu spędzonego w pozycji leżącej i siedzącej oraz w niskiej (siedzenie), średniej (chodzenie) i wysokiej (szybki marsz, bieg) aktywności fizycznej. Akcelerometry są powszechnie akceptowanym, obiektywnym miernikiem aktywności fizycznej (Šilinė i in. 2016), wykorzystywanym w licznych badaniach innych autorów (Bouillod i in. 2015, Schäfer i in. 2017).

Uwzględnienie częstotliwości pracy serca badanych, intensywności i objętości wysiłku (lekki, umiarkowany, intensywny), umożliwiło przedstawienie struktury aktywności fizycznej na całej trasie trekkingowej.

Pomiary podczas trekkingu odbywały się w poszczególnych grupach, pokonujących trasę z Phakding (2610 m n.p.m.) do Everest Base Camp (5360 m n.p.m.). Pierwszym elementem była rejestracja parametrów HR i HRV oraz długości i jakości snu w nocy. Bezpośrednio po obudzeniu się, przeprowadzane były testy ortostatyczne (pomiar HR i HRV).

Następnie w godzinach porannych, przed podjęciem aktywności fizycznej, miały miejsce pomiary poziomu wysycenia krwi tlenem przy użyciu pulsoksymetru zakładanego na palec osoby badanej. Podczas każdego etapu trekkingu, monitorowane były częstość skurczów serca oraz droga przemieszczania się badanego (GPS). Pomiary te dokonane zostały przy użyciu w/w monitorów pracy serca Polar V800 z nadajnikami Polar H7.

1.3. Teren badań

Badania przeprowadzono w Himalajach Nepalu, będących najwyższym pasmem górskim na Ziemi. W północno-wschodniej części masywu znajduje się Park Narodowy Sagarmatha, który niemal w całości położony jest powyżej 3000 m n.p.m., a przełęcz górskie leżą średnio na wysokości 5000 m n.p.m., przekraczając najwyższe szczyty Alp (Kurczab 2013, Andrejczuk 2016).

Środkową osią komunikacyjną parku jest szlak prowadzący przez dolinę najwyższej położonej rzeki Dudh Kosi. Trasa ta należy do najbardziej uczęszczanych odcinków systemu komunikacyjnego w opisywanym parku narodowym (Drdoš i in. 1990). Tym samym szlak do bazy pod Everestem, leżącej również u stóp Lhotse (8516 m n.p.m.) i Nuptse (7861 m n.p.m.), wiodąca pomiędzy Luklą, Namche Bazaar i Gorak Shep jest jedną z najpopularniejszych wśród turystów wysokogórskich, co powoduje, że w szczycie sezonu jest zatłoczona. Nie występują na niej trudności techniczne, aczkolwiek powszechnie uznawana jest za długą i męczącą, ponieważ wznosi się na duże wysokości, do centralnego punktu najwyższego pasma górskiego na świecie. Dlatego też wymaga od turystów dobrej kondycji fizycznej i prawidłowej aklimatyzacji, a także odpowiednio dobranego ekwipunku.

Najpopularniejszym i zarazem najprostszym sposobem dostania się w rejon trekkingu jest przelot do Lukli, skąd zwyczajowo rozpoczyna się trekking, w większości przebiegający terenem Parku Narodowego Sagarmatha (Kurczab 2013). Trasa, którą mają do pokonania turyści rozciąga się na długości ok. 45 km, a łączna różnica wysokości wynosi ok. 2500 metrów.

1.4. Charakterystyka grupy badanej

Grupa badana składała się z 25 uczestników trekkingu do bazy pod Everestem, który zorganizowany został w ramach projektu „Polskie Himalaje 2018” w październiku 2018 roku. Wśród nich znalazło się 11 kobiet oraz 14 mężczyzn w wieku od 25 do 54 lat ($\bar{x}=41,9$, $SD=6,5$). Warunkiem włączenia do badań był dobry stan zdrowia i kondycji fizycznej (brak przeciwwskazań do podejmowania aktywności fizycznej, brak chorób przewlekłych,

zwłaszcza układu krążeniowo-oddechowego), potwierdzony przez zaświadczenie lekarskie oraz indywidualne konsultacje z lekarzem medycyny, na podstawie których kwalifikowano ochotników do udziału w projekcie. Kryterium włączenia stanowiła całkowicie dobrowolna chęć poddania się prezentowanym próbom, zarówno podczas badań laboratoryjnych, przed wyjazdem do Nepalu, jak i podczas trwania trekkingu.

U osób badanych przed wyjazdem na trekking, rejestrowano przy użyciu analizatora składu ciała InBody 570, zmienne somatyczne, które przedstawione zostały w tabelach poniżej, z uwzględnieniem dymorfizmu płciowego (Tab. 1.).

Tab. 1. Zmienne somatyczne w grupie badanej- kobiety (n=11) i mężczyźni (n=14)

		Średnia (\bar{x})	Mediana (med.)	Min-max	Odchylenie standardowe (SD)
Kobiety	Masa ciała (kg)	63,7	62,2	54,4-75,8	8,0
	Wysokość ciała (cm)	164,6	167,0	156,0-170,0	5,1
	% mięśni szkieletowych	25,9	25,6	23,0-30,8	2,4
	% tkanki tłuszczowej	25,5	25,2	14,8-35,5	6,5
Mężczyźni	Masa ciała (kg)	84,5	79,3	72,4-103,7	10,9
	Wysokość ciała (cm)	181,1	183,0	166,0-190,0	7,5
	% mięśni szkieletowych	38,6	37,6	34,9-45,1	3,5
	% tkanki tłuszczowej	19,0	18,9	13,8-24,3	4,0

W celu oceny wydolności układu krążenia przeprowadzono próbę laboratoryjną podczas testu progresywnego do odmowy na bieżni mechanicznej w warunkach normoksji, co pozwoliło określić maksymalne wartości skurczów serca na minutę (HRmax), szczytowy minutowy pobór tlenu (VO_2 peak) (Tab. 2) oraz stężenie mleczanu (LT2).

Tab. 2. Zmienne dot. wydolności układu krążenia w grupie badanej- kobiety (n=11) i mężczyźni (n=14)

		Średnia (\bar{x})	Mediana (med.)	Min-max	Odchylenie standardowe (SD)
Kobiety	HRmax (ud/min)	184	186	170-198	8,5
	VO ₂ peak (ml/kg/min)	38,7	39,2	27,8-44	5,4
Mężczyźni	HRmax (ud/min)	182	182,5	173-189	4,7
	VO ₂ peak (ml/kg/min)	43,9	43,0	35,2-55,0	5,9

W wywiadach przeprowadzonych przed wyjazdem na trekking ponad połowa (56%) osób z grupy badanej deklarowała posiadanie doświadczenia górskiego.

Wszyscy uczestnicy badań zgłosili się do nich dobrowolnie oraz wyrazili na nie pisemną zgodę.

Projekt badań został uprzednio pozytywnie zaopiniowany przez Uczelnianą Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach (Uchwała Nr 5/2018 z dnia 15 listopada 2018 roku w.s. opinii o projekcie eksperymentu medycznego) (Załącznik nr 4).

1.5. Organizacja i przebieg badań

Badanie odbywało się w trzech etapach. Pierwszym etapem było poznanie stanu wyjściowego uczestników wyjazdu trekkingowego (wydolność fizyczna, reakcja na hipoksję w warunkach laboratoryjnych, przygotowanie kondycyjne do wyjazdu, cechy demograficzne). Drugi etap realizowany był w trakcie samego trekkingu i obejmował analizę zachowania i reakcji organizmu (przebieg reakcji adaptacyjnej do dużej wysokości, wysiłku fizycznego i zmiennych warunków atmosferycznych). W trzecim etapie uzyskane dane poddano analizom w celu poszukiwania związków pomiędzy danymi zebranymi podczas badań laboratoryjnych oraz w trakcie trekkingu.

Pomiary wyjściowe obejmowały badania laboratoryjne oraz indywidualne pomiary w miejscu zamieszkania osób badanych, w celu określenia wartości bazowych przed wyjazdem. Głównym celem badań laboratoryjnych było porównanie reakcji organizmu w stanie spoczynku i podczas wysiłku w warunkach hipoksji normobarycznej z wartościami

uzyskanymi w normoksji. Ta indywidualnie określona odpowiedź na hipoksję może w pewnym stopniu umożliwić prognozowanie zachowania organizmu w procesie aklimatyzacji w warunkach naturalnych, podczas przebywania na dużej wysokości. Umożliwia to wcześniejszą diagnozę predyspozycji uczestników wypraw trekkingowych do aklimatyzacji, już na etapie przygotowań do wyjazdu w wysokie góry. Ocena wydolności tlenowej w laboratorium stanowiła podstawowe narzędzie do uzyskania informacji na temat stanu kondycji w aktywnościach wytrzymałościowych, do których zaliczany jest trekking. Pomiar poboru tlenu, mleczanu, wentylacji, częstości i zmienności pracy serca w teście progresywnym na bieżni mechanicznej umożliwił określenie indywidualnych wartości maksymalnych oraz na progach mleczanowym i wentylacyjnym w grupie badanej.

Pomiar HR i HRV w teście ortostatycznym wykorzystany został do obserwacji reakcji organizmu na obniżenie ciśnienia parcjalnego tlenu w powietrzu, rozwoju ostrej choroby górskiej (AMS) i zmęczenia. We wcześniejszych badaniach wykazano powiązanie podwyższonej aktywności układu współczulnego (z HRV) z symptomami AMS, ale sugeruje się pomiary na większej próbie (n=10 w: Schultz i in. 2014) lub na wyższych wysokościach, przekraczających 3500 m n.p.m. (wysokość do 3440 m n.p.m. w: Huang i in. 2010). Zaletą przeprowadzonych pomiarów była prostota wykonywania ich przez samych uczestników badań (Polar V800), a jednocześnie pomiary te stanowią dodatkowy wskaźnik oceny stanu zdrowia zarówno dla uczestników trekkingu jak i przewodników czy liderów grup turystycznych.

W badaniach Bian i in. (2015) spośród wielu zmiennych fizjologicznych, psychologicznych i demograficznych wyróżniono pięć głównych komponentów (czynników ryzyka) AMS: wiek, częstość skurczów serca (HR), prędkość przepływu krwi rozkurczowej (Vd) i jakość snu. Dlatego oprócz reakcji układu krwionośnego, rejestrowano również jakość snu badanych. Do obiektywnej rejestracji długości i jakości snu w niniejszych badaniach wykorzystano technikę akcelerometryczną, która jest łatwiejsza do zastosowania podczas badań terenowych, ponieważ akcelerometr jest wbudowany w monitor pracy serca Polar V800, który umieszczony był na nadgarstkach ręki niedominującej osób badanych. Przeprowadzone wcześniej badania potwierdzają wysoką rzetelność i trafność tej techniki (Slater i in. 2015), która okazuje się bardziej użyteczna do oceny AMS, aniżeli kwestionariusze do oceny snu lub zaawansowane narzędzia do polisomnografii. W pomiarach tych za pomocą aktygrafii (pomiar akcelerometryczny zapisujący aktywność osoby badanej w ciągu nocy) ocenia się poziom konsolidacji snu (np. liczby nocnych wybudzeń). Metoda ta pozwala w sposób

obiektywny wykryć okresy wzmożonej aktywności osoby badanej oraz jej spoczynku (snu) (Siemiński, Skorupa, Wiśniewska-Skorupa 2018).

1.5.1. Badania laboratoryjne

Wszystkich uczestników badań poddano próbom wysiłkowym w warunkach normoksji oraz hipoksji normobarycznej (wysokość symulowana wynosiła 3500 m n.p.m.) w Pracowni Badań Czynnościowych Człowieka AWF Katowice.

Pierwszym elementem badań laboratoryjnych w warunkach normoksji był test ortostatyczny, którego istotą jest pomiar tętna w warunkach spoczynku przez 6 minut a następnie w pozycji stojąc przez 4 minuty. Test ten oparty jest na zmianach w funkcjonowaniu autonomicznego układu nerwowego powstałych w wyniku wysiłku fizycznego. Na wynik testu ortostatycznego ma wpływ kilka wewnętrznych i zewnętrznych czynników, takich jak: stres psychiczny, sen, choroby utajone, zmiany w otoczeniu (temperatura, wysokość) i inne. Ponadto test ortostatyczny oparty jest na pomiarze tętna i zmienności rytmu pracy serca. Zmiany tętna i rytmu pracy serca odzwierciedlają modyfikacje w autonomicznej regulacji układu krążenia. W trakcie testu mierzone są wartości HRrest, HRstand i HRpeak. Tętno oraz zmienność rytmu pracy serca mierzone podczas testu ortostatycznego pozwoliły określić zaburzenia autonomicznego układu nerwowego, takie jak zmęczenie czy przeciążenie. Niemniej jednak reakcje tętna na poziom zmęczenia i przetrenowania są cechami indywidualnymi i wymagają dłuższego monitorowania.

Drugim elementem badań laboratoryjnych był test progresywny do odmowy na bieżni mechanicznej w warunkach normoksji. Celem testu było wyznaczenie stref wysiłkowych oraz progu mleczanowego. Próba ta polegała na marszu, a następnie biegu w 3-minutowych interwałach, przerywanych krótkimi 30-60 sekundowymi przerwami na pobór krwi kapilarnej z palca dłoni. Tempo początkowe ustalone zostało na 2 km/h i co 3 minuty ulegało zwiększeniu o 2 km/h, aż do osiągnięcia prędkości 12 km/h, która nie ulegała już dalszemu zwiększaniu, wzrastał natomiast kąt nachylenia bieżni o 2,5 stopnia. Test trwał do momentu odmowy ze strony badanego.

Druga seria pomiarów w pracowni hipoksji była prowadzona między siódmym a czternastym dniem od pierwszego podejścia, tj. pierwszej próby pomiarów dokonywanych w laboratorium normoksji, zgodnie z przyjętym protokołem badań. Osoby badane nie były profesjonalnymi sportowcami i tym samym w ciągu dwóch tygodni ich wydolność nie wzrosła w wyniku intensywnego treningu. Ponadto w tak krótkim czasie, badane parametry nie powinny

ulec znaczącym zmianom. Istotnym było, aby po intensywnym wysiłku w trakcie pierwszego testu badani byli wypoczęci (zregenerowani), zanim przystąpili do drugiego testu (>2 dni). Pierwszym krokiem, przed przystąpieniem do głównej części badania w komorze hipoksji normobarycznej, była 5-minutowa obserwacja SpO₂ metodą pulsoksymetrii, wykonywana w spoczynku (siedząc) przy użyciu pulsoksymetru marki Beurer, model PO-60. Po tych pomiarach następowała część główna, poprzedzona testem ortostatycznym, podobnie jak w warunkach normoksji, zgodnie z procedurą opisaną powyżej. Następnie badani przystępowali do testu progresywnego na bieżni mechanicznej w sztucznie wytworzonych warunkach hipoksji normobarycznej, odpowiadającym warunkom terenowym zbliżonym do wysokości 3500 m n.p.m. Test trwał do momentu odmowy ze strony osoby badanej. Na podstawie danych określone zostały wartości maksymalne HR_{max} i VO_{2max}.

W tabeli poniżej zamieszczone zostały dane dotyczące wartości maksymalnych stężenia mleczanu (Tab. 3.) oraz indywidualne różnice w stężeniu mleczanu podczas testu progresywnego do odmowy na bieżni mechanicznej w laboratorium, w warunkach normoksji.

Tab. 3. Wartości maksymalne stężenia mleczanu w teście progresywnym w grupie badanej

	Średnia (\bar{x})	Mediana (med.)	Min-max	Odchylenie standardowe (SD)
Kobiety (n=11)	9,9	10,1	4,0-16,6	3,5
Mężczyźni (n=14)	10,1	10,0	6,8-13,2	1,7

1.5.2. Badania terenowe

Badania terenowe odbywały się od 5 do 29 października 2018 roku, na trasie trekkingowej do Everest Base Camp w Dolinie Khumbu, w Himalajach Nepalu.

Poszczególne etapy trekkingu stanowią harmonogram badań terenowych, począwszy od dnia pierwszego, aż po osiągnięcie celu w dniu siódmym:

- Przelot z Kathmandu do Lukli (2860 m n.p.m.), zejście do Phakding (2610 m n.p.m.);
- Dzień I: Phakding (2610 m n.p.m.) – Namche Bazaar (3450 m n.p.m.), ok. 9 km.;
- Dzień II: aklimatyzacja w Namche Bazaar (3450 m n.p.m.) + wycieczka do Everest View Hotel (3880 m n.p.m.) i wioski Khumjung, ok. 6.5-8.5 km (różne warianty trasy);
- Dzień III: Namche Bazaar (3450 m n.p.m.) – Tengboche (3867 m n.p.m.) ok. 8.5 km;
- Dzień IV: Tengboche (3867 m n.p.m.) – Dingboche (4350 m n.p.m.) ok. 10 km;

- Dzień V: aklimatyzacja w Dingboche (4350 m n.p.m.) + wycieczka do Nagarthsang Gomba (klasztor buddyjski – 4800 m n.p.m.) ok. 2.5 km;
- Dzień VI: Dingboche (4350 m n.p.m.) – Lobuche (4940 m n.p.m.) ok. 7 km;
- Dzień VII: Lobuche (4940 m n.p.m.) – Gorak Shep (5170 m n.p.m.) – Everest Base Camp (5360 m n.p.m.) – Gorak Shep ok. 11 km (opcjonalnie wyjście na punkt widokowy Kala Pattar)
- Dzień VIII: Gorak Shep (5170 m n.p.m.) – zejście w kierunku Lukli

Uczestnicy badań przynależeli do siedmiu grup trekkingowych, które przemierzały powyższą trasę we wcześniej ustalonych przez organizatora terminach.

1.6. Metody statystycznej analizy danych

Dane wstępnie zarchiwizowano przy użyciu programu Microsoft Excel, pakietu MS Office 2019 dla Windows 10. Analizy statystyczne uzyskanych danych przeprowadzono posługując się programem Statistica 13.0 firmy TIBCO Software Inc.

Obliczono średnie arytmetyczne (\bar{x}), odchylenia standardowe (SD), mediany (med.), wartości minimalne i maksymalne (min-max) poszczególnych zmiennych. Celem określenia rozkładu każdej zmiennej wykorzystano wykresy normalności oraz Test W Shapiro-Wilka. Jednorodność wariancji w badanych grupach zbadano Testem Levene'a oraz Testem Browna-Forsythe'a. W celu określenia istotności różnicowania średnich wartości zmiennych w badanej grupie lub między grupami, dla zmiennych o rozkładzie normalnym przeprowadzono analizę przy pomocy testu t dla prób zależnych, lub testu t dla prób niezależnych. Istotność statystyczną (p) określono na poziomie $p < 0,05$.

Do analizy zmiennych HR i VHR wykorzystano program Kubios HRV Standard 3.0.0 (Department of Physics University of Kuopio 2008), dzięki któremu określono wskaźniki pobudzenia przywspółczulnej i współczulnej części układu autonomicznego. Indeks PNS obliczony w Kubios HRV jest oparty na średniej RR, RMSSD i mocy HF, natomiast indeks SNS jest oparty na średnim HR, indeksie stresu Baevsky'ego i mocy LF. Parametry wartości są porównywane z wartościami prawidłowymi (Nunan i in. 2010) oraz indeksami PNS i SNS, są obliczane jako średnie odchylenie od wartości normalnych. Dlatego jeśli wartości indeksów PNS i SNS wynoszą zero, oznacza to, że parametry są równe ich normalnym wartościom, lub jeśli średnie RR, RMSSD i HF moc są o jeden SD poniżej wartości normalnych, a następnie indeks $PNS = -1$. Podsumowując, indeksy PNS i SNS umożliwiają wiarygodne szacowanie aktywności autonomicznego układu nerwowego (Tarvainen i in. 2010).

Porównanie grup wymagało zastosowania analizy wariancji (ANOVA). Aby ją zastosować w wersji parametrycznej dane musiały spełnić trzy warunki:

- a) dane w skali min. przedziałowej (warunek spełniony),
- b) rozkład danych w grupach powinien być normalny (warunek niespełniony),
- c) wariancje w grupach powinny być równe (warunek częściowo spełniony).

Rozkład normalny był sprawdzany za pomocą wykresów prawdopodobieństwa i testu Shapiro-Wilka (SW-W). Wyniki są przedstawione w wykresach prawdopodobieństwa dotyczących: czasu trwania aktywności, %HRR, HRpeak, V_{śr}, T-ruch, T-rest, RPE. We wszystkich zmiennych występowała co najmniej jedna grupa z brakiem rozkładu normalnego. Wyniki SW-W ($p < 0,05$) pokazują brak rozkładu normalnego.

W analizie wyników badań posłużono się również testem Friedmana, który jest nieparametrycznym odpowiednikiem testu ANOVA dla pomiarów powtarzanych. W tym przypadku statystyka testu jest wyliczana z rang.

Dalsze analizy danych oparto na teście W Kendalla, będącym nieparametrycznym testem statystycznym dla porównywania kilku prób zależnych. Zastosowano również Test U Manna-Whitneya, który nie wymaga równoliczności grup, rozkładu normalnego ani homogenicznych wariancji (StatSoft 2006).

2. Wyniki badań

2.1. Struktura obciążeń wysiłkowych w grupie badanej

W celu kontroli intensywności wysiłku fizycznego w prezentowanych badaniach dokonywano szczegółowej rejestracji częstości skurczów serca (HR) podczas trwania aktywności, czyli pokonywania kolejnych etapów trekkingu oraz w porannych testach ortostatycznych. Pierwszymi tego typu pomiarami były testy ortostatyczne przeprowadzone jeszcze przed wyjazdem na trekking w warunkach normoksji i w laboratorium hipoksji. Średnie wartości częstości skurczów serca w grupie badanej przyjmowały wyższe wartości w pozycji stojąc w warunkach normoksji, aniżeli w hipoksji (wysokość symulowana wynosiła 3500 m n.p.m.). Natomiast największe zróżnicowanie (SD=11,5) dotyczy HR_{śr} w pozycji stojąc w laboratorium hipoksji (Tab. 4), co już na etapie wstępnego rozpoznania może wskazywać na znaczną indywidualizację w reakcji organizmu na warunki wysokogórskie.

Tab. 4. Średnie wartości częstości skurczów serca z testów ortostatycznych w warunkach normoksji (N) i hipoksji (H) w grupie badanej

Pomiar	HR _{śr} - leżenie				HR _{śr} - stanie			
	\bar{x}	med.	min-max	SD	\bar{x}	med.	min-max	SD
N	58,4	58	45-80	6,7	77,6	77	55-101	9,5
H	63,6	63	46-78	9,3	75,4	73	54-97	11,5

W warunkach terenowych podczas diagnozy porannej każdego dnia trekkingu, średnie wartości HR w pozycji leżącej i stojącej wzrastały wraz z wysokością nad poziomem morza i przyjmowały największe zróżnicowanie w dwóch ostatnich dniach pomiarów (Tab. 5.), czyli na pułapie wysokości ok. 5000 m n.p.m.

Tab. 5. Średnie wartości częstości skurczów serca z testów ortostatycznych podczas trwania trekkingu w grupie badanej

Dzień	Wysokość (m n.p.m.)	HRśr- leżenie				HRśr- stanie			
		\bar{x}	med.	min- -max	SD	\bar{x}	med.	min- -max	SD
I	2610	64,5	66	45-89	10,6	83,1	84	70-110	9,8
II	3450	71,1	72	50-88	12,1	87,4	89	59-104	11,2
III	3450	68,2	65,5	52-88	11,4	86,6	87	71-99	9,1
IV	3867	68,7	66	53-89	10,1	89,1	86,5	69-117	10,9
V	4350	72,3	71	53-97	12,1	89	89	67-105	10,1
VI	4350	69,8	66	49-92	11	91,2	92	66-110	10,3
VII	4940	73,4	69,5	52-96	12,5	95,4	91	62-122	13,5
VIII	5170	72,4	71	46-94	12,4	94,9	97	73-126	15

Na podstawie analiz zmienności pracy serca, określić można wskaźniki pobudzenia lub redukcji reakcji w obrębie autonomicznego układu nerwowego poprzez wyznaczenie PNS Index i SNS Index, który wykorzystany został w dalszych analizach wyników badań.

TRIMP to metoda ilościowego określania tlenowego obciążenia treningowego, pierwotnie zdefiniowana jako iloczyn objętości treningu (wysiłku) mierzonej w minutach i intensywności treningu, mierzonej jako średnie tętno (częstość skurczów serca), w uderzeniach na minutę (Kent 2007). Średni wydatek energetyczny, wyrażony w kilokaloriach (kcal) oraz wartości TRIMP_{exp}, będące ilościowym określeniem tlenowego obciążenia wysiłkiem, były najwyższe w pierwszym i ostatnim dniu trekkingu (Tab. 6). W pierwszym dniu do pokonania była największa różnica wysokości i dominowały podejścia, natomiast dzień ostatni związany był z dotarciem do celu trekkingu. Niektórzy uczestnicy dochodzili wyłącznie do bazy pod Everestem, inni za cel obierali punkt widokowy Kala Pattar, a część z nich łączyła oba wymienione.

Tab. 6. Wydatek energetyczny (kcal) podczas marszu i TRIMPexp w poszczególnych dniach trekkingu

Dzień	Wysokość (m n.p.m.)	Wydatek energetyczny (kcal)				TRIMPexp			
		\bar{x}	med.	min- -max	SD	\bar{x}	med.	min- -max	SD
I	2610	2207,7	2073,5	774,0- 4220,0	797,5	367,0	369,2	167,5- 574,2	120,1
II	3450	1630,3	1549,0	636,0- 3347,0	719,9	258,7	238,5	146,7- 521,8	91,2
III	3450	1813,6	1581,0	1005,0- 3684,0	664,4	259,8	259,8	166,1- 404,3	70,0
IV	3867	1577,1	1436,0	833,0- 3189,0	560,0	250,4	244,7	147,6- 509,3	74,0
V	4350	1759,6	1713,0	1058,0- 2869,0	558,9	268,4	265,2	178,2- 359,5	55,6
VI	4350	1542,3	1439,0	926,0- 4380,0	781,7	234,2	210,8	151,5- 478,0	78,0
VII	4940	2129,3	2068,0	696,0- 5555,0	1156, 5	428,9	437,4	171,4- 634,9	106,6

Zmiennymi wyjściowymi dla prezentowanych analiz (średnia z 1-minutowego okresu pomiaru), były:

- HR1min (ud/min) – częstość pracy serca rejestrowane podczas marszu,
- V (m/s) – prędkość pozioma marszu (dane z GPS),
- g (%) – nachylenie terenu (dane z GPS oraz barometru),
- m (kg) – masa ciała badanego,
- l (kg) – dodatkowy ciężar niesiony przez badanego podczas marszu,
- n – rodzaj nawierzchni.

Ze zmiennych b-f obliczono zmienną minutowy wydatek energetyczny- Energy (waty).

Wartości bezwzględne, takie jak HR i obciążenie (parametr Energy wyrażony w watach) wyliczono z połączenia dwóch wzorów: Pandolfa (Pandolf, Givoni, Goldman 1977) – odnoszących się do danych, gdzie nachylenie jest równe 0 lub jest dodatnie oraz Santee (Santee i in. 2003) – w przypadku ujemnego nachylenia terenu.

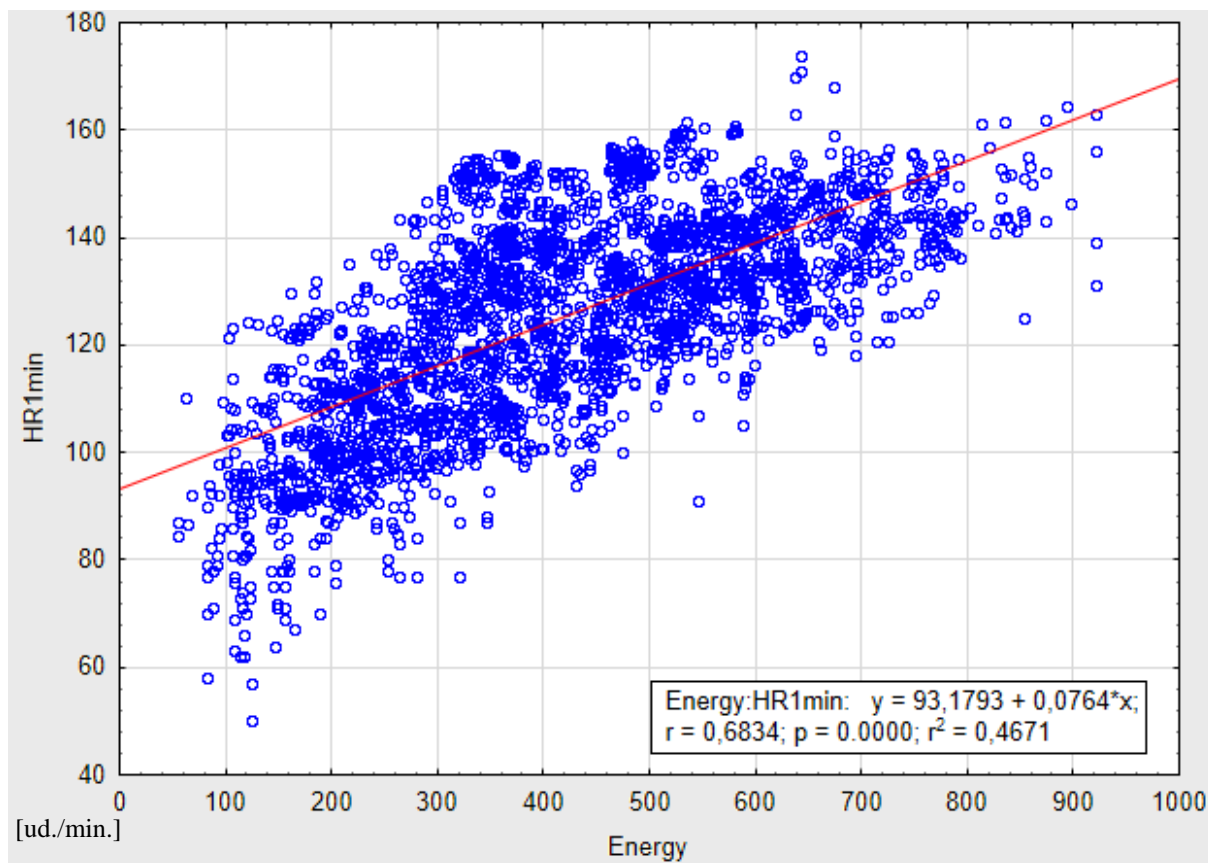
Minutowy wydatek energetyczny Energia (W) ze wzoru Pandolf – Santee:

$$Energia = 1,5 * m + 2 * (m + l) * (l/m)^2 + n * (m + l) * ((1,5 * v^2) + (0,35 * v * g)) - d * n * (g * (m + l) * v) / 3,5 - ((m + l) * (g + 6)^2) / m + 25 * s^2$$

gdzie: m – masa ciała (kg), l – masa dodatkowa (kg), v – prędkość pozioma (m/s) (do ok. 8,5 km/h), n – rodzaj nawierzchni, g – kąt nachylenia (%), d – 0 – poziomo lub podejście, 1- zejście

Powyższe wartości mają niską wartość korelacji ($r=0,58$, $r^2=0,34$ - dla wszystkich dni trekkingu, lub $r=0,68$, $r^2=0,47$ dla drugiego i trzeciego dnia oraz prób w laboratorium normoksji i hipoksji). Jednominutowe odcinki danych do porównań obciążenia wewnętrznego (HR1min) i zewnętrznego (Energy) wysiłku marszu podczas trekkingu wymagały odpowiedniej selekcji wstępnej. Głównie z powodu latencji reakcji pracy serca na wysiłek fizyczny, wybrano pomiary, gdzie zarówno HR jak i V były stosunkowo stabilne (odchylenie standardowe dla $HR \leq 3$ i dla $V \leq 0,5$). W tym przypadku dodatkowe ograniczenie stanowiło nachylenie $(-20,40)$; $V > 0,3$.

W dalszych analizach pod uwagę wzięto porównania danych uzyskanych w pomiarach laboratoryjnych (N i H) z danymi dotyczącymi drugiego i trzeciego dnia trekkingu, kiedy wysokość nad poziomem morza była najbardziej zbliżona do tej, którą symulowano w komorze hipoksyjnej, tj. wynosiła ok. 3500 m n.p.m., a uczestnicy badań dwukrotnie nocowali na tej samej wysokości, w Namche Bazaar, gdzie odbywał się pierwszy przystanek aklimatyzacyjny na trasie trekkingu.



Ryc. 1. Rozkład HR i obciążenia (Energy) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

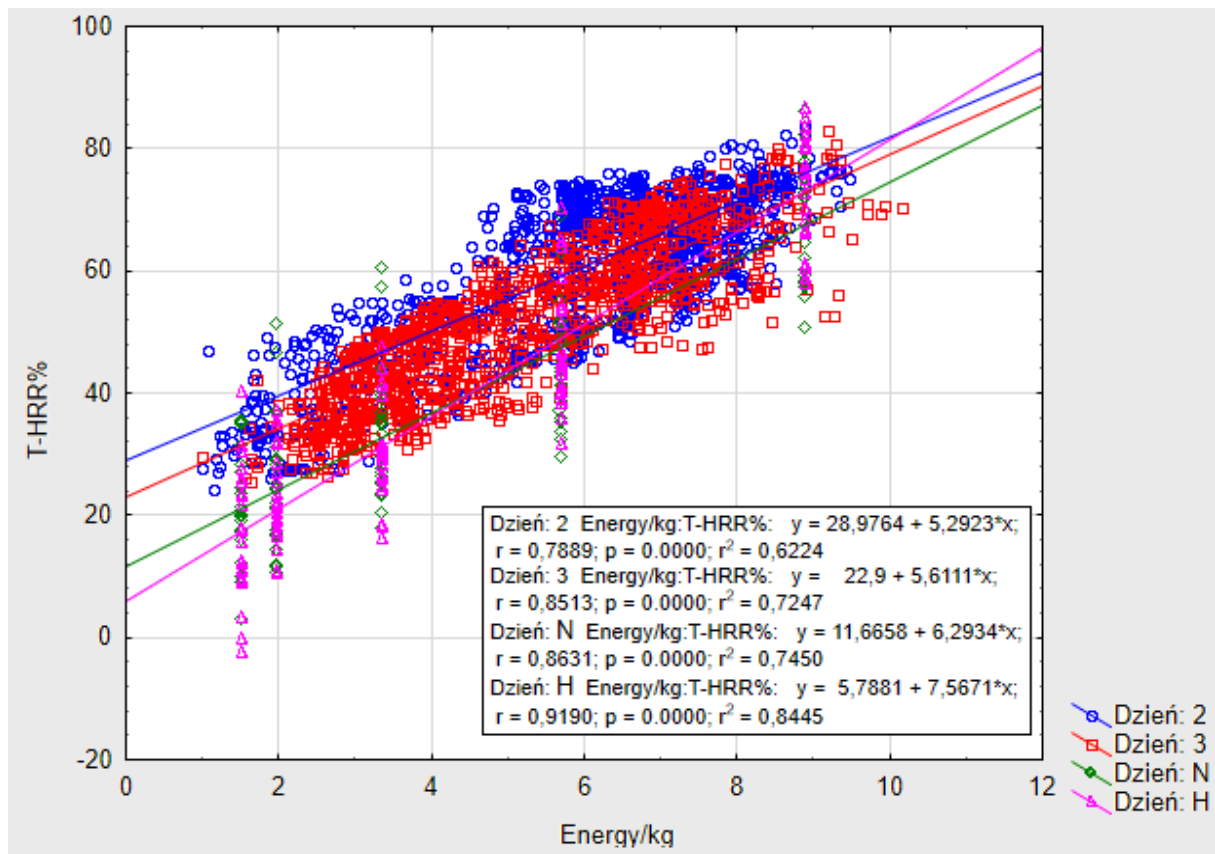
Do porównań obciążenia wewnętrznego z zewnętrznym posłużono się danymi względnymi:

- a) T-HRR% (%) – rezerwa pracy serca wyliczone ze wzoru Karvonena;
- b) Energy/kg (W/kg) – minutowy wydatek energetyczny na kilogram masy ciała badanego.

Dopiero wartości względne: HR odniesione jako rezerwa HR, czyli %HRR, wyliczone ze wzoru Karvonena i wydatek energetyczny (zewnętrzny) przeliczony na kilogram masy ciała, czyli Energy/kg uwypukla te zależności w drugim i trzecim dniu pomiarów terenowych oraz w warunkach normoksji i hipoksji ($r=0,84$, $r^2=0,7$; D2, D3, N, H).

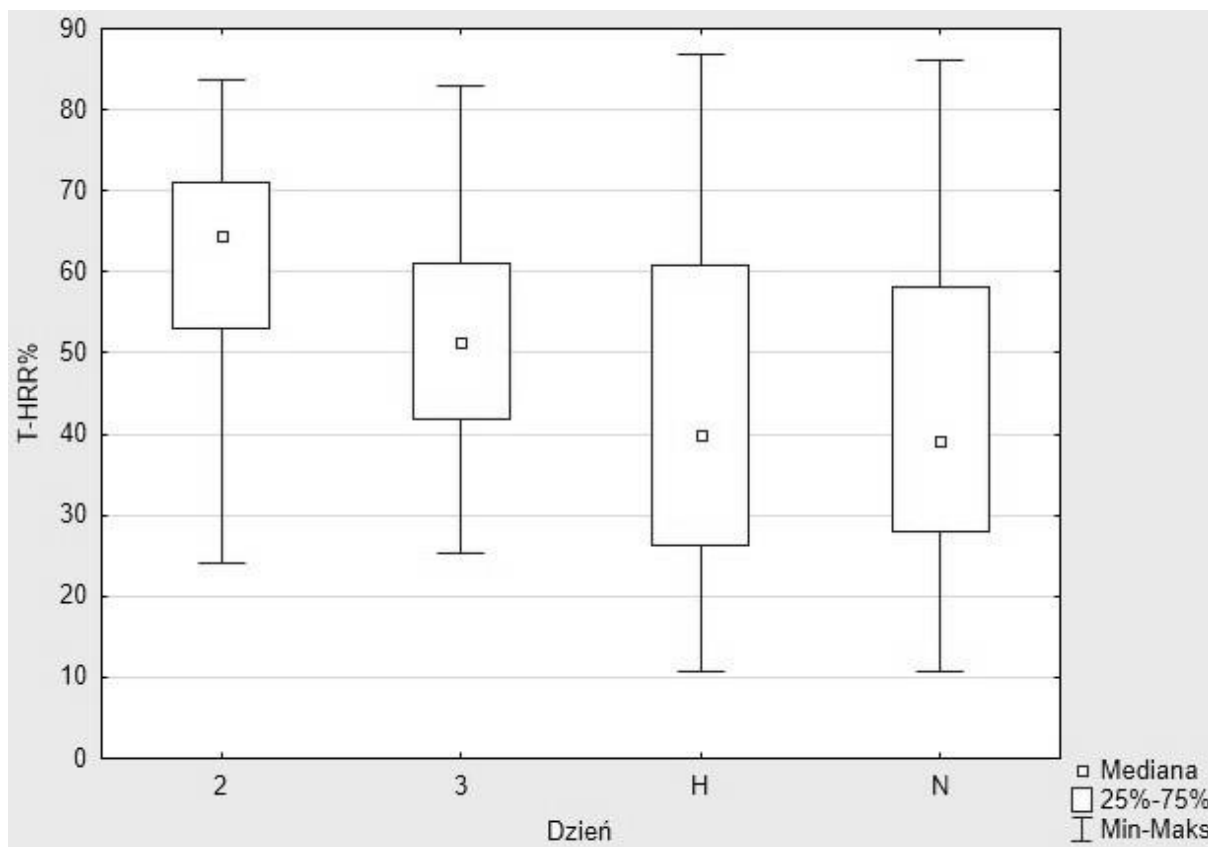
Wciąż jednak występował duży rozrzut wyników (przesunięte linie korelacji dziennych, indywidualnych). Dodatkowo zaobserwować można przykłady mocno różniących się zbiorów danych indywidualnych, gdzie pomimo zastosowania wartości względnych również w warunkach normoksji zróżnicowanie T-HRR% dla 1 W/kg wynosi od 2 do 42 (Ryc. 2).

Dodatkowo pokazano przykłady znacząco różniących się zbiorów danych indywidualnych.



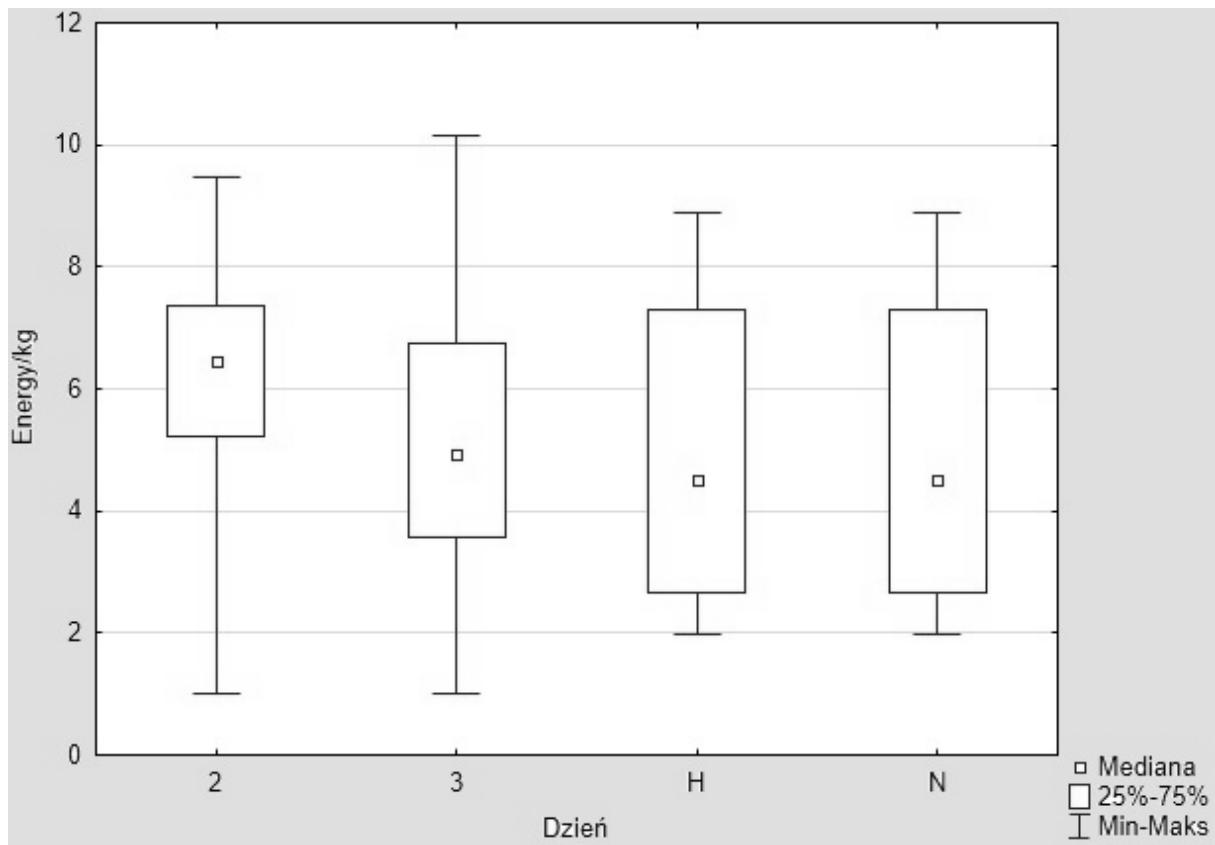
Ryc. 2. Rozkład T-HRR% i wydatku energetycznego (Energy/kg) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

W celu porównania czterech grup pomiarów: drugiego i trzeciego dnia trekkingu oraz wyników z laboratorium w warunkach normoksji i hipoksji, na początku spróbowano porównać oryginalne wartości danych HRR, ale w ograniczonym zakresie obciążenia zewnętrznego (4,6:6,8), który zbliżony jest do trzeciego etapu obciążenia podczas testu progresywnego na bieżni mechanicznej w protokole przyjętym na potrzeby niniejszych badań (5,7 W/kg = 6 km/h) (Ryc. 3). Przyjęto taki zakres, aby mógł objąć próbki wszystkich osób badanych, w każdym analizowanym dniu, a jednocześnie nie był to przedział zbyt obszerny, aby nie porównywać obciążenia zewnętrznego o zbyt dużej różnicy (drugi i trzeci dzień trekkingu). Okazało się, że wariancja tych czterech grup jest niejednorodna (test Browna-Forsythe'a), dlatego zastosowano statystyki nieparametryczne.

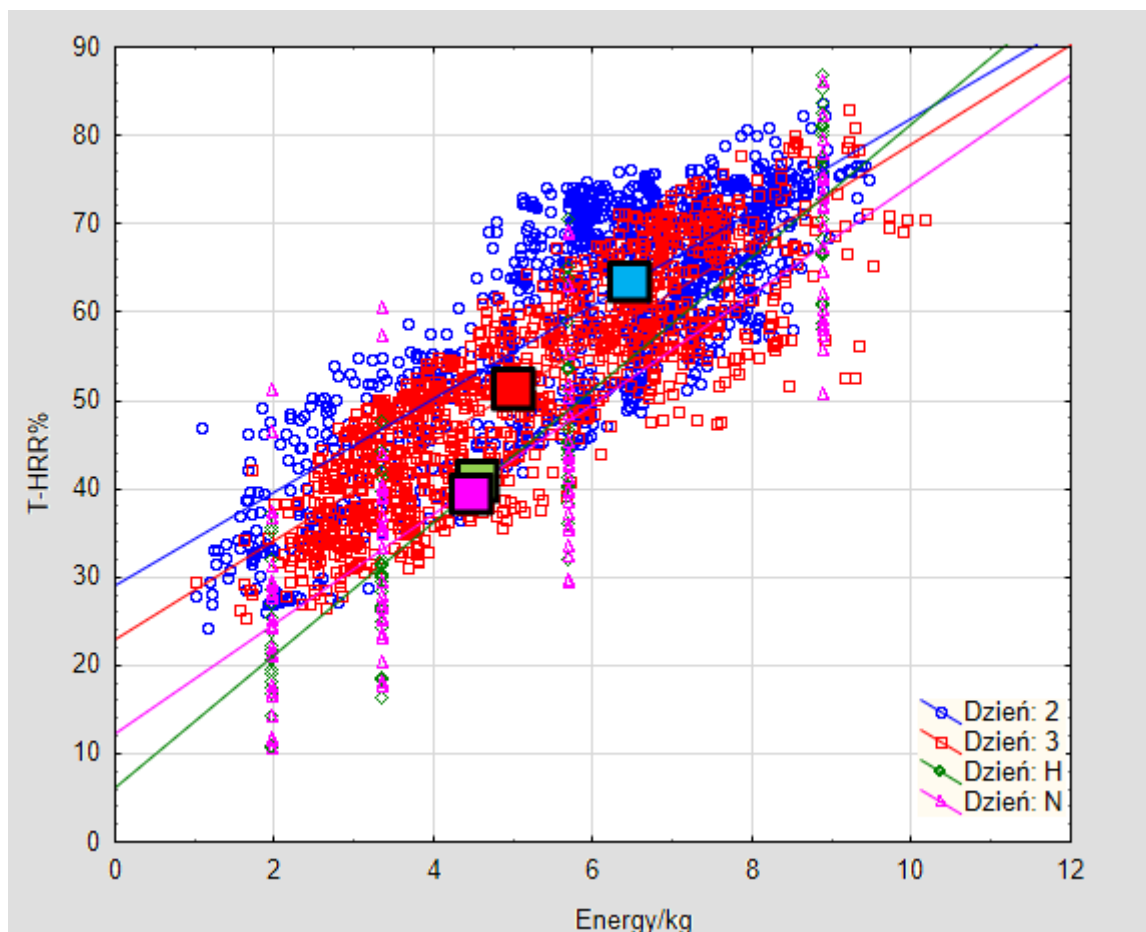


Ryc. 3. Wartości procentowe T-HRR% w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

Dodatkowo występowała duża różnica w liczbie próbek w poszczególnych grupach. Różnice HRR w poszczególnych zbiorach dotyczyły wszystkich grup oprócz normoksji (N) i hipoksji (H). Różnice wystąpiły również w parametrze Energy/kilogram, gdzie drugi dzień różnił się od pozostałych analizowanych (Ryc. 4.), dlatego trudno było jednoznacznie stwierdzić czy różnice T-HRR% drugiego dnia wynikają z różnicy samego T-HRR% czy też były odpowiedzią na wyższy poziom Energy/kilogram.



Ryc. 4. Wydatek energetyczny (Energy/kg) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w próbach laboratoryjnych w grupie badanej



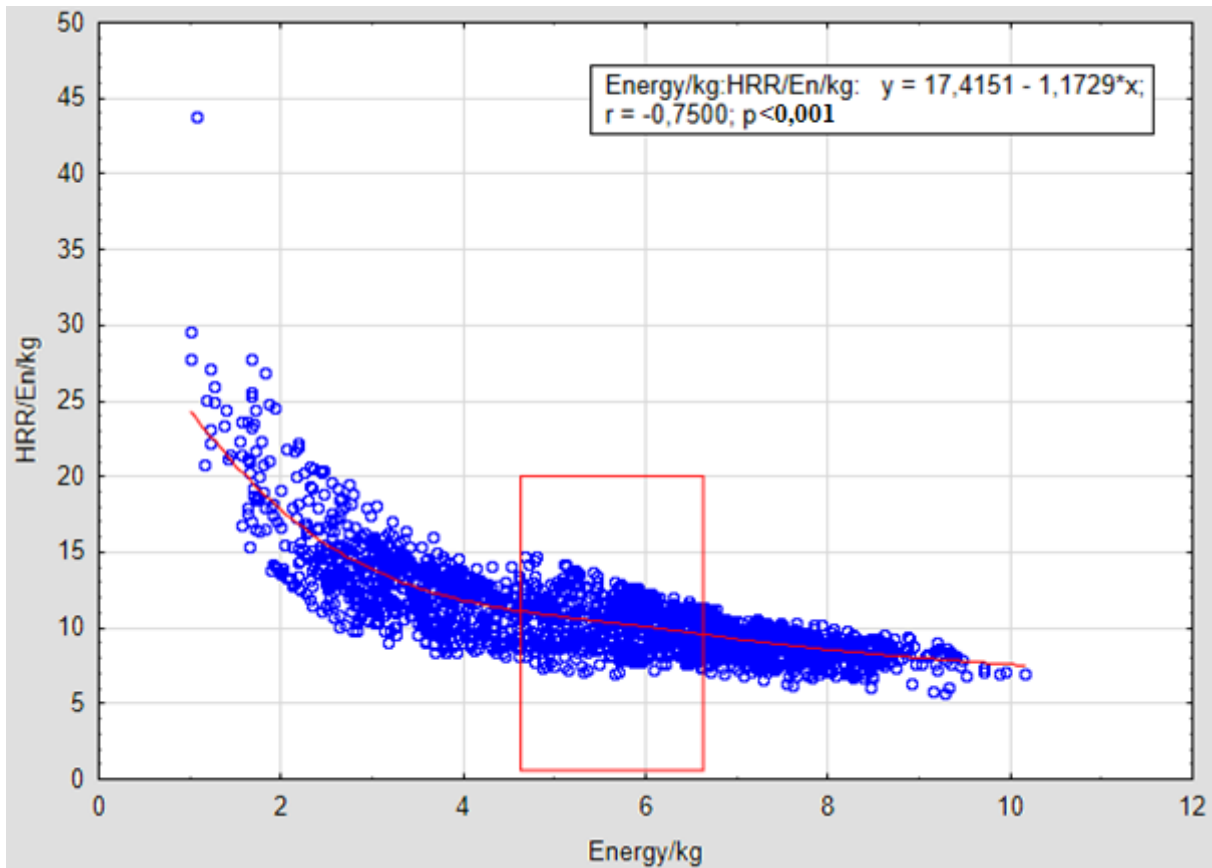
Ryc. 5. Rozkład T-HRR% i wydatku energetycznego (Energy/kg) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

Z powyższych danych można wywnioskować, że między pomiarami w warunkach normoksji i hipoksji nie było znaczących różnic w HRR, a obciążenie, rozumiane jako wysiłek było takie samo (Ryc. 5). W trzecim dniu trekkingu średni wysiłek zewnętrzny był zbliżony do wysiłku podejmowanego podczas badań laboratoryjnych, ale HRR było wyższe. W drugim dniu trekkingu HRR w grupie badanej było najwyższe, ale nie można jednoznacznie stwierdzić czy różnice HRR drugiego dnia wynikają ze zróżnicowania samego HRR, czy też były odpowiedzią na wyższe obciążenie wyrażone jako Energy/kilogram.

Z tego powodu przyjęto rozwiązanie, w którym posłużono się sztucznym wskaźnikiem-powiązania HRR z Energy/kilogram, czyli ich ilorazu. W tym celu wykorzystano tzw. „puls tlenowy”: VO_2/HR , czyli stosunek zużytego tlenu do częstości akcji serca, który mierzy sprawność metaboliczną mięśnia sercowego, gdyż wskazuje na objętość tlenu pochłoniętego w czasie jednego cyklu akcji serca. Na potrzeby analiz, w pracy wykorzystano odwrotność

ilorazu: HRR/Energy/kilogram, czyli procent rezerwy częstości pracy serca na energię mierzoną na kilogram masy ciała.

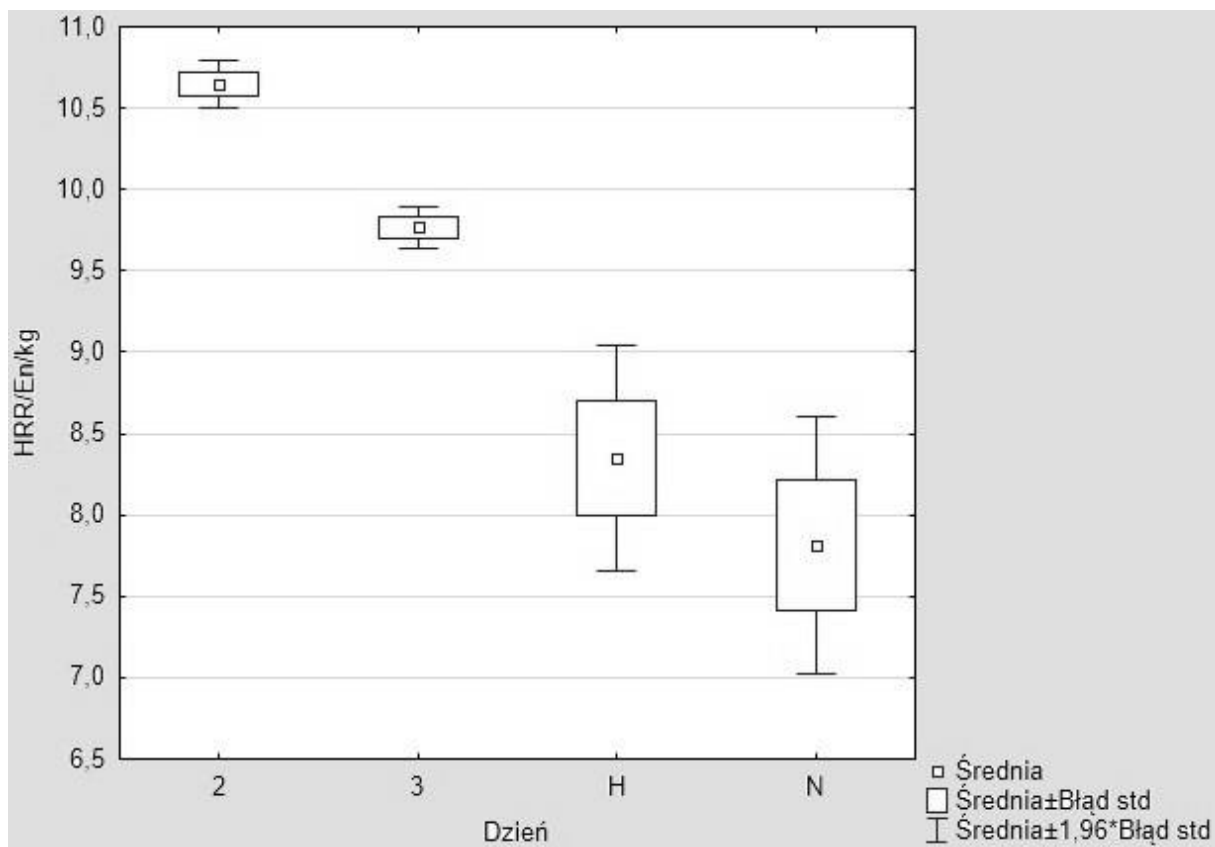
Wskaźnik HRR/En/kg wykazał jednak duże zróżnicowanie przy niskim obciążeniu <5W/kg, dlatego zastosowano przedział (4,68:6,68), który odpowiada obciążeniu na bieżni 6 km/h (5,68 +/- 1 W/kg) (Ryc. 6). W ramce na rycinie poniżej zaznaczono zakres z trekkingu, który brano pod uwagę w dalszych analizach.



Ryc. 6. Rozkład HRR/Energia/kg i wydatku energetycznego (Energy/kg) w grupie badanej

Powyższe analizy nie wykazały jednorodności wariancji, dlatego w następnej kolejności zastosowano testy nieparametryczne.

Porównanie grup za pomocą testów nieparametrycznych pokazało, że wartości z laboratorium zarówno w warunkach normoksji, jak i w hipoksji nie różnią się istotnie statystycznie. Natomiast dane z drugiego i trzeciego dnia trekkingu różnią się między sobą oraz od danych z laboratorium. Najwyższe wartości HRR/En/kg wystąpiły dnia drugiego (Ryc. 7).



Ryc. 7. Rozkład HRR/Energy/kg w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

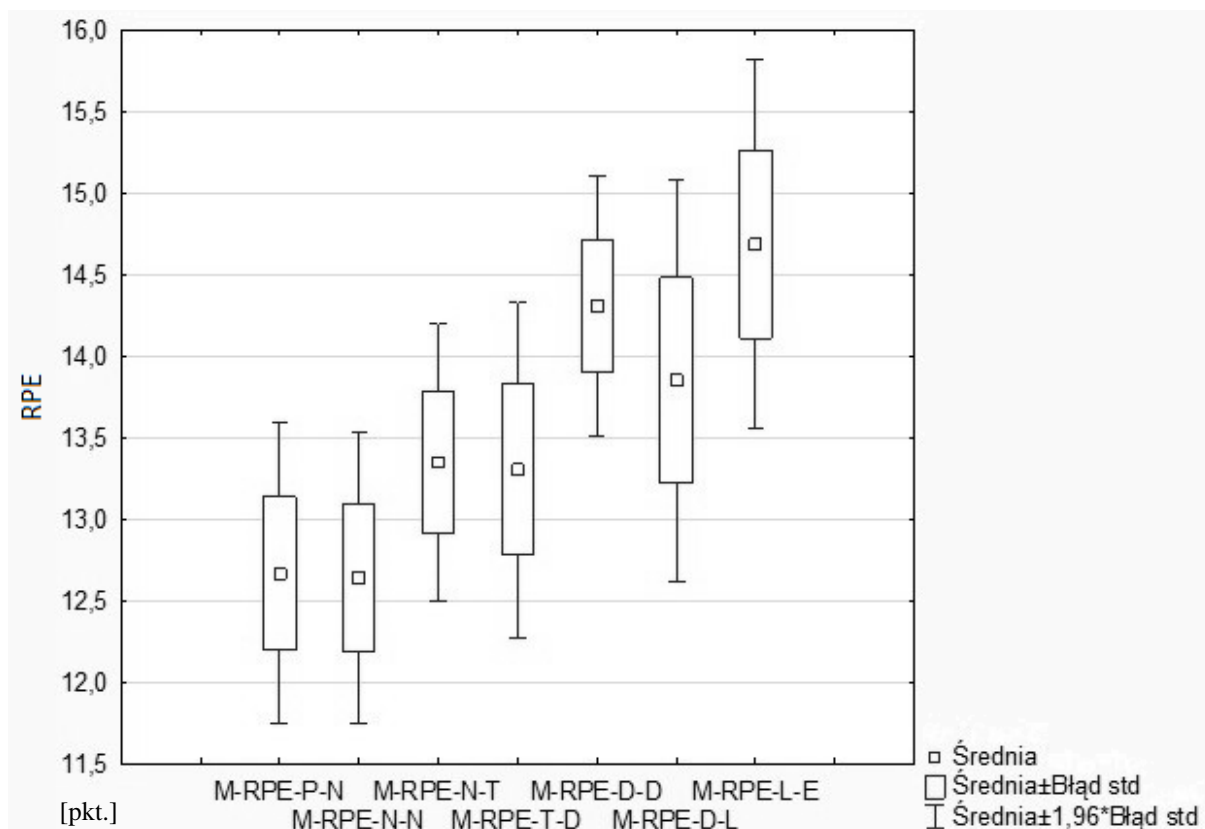
W celu sprawdzenia czy występują istotne różnice między drugim a trzecim dniem trekkingu pod względem obciążenia wewnętrznego i zminimalizowania wpływu obciążenia zewnętrznego, zastosowano zintegrowany wskaźnik – HRR/En/kg.

Wskaźnik HRR/En/kg składa się z ilorazu T-HRR% i Energy/kg i bazuje na tzw. „pulsie tlenowym” – VO_2/HR , czyli stosunku zużytego tlenu do częstości akcji serca, który mierzy sprawność metaboliczną mięśnia sercowego, gdyż wskazuje na objętość tlenu pochłoniętego w czasie jednej ewolucji serca.

Wskaźnik HRR/En/kg wykazuje jednak duże zróżnicowanie przy małych obciążeniach <5 W/kg, dlatego zastosowano przedział (4,68:6,68), który odpowiada obciążeniu na bieżni mechanicznej 6 km/h (5,68 +/- 1 W/kg). Zabrakło jednorodności wariancji dlatego zastosowano testy nieparametryczne. Porównanie grup za pomocą testów nieparametrycznych wykazało, że wartości z laboratorium zarówno w normoksji jak i w hipoksji nie różnią się istotnie statystycznie. Natomiast dane z pomiarów terenowych (drugi i trzeci dzień trekkingu) różnią się między sobą (najwyższe wartości HRR/En/kg zarejestrowano drugiego dnia) oraz od danych z laboratorium.

Porównując reakcję organizmu (obciążenia wewnętrznego) na zmianę wysokości przeanalizowano cztery sytuacje: pierwszą był test progresywny w warunkach normoksji (warunki odniesienia), drugim było powtórzenie tego testu, aczkolwiek w warunkach hipoksji. W warunkach laboratoryjnych nie zauważono różnic pomiędzy normoksją a hipoksją w częstości pracy serca (HR), ani w wartościach względnych – w rezerwie pracy serca (HRR%). Trzecia i czwarta sytuacja odnosiła się do pomiarów w rzeczywistych warunkach terenowych w Namche Bazaar, na wysokości zbliżonej do tej, którą wytworzono w laboratorium hipoksji (ok. 3450 m n.p.m.). Łatwość określenia i porównania obciążenia zewnętrznego w laboratorium na bieżni kontrastowała z pomiarem jej w terenie. W warunkach terenowych wykorzystano dane z GPS w celu obliczenia prędkości poziomej marszu oraz z barometru w kontekście nachylenia terenu. Uwzględniając indywidualne dane osób badanych obliczono ze wzoru Pandolf – Santee obciążenie zewnętrzne w formie Energy/kg. Analiza zależności między wysiłkiem wewnętrznym (T-HRR%) a zewnętrznym (Energy/kg) wymagała zawężenia danych do przedziału (4,6, 6,8) W/kg, (ok. 6 km/h). Ten etap pozwolił określić większe T-HRR% między trzecim dniem trekkingu a danymi z laboratorium, ale nie dał pewności co do przyczyny różnicy drugiego dnia pobytu w warunkach wysokogórskich. Dlatego też zastosowano zintegrowaną zmienną HRR/En/kg, która pozwoliła doprecyzować, że drugiego dnia występowało największe obciążenie wewnętrzne w porównaniu do trzech pozostałych, analizowanych sytuacji. Podsumowując, sztuczne wywołane warunki hipoksyjne nie miały wpływu na pracę serca podczas wysiłku, ale podczas trwania trekkingu różnica ta była istotna, szczególnie pierwszego dnia wejścia na wysokość 3450 m n.p.m. Drugi dzień na tej samej wysokości wskazuje na aklimatyzację układu krwionośnego (obniżenie T-HRR% w stosunku do dnia pierwszego w Namche Bazaar), przy czym poziom aktywności pracy serca cały czas był wyższy niż w warunkach laboratoryjnych.

Subiektywna ocena postrzeganego wysiłku, uzupełniająca tę część analiz, oparta była na odczuciach zależących głównie od obciążenia i zmęczenia mięśni, trudnościach z oddychaniem lub bólem w klatce piersiowej. Wśród osób badanych, w kolejnych dniach trekkingu, zauważyć można tendencję wzrostową. Najwyższe wartości RPE i ich zróżnicowanie wystąpiło w dwóch ostatnich dniach marszu, osiągając wartości maksymalne powyżej 15 punktów, tj. „ciężko”. Natomiast we wszystkich przypadkach wynik przekraczał 11 punktów, tj. „lekki” (Ryc. 8).



Ryc. 8. Ocena postrzeganej ciężkości wysiłku (RPE) w poszczególnych dniach trekkingu w grupie badanej

Na powyższych wykresach średnich i odchyłeń standardowych, uwidacznia się większa zmienność w drugim dniu trekkingu, co prawdopodobnie wynikało z dużej sumy podejść (+840 m), oraz w dniu ostatnim, kiedy uczestnicy wybierali różne cele: dojście do bazy pod Everestem, zdobycie punktu widokowego Kala Pattar lub połączenie obu wymienionych. Wysokość nad poziomem morza, przekraczająca pięć tysięcy metrów oraz narastające zmęczenie, niezależnie od wybranego wariantu drogi w siódmym dniu, spowodowały że był to wysiłek oceniany przez badanych jako najcięższy ze wszystkich (Ryc. 10.) podczas trwania całego trekkingu.

2.2. Występowanie ostrej choroby górskiej podczas trekkingu w grupie badanej

Dane dotyczące występowania objawów ostrej choroby górskiej w grupie badanej otrzymano na podstawie odpowiedzi z kwestionariusza w Skali Ostrej Choroby Górskiej (LLSS), oceniających stopień nasilenia choroby.

Uczestnicy badania oceniali występowanie pięciu objawów oraz stopień ich nasilenia w każdym z ośmiu dni trekkingu, podczas diagnozy porannej. Uzyskano łącznie 197 odpowiedzi (w trzech przypadkach brakowało kwestionariusza lub był niekompletny). W czterech z pięciu objawów badani wskazywali maksymalny stopień nasilenia, uniemożliwiający funkcjonowanie lub bezsenność.

Szesnaście osób (64%) co najmniej w jednym dniu trekkingu uzyskało rezultat ≥ 3 , co równoznaczne jest z występowaniem ostrej choroby górskiej, przy spełnieniu warunku, że jednym ze wskazanych objawów był ból głowy. Roach i in. (2011) w swoich doniesieniach podkreślają znaczenie dolegliwości bólowych głowy jako głównego kryterium rozpoznania AMS. U dziesięciu osób z grupy badanej objawy ostrej choroby górskiej utrzymywały się dłużej niż jeden dzień, lub występowały powtórnie. Według Hackett'a i Roach'a (2001) objawy AMS zwykle nie pojawiają się przez co najmniej 6-10 godzin po przybyciu na daną wysokość. W grupie badanej objawy choroby zgłaszane były w drugim dniu trekkingu, po dotarciu do Namche Bazaar, kiedy następował największy wzrost wysokości (+840 m) oraz w siódmym i ósmym dniu trekkingu, tj. po przekroczeniu pułapu 4900 m n.p.m.

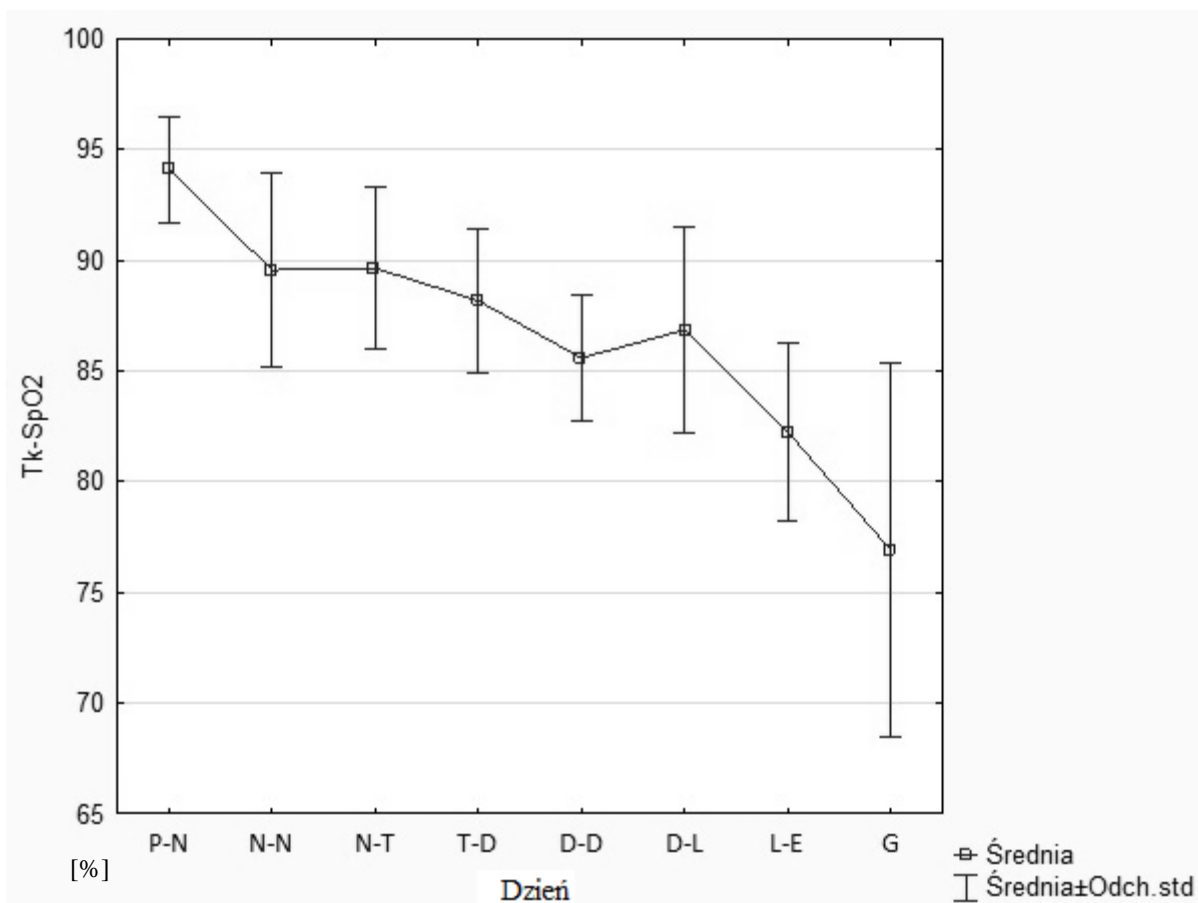
Tab. 7. Występowanie objawów ostrej choroby górskiej (AMS) w grupie badanej (n=197)

Zmienna	Średnia	Min-max	SD	Skośność	Kurtoza
Ból głowy	0,32	0-3	0,55	1,69	3,00
Zaburzenia żołądkowo-jelitowe	0,07	0-3	0,33	5,80	40,08
Zmęczenie	0,54	0-3	0,72	1,03	-0,05
Zawroty głowy, zaburzenia równowagi	0,09	0-2	0,33	4,15	17,84
Zaburzenia snu	0,76	0-3	0,86	0,69	-0,81

W celu dalszej analizy danych dotyczących AMS, wykorzystano test U Manna-Whitneya, by porównać niezależne od siebie grupy. Wyniki istotne statystycznie uzyskano dla zmiennych SpO₂, p<0,001; S-PNS, p=0,005; S-SNS, p<0,001 oraz S-HRave, p<0,001. Wskazuje to, że w grupie przypadków kiedy występowała ostra choroba górska, w porannym teście ortostatycznym miały miejsce: wyższy poziom częstości skurczów serca w pozycji stojącej, większe pobudzenie układu współczulnego i mocniejsza redukcja pobudzenia układu przywspółczulnego.

Pomiary poziomu nasycenia hemoglobiny tlenem dokonywane były każdego dnia trekkingu podczas diagnozy porannej. Analizując średnie wartości poziomu SpO₂ w grupie badanej, zaobserwować można stopniowe jego obniżanie wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Jest to typowa tendencja podczas pobytu na dużych wysokościach. Poziom nasycenia hemoglobiny tlenem już od drugiego dnia przebywania na dużych wysokościach przyjmował średnie wartości poniżej 90% (Ryc. 11), co oznaczać może niedotlenienie organizmu, spowodowane m.in. pogorszeniem wentylacji płuc oraz spadkiem ciśnienia parcjalnego tlenu.

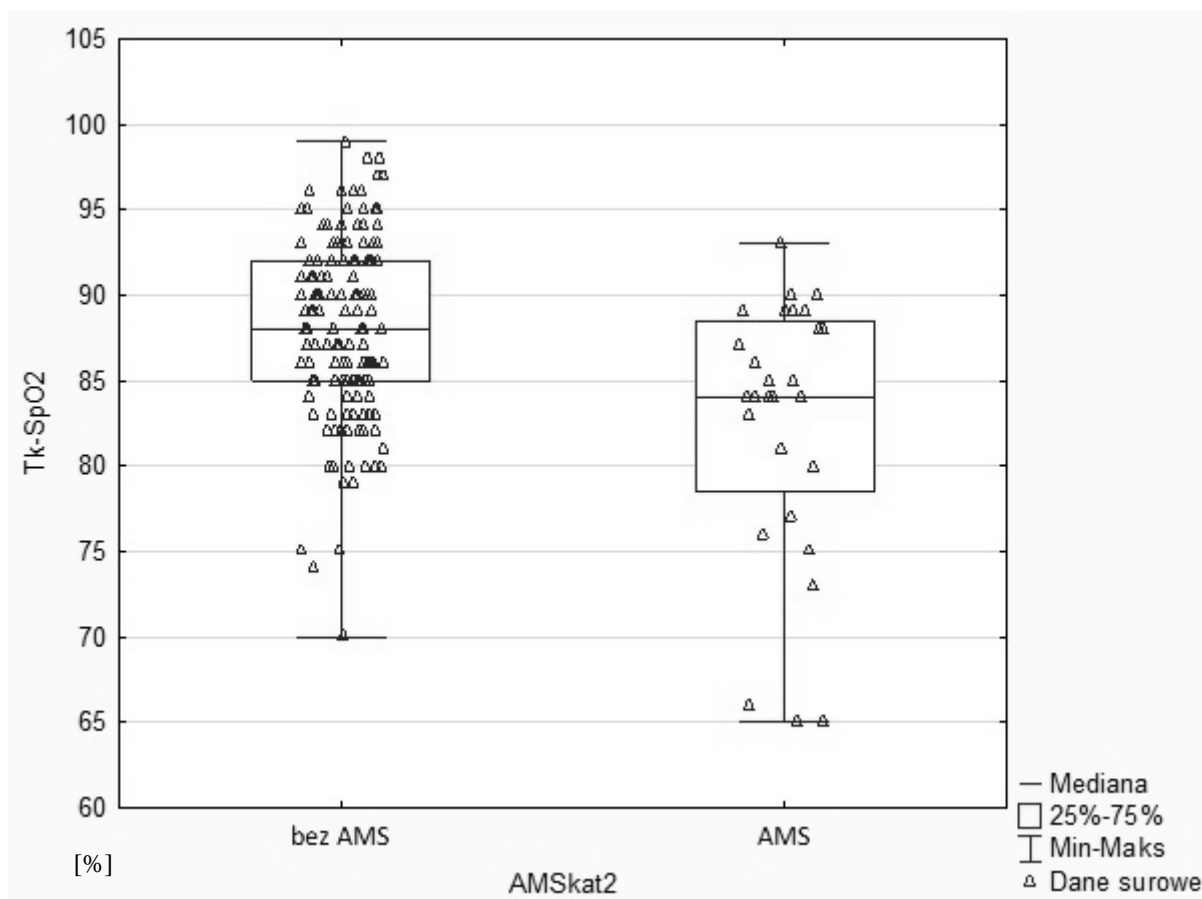
Stopień nasycenia hemoglobiny tlenem w pierwszym dniu trekkingu, zbliżony był do wartości maksymalnych, osiągniętych na nizinach i w codziennym środowisku funkcjonowania, w kolejnych dniach stopniowo się obniżał i przyjmował najniższe wartości po przekroczeniu pułapu 5000 m n.p.m. przed wycieczką aklimatyzacyjną w dniu piątym oraz w dniu siódmym (Ryc. 9), związanym z osiągnięciem celu trekkingu. Dodatkowo analizując wartości minimalne i maksymalne SpO₂, zaobserwować można duże zróżnicowanie w grupie badanej, zwłaszcza w drugiej połowie trekkingu, co świadczyć może o wyraźnej indywidualizacji w procesie adaptacji organizmu do dużych wysokości, zwłaszcza po przekroczeniu 4000 m n.p.m.



Legenda: P-N- Phakding (2610 m n.p.m.) – Namche Bazaar (3450 m n.p.m.)
 N-N- aklimatyzacja w Namche Bazaar (3450 m n.p.m. – 3880 m n.p.m.)
 N-T- Namche Bazaar (3450 m n.p.m.) – Tengboche (3867 m n.p.m.)
 T-D- Tengboche (3867 m n.p.m.) – Dingboche (4350 m n.p.m.)
 D-D- aklimatyzacja w Dingboche (4350 m n.p.m.)
 D-L- Dingboche (4350 m n.p.m.) – Lobuche (4940 m n.p.m.)
 L-E- Lobuche (4940 m n.p.m.) – Everest Base Camp (5360 m n.p.m.)
 G- Gorak Shep (5170 m n.p.m.)

Ryc. 9. Średnie i odchylenia standardowe poziomu nasycenia hemoglobiny tlenem (%) w poszczególnych dniach trekkingu (pomiar poranny) w grupie badanej

Pomiędzy występowaniem objawów ostrej choroby górskiej a poziomem nasycenia hemoglobiny tlenem występowała zależność związana z obniżeniem SpO_2 (pomiar poranny) wśród osób z AMS. Uwidacznia się to zarówno w wartościach minimalnych i maksymalnych (65-94) oraz medianie równej 84. Dla grupy, która nie wykazywała objawów były to wartości odpowiednio wyższe (min-max=70-99, mediana=88) (Ryc. 10), co wskazywało na prawidłowo przebiegający proces aklimatyzacji do warunków wysokogórskich w grupie bez objawów ostrej choroby górskiej.

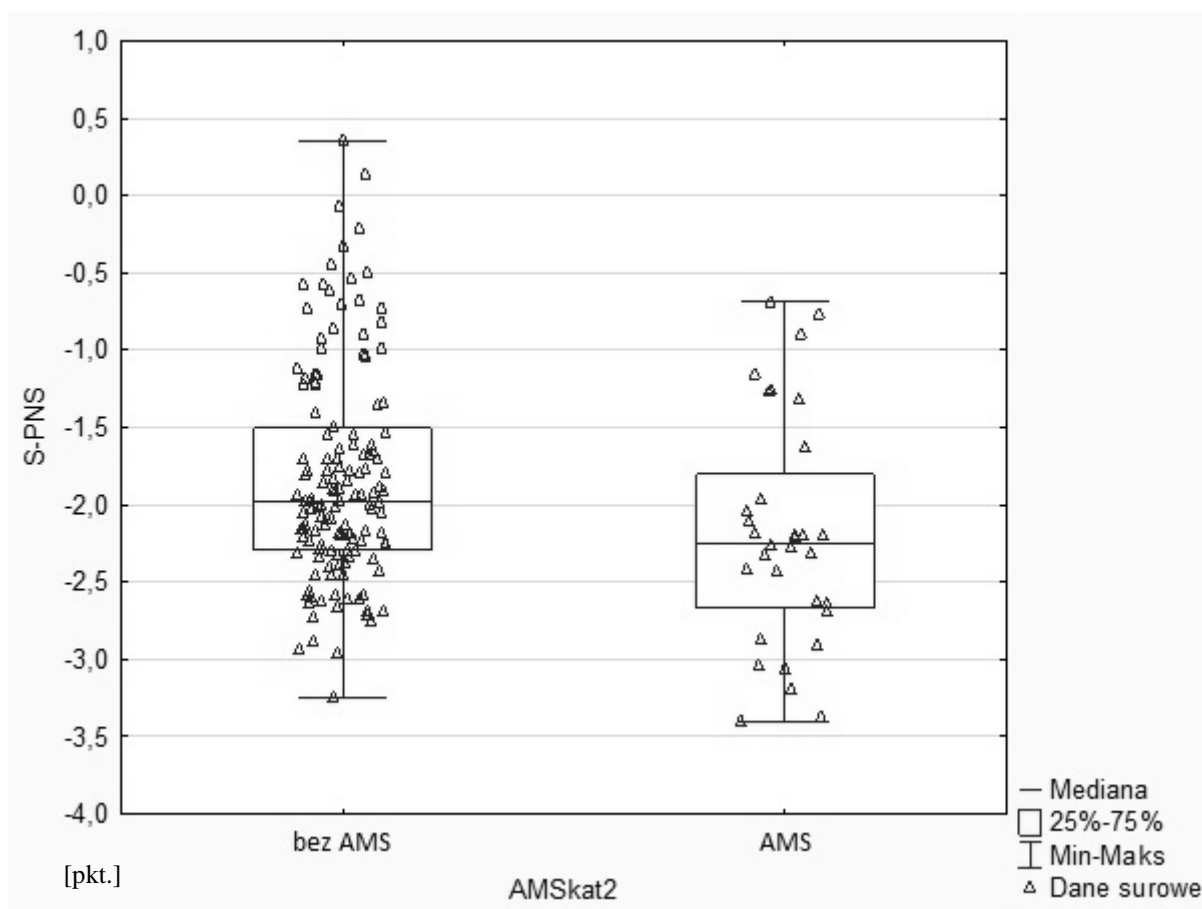


Ryc. 10. Poziom nasycenia hemoglobiny tlenem (%) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej

2.2.1. Występowanie ostrej choroby górskiej a wskaźniki reakcji autonomicznego układu nerwowego w grupie badanej

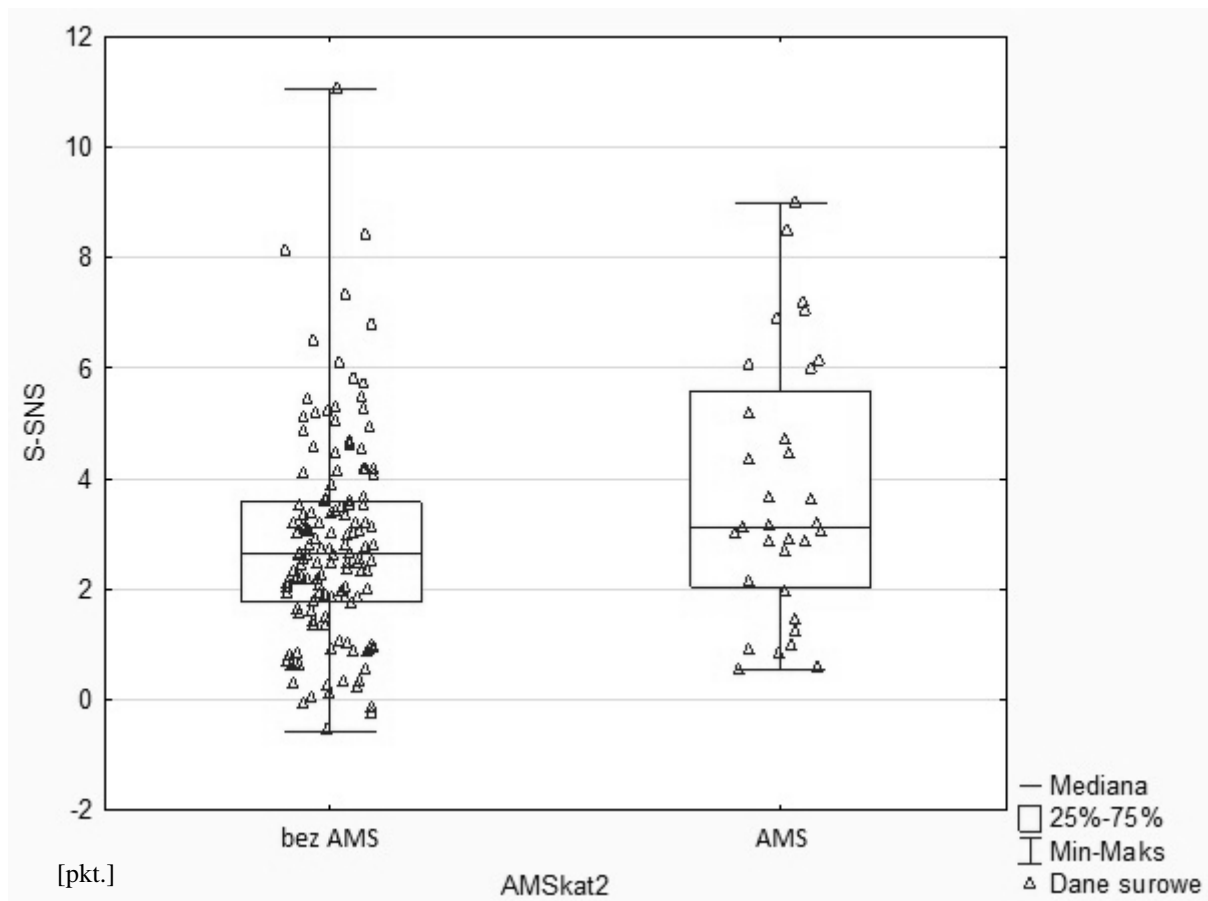
Wiadomo, że aktywność przywspółczulnej części układu nerwowego (PNS) (stymulacja nerwu błędnego) zmniejsza częstość akcji serca (tj. zwiększa średni odstęp RR) i podwyższa HRV. Aktywność współczulnej części układu nerwowego (SNS) ma odwrotny wpływ na HR i HRV, zwiększa HR i zmniejsza HRV. Uważa się, że składowa HRV o niskiej częstotliwości (LF) obejmuje obie części autonomicznego układu nerwowego, przy czym aktywność współczulna jest prawdopodobnie bardziej dominującym komponentem (European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology 1996). Należy również zauważyć, że aktywacja układu współczulnego powoduje częstoskurcz, podczas gdy aktywacja układu przywspółczulnego powoduje sytuację odwrotną.

Zależność występowania ostrej choroby górskiej z pobudzeniem przywspółczulnego układu nerwowego może stanowić potwierdzenie wcześniejszych doniesień na temat redukcji aktywności tego układu w odpowiedzi na hipoksję (Ryc. 11).



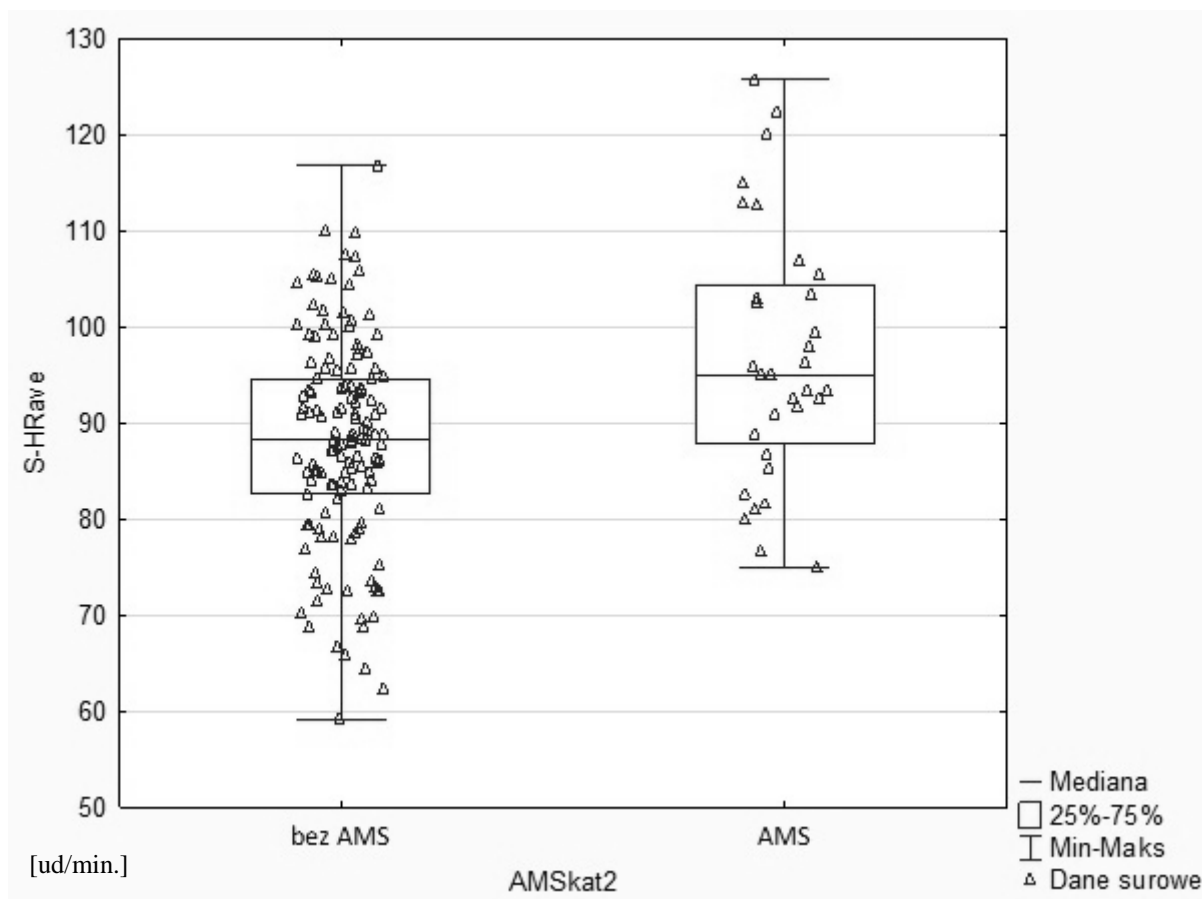
Ryc. 11. Wskaźnik pobudzenia przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej

W zależności pomiędzy brakiem objawów ostrej choroby górskiej ze wskaźnikiem pobudzenia współczulnego układu nerwowego zaobserwować można większe różnice w wartościach minimalnych i maksymalnych, a w grupie z AMS występowało znacznie większe pobudzenie wskaźnika części współczulnej autonomicznego układu nerwowego (Ryc. 12).



Ryc. 12. Wskaźnik pobudzenia współczulnego układu nerwowego (SNS) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej

Wyższe wartości średniej częstości skurczów serca w grupie z objawami AMS (Ryc. 13.) świadczyć mogą o uruchomieniu mechanizmów kompensacyjnych organizmu, takich jak przyspieszenie oddechu i hiperwentylacja, a tym samym przyspieszenie akcji serca w odpowiedzi na symptomy ostrej choroby górskiej. Wzrost częstotliwości skurczów serca, zarówno w spoczynku, jak i w czasie podejmowania aktywności fizycznej stanowi charakterystyczną, krótkotrwałą reakcję na pobyt w warunkach wysokogórskich (Ambroży i in. 2016).



Ryc. 13. Średnia częstość skurczów serca (HRave) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej

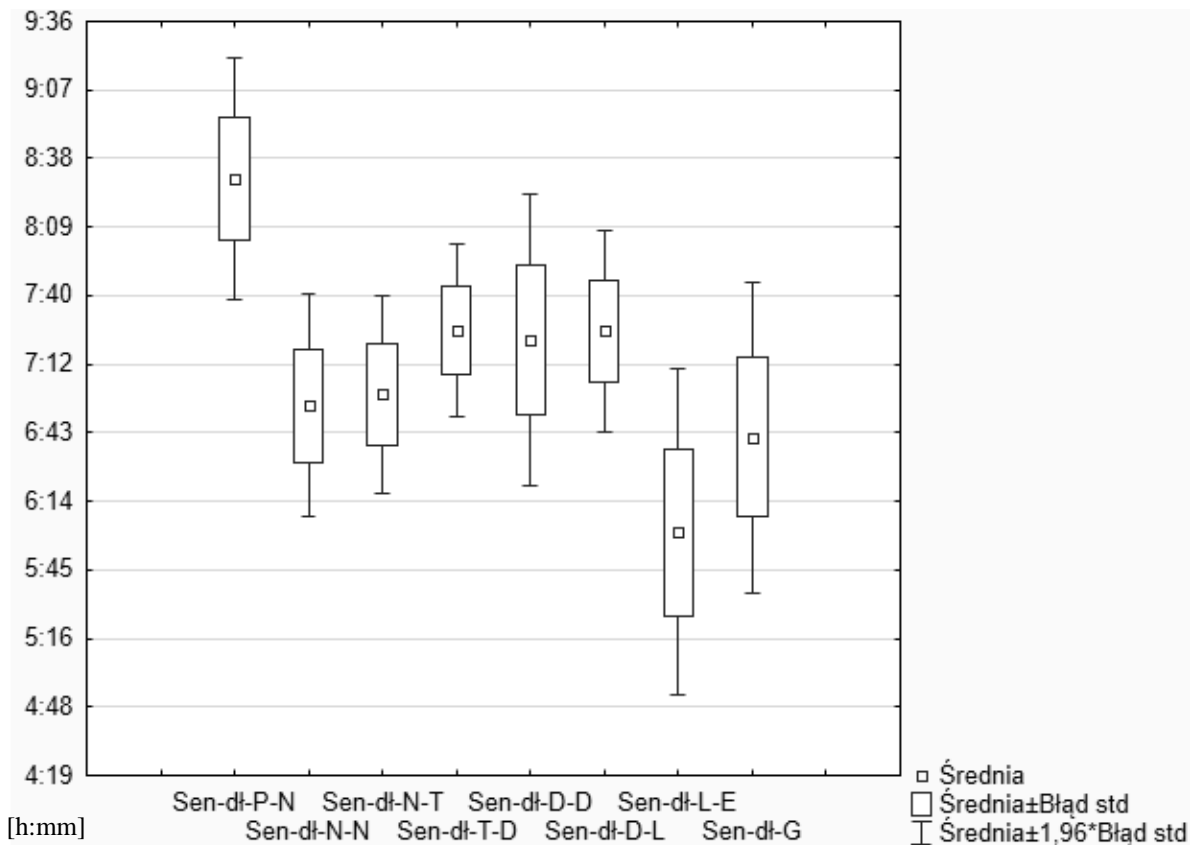
Narażenie na warunki wysokogórskie wywołuje zmiany w aktywności autonomicznego układu nerwowego. Wzrost wskaźnika SNS-Index sugeruje, że część współczulna jest dominująca w porównaniu do części przywspółczulnej, co jest również powiązane z narażeniem na ogólnoustrojowe niedotlenienie podczas przebywania na dużych wysokościach (Drinkhill i in. 2014).

2.3. Jakość snu uczestników trekkingu

W odniesieniu do warunków wysokogórskich, czas i jakość snu są bezpośrednio związane i mogą wyjaśniać zmienność w rozwoju ostrej choroby górskiej. Podczas trwania trekkingu pomiary te rejestrowano w grupie badanej przy wykorzystaniu akcelerometrów. W ostatnich latach aktygrafia jest coraz częściej wykorzystywanym narzędziem w terenowych badaniach prowadzonych w warunkach wysokogórskich (Nussbaumer-Ochsner, Bloch 2014).

Czas trwania snu odnosi się do okresu między zaśnięciem a przebudzeniem osób z grupy badanej. Średni czas trwania snu był najdłuższy pierwszej nocy (przekroczył osiem godzin),

co mogło wynikać z ogólnego zmęczenia po pokonaniu dużej różnicy wysokości podczas lotu z Kathmandu do Lukli, a następnie zejścia do wioski Phakding. Podczas kolejnych nocy średnia długość snu była krótsza niż siedem i pół godziny, czego powodem może być stopniowy wzrost wysokości nad poziomem morza. Znacząco krótszy sen osób w grupie badanej odnotowano pod koniec trekkingu, tj. siódmej i ósmej nocy (Ryc. 14).

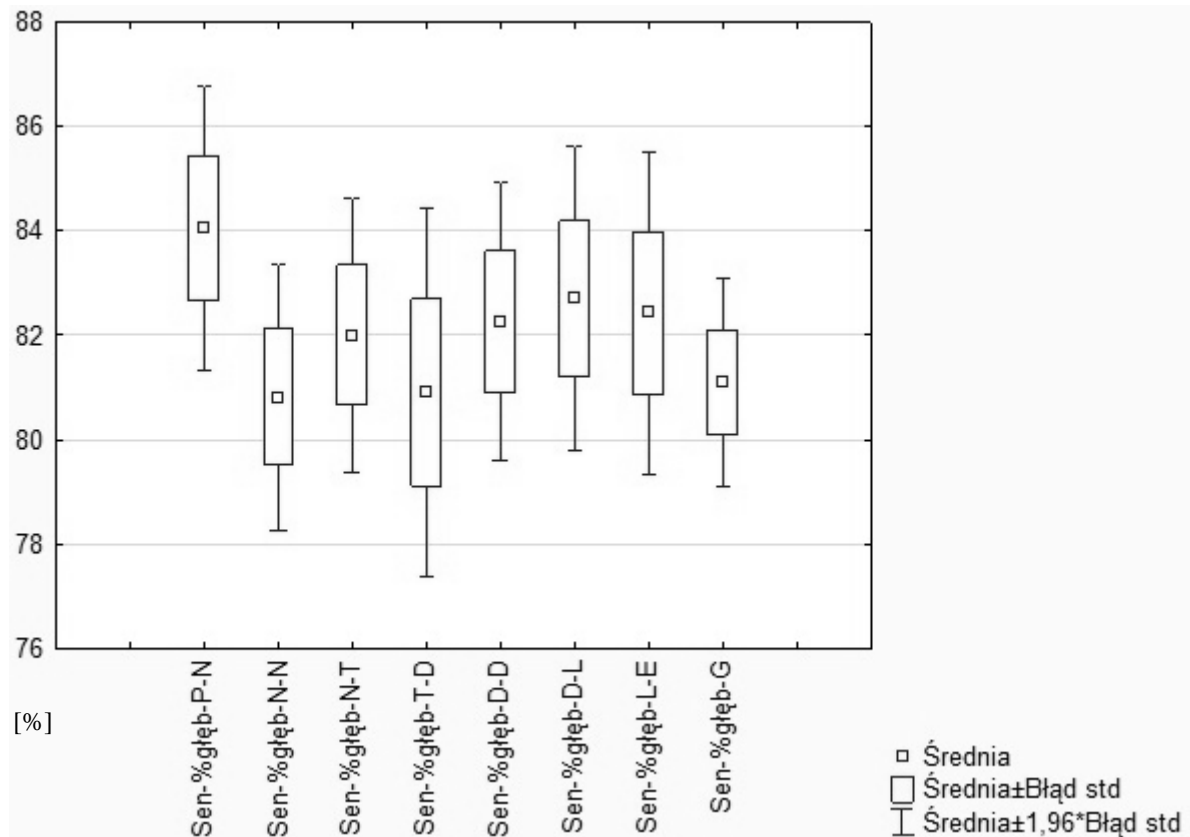


Legenda: P-N- Phakding (2610 m n.p.m.) – Namche Bazaar (3450 m n.p.m.)
 N-N- aklimatyzacja w Namche Bazaar (3450 m n.p.m. – 3880 m n.p.m.)
 N-T- Namche Bazaar (3450 m n.p.m.) – Tengboche (3867 m n.p.m.)
 T-D- Tengboche (3867 m n.p.m.) – Dingboche (4350 m n.p.m.)
 D-D- aklimatyzacja w Dingboche (4350 m n.p.m.)
 D-L- Dingboche (4350 m n.p.m.) – Lobuche (4940 m n.p.m.)
 L-E- Lobuche (4940 m n.p.m.) – Everest Base Camp (5360 m n.p.m.)
 G- Gorak Shep (5170 m n.p.m.)

Ryc. 14. Czas trwania (hh:mm) snu w grupie badanej

Najwyższy średni udział procentowy snu głębokiego (84%) w grupie badanej odnotowano pierwszej nocy, natomiast podczas kolejnych noclegów utrzymywał się na zbliżonym pułapie, oscylując w średnim przedziale 81-83% (Ryc. 15). Tak wysoki udział procentowy snu głębokiego w grupie badanej mógł być spowodowany wysiłkiem związanym

z uprawianiem trekkingu wysokogórskiego, wynikać ze stresu i ogólnego zmęczenia organizmu.



Ryc. 15. Udział procentowy snu głębokiego w grupie badanej

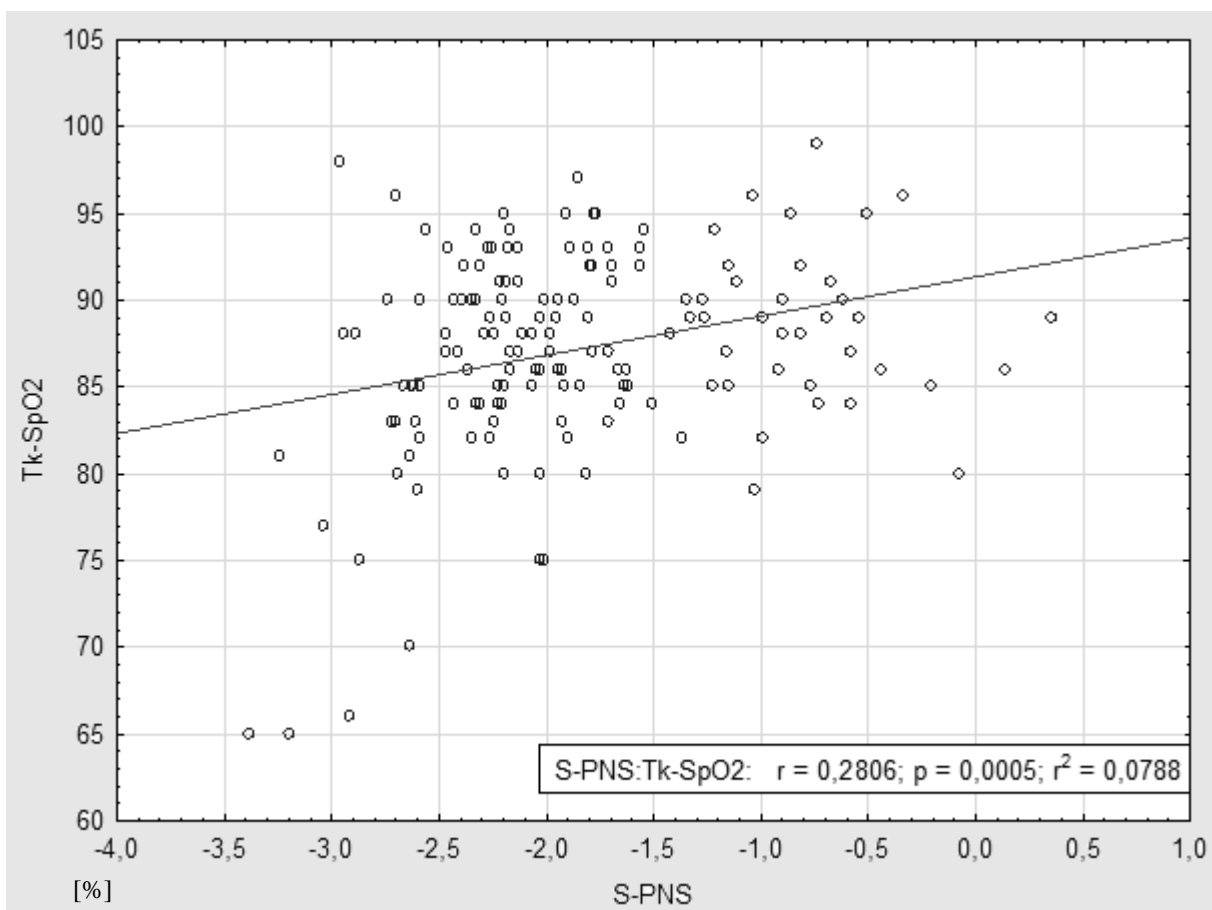
2.4. Korelacje zmiennych porannych z testu ortostatycznego z SpO₂, wysokością n.p.m. i występowaniem AMS

Reakcje adaptacyjne układu sercowo-naczyniowego na dużych wysokościach są zdominowane przez zwiększoną aktywność neuronów współczulnych. Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań sugerują, że zarówno układ współczulny (SNS), jak i przywspółczulny (PNS) są powiązane z podwyższonym tętnem we wczesnej fazie aklimatyzacji do warunków wysokogórskich. Należy wziąć pod uwagę modyfikacje zmienności rytmu serca na wysokości w świetle możliwego zmniejszenia liczby receptorów współczulnych odnotowanego we wcześniejszych pomiarach (Hughson i in. 1994).

Pośrednią metodę oceny reakcji autonomicznego układu nerwowego stanowią pomiary zmienności pracy serca. Rejestracja HRV, będąca jednocześnie nieinwazyjnym narzędziem służącym do oceny reakcji krążeniowej autonomicznego układu nerwowego, umożliwia monitoring w różnych sytuacjach (w staniu, w spoczynku, we śnie). Fizjologiczne determinanty

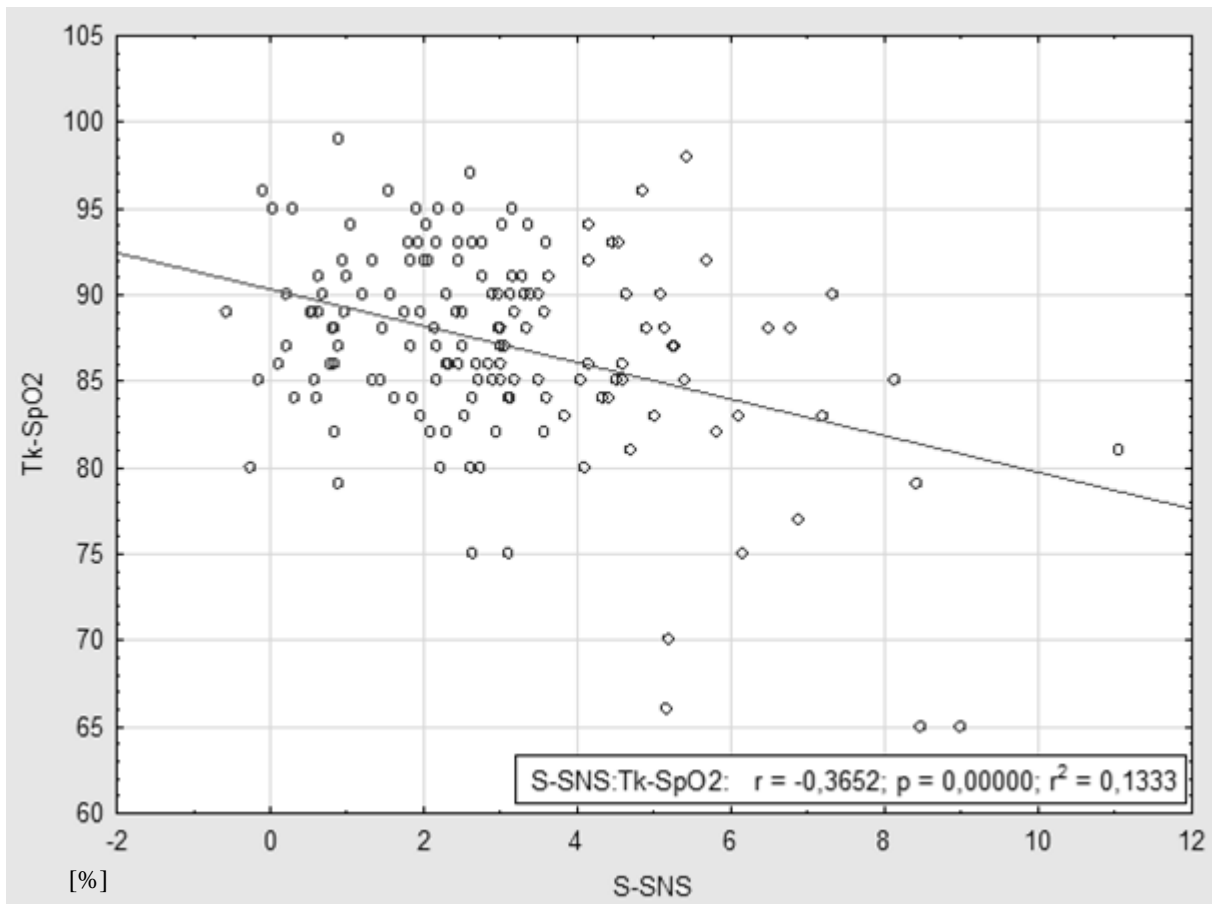
spoczynkowej zmienności pracy serca związane są z uwarunkowaniami genetycznymi, objętością osocza, aktywacją autonomicznego układu nerwowego czy pozycją ciała. Przejście z pozycji leżącej do pozycji stojącej powoduje translokację 300-800 ml krwi do kończyn dolnych (Bouillod i in. 2015, Schäfer i in. 2017).

Prostota wykonania testu ortostatycznego powoduje, że można go wykorzystywać do zaawansowanego wykrywania stanu ostrego zmęczenia i przetrenowania, będących oznaką nadmiernej eksploatacji organizmu. Pomiędzy pobudzeniem reakcji układu przywspółczulnego podczas stania w teście ortostatycznym (S-PNS) a porannym pomiarem poziomu nasycenia krwi tlenem (Tk-SpO₂) wystąpiła istotna statystycznie, choć słaba, dodatnia korelacja ($r=0,28$) (Ryc. 16). Może to wskazywać na zjawisko, że im niższe nasycenie krwi tlenem tym większa redukcja pobudzenia układu przywspółczulnego w diagnozie porannej. W powyższym przypadku można stwierdzić, że pobudzenie układu współczulnego jest ważną zależnością związaną z obniżeniem SpO₂ w grupie badanej.



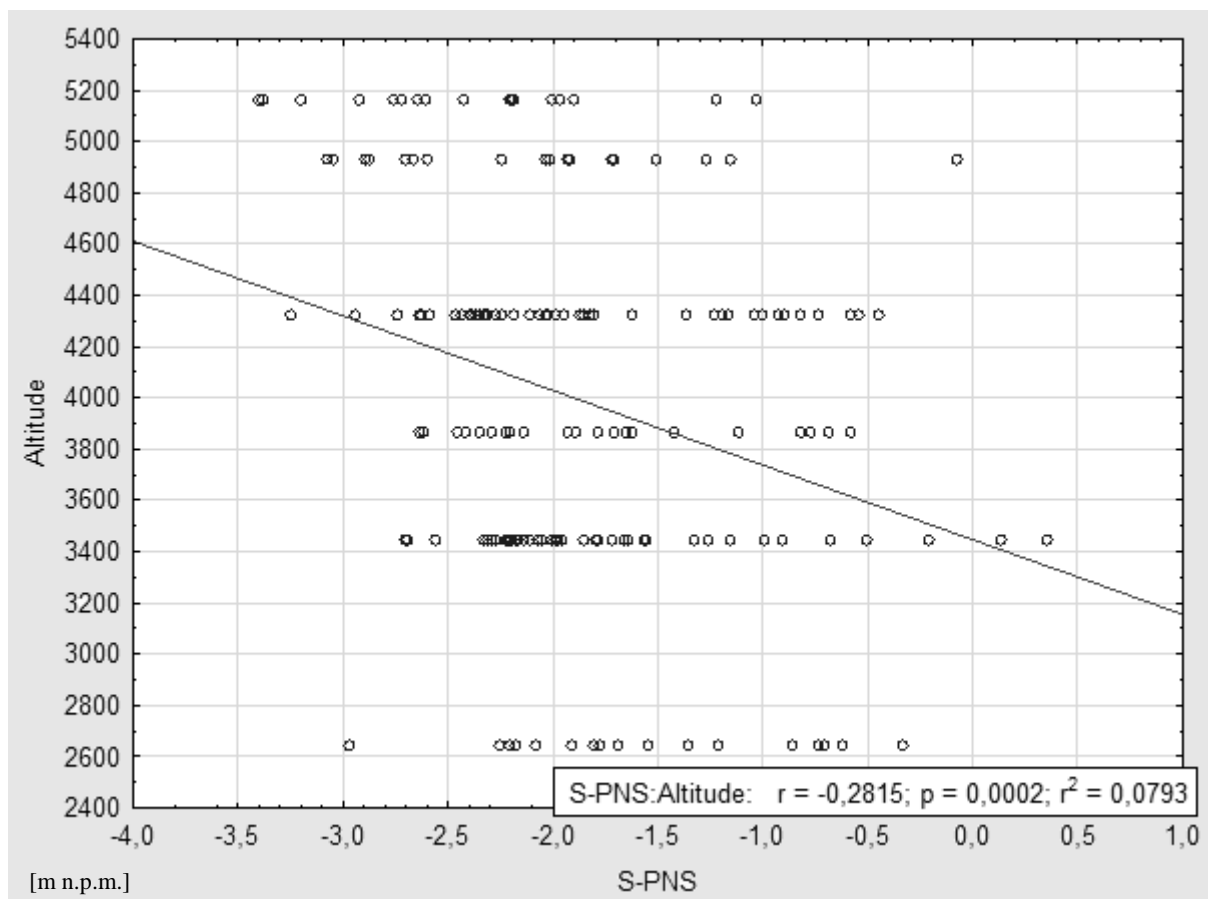
Ryc. 16. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z poziomem nasycenia hemoglobiny tlenem (pomiary poranne) w grupie badanej

Pomiędzy wskaźnikiem pobudzenia układu współczulnego podczas stania w teście ortostatycznym (S-SNS) a porannym pomiarem poziomu nasycenia hemoglobiny tlenem (Tk-SpO₂) występowała korelacja ujemna ($r=-0,36$) (Ryc. 17). Może to wskazywać na większe pobudzenie układu współczulnego w grupie badanej, z którym jednocześnie SpO₂ jest silniej powiązane ($p<0,001$).



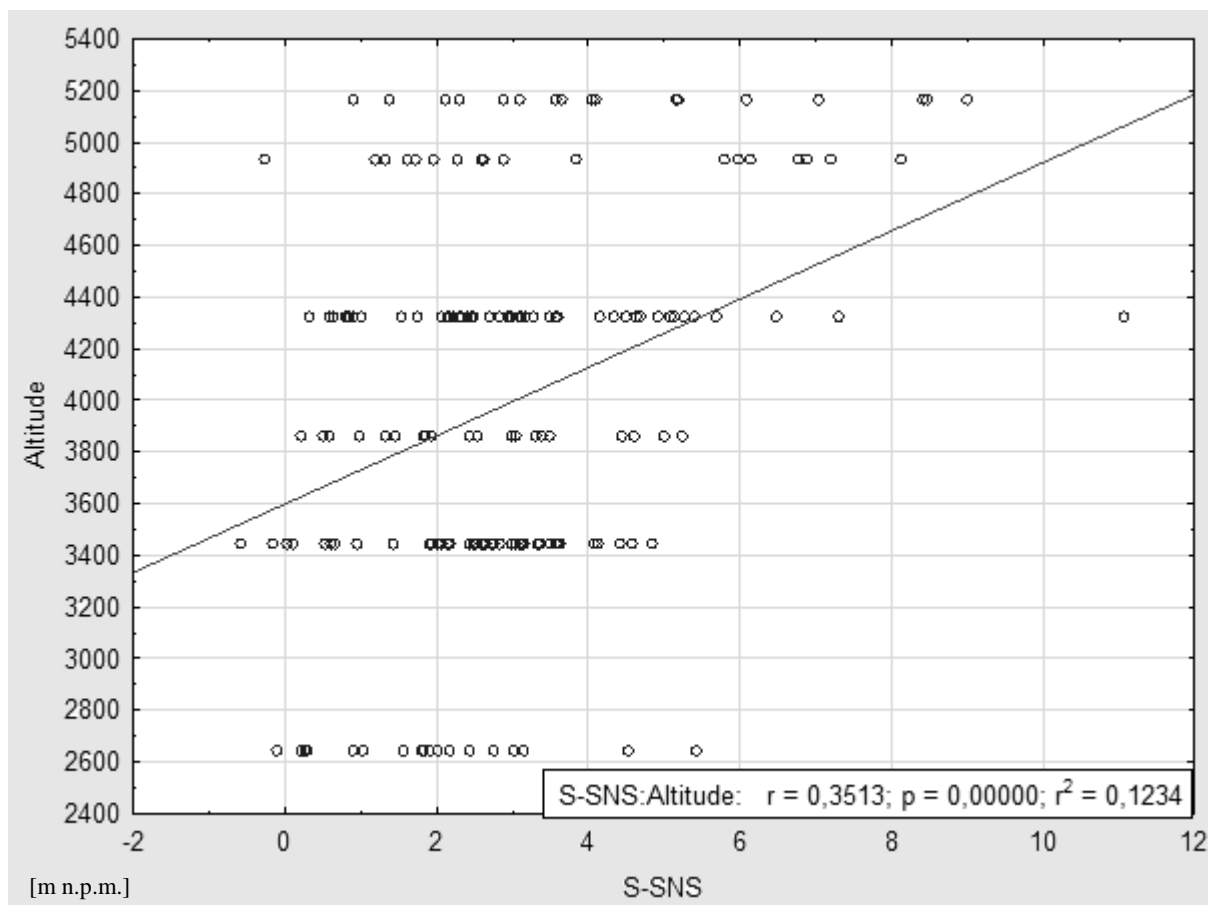
Ryc. 17. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z poziomem nasycenia hemoglobiny tlenem (pomiary poranne) w grupie badanej

Korelacja pomiędzy wysokością nad poziomem morza (Altitude) a wskaźnikiem pobudzenia przywspółczulnego układu nerwowego podczas stania w teście ortostatycznym (S-PNS) w grupie badanej była ujemna ($r=-0,28$), ale istotna statystycznie ($p<0,0002$) (Ryc. 18). Tendencja spadkowa pobudzenia układu parasympatycznego wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza może być związane z naturalną fizjologiczną odpowiedzią organizmu na przebywanie w warunkach wysokogórskich i jednocześnie wskazywać na słabiej zachodzące procesy regeneracji i odpoczynku osób w grupie badanej.



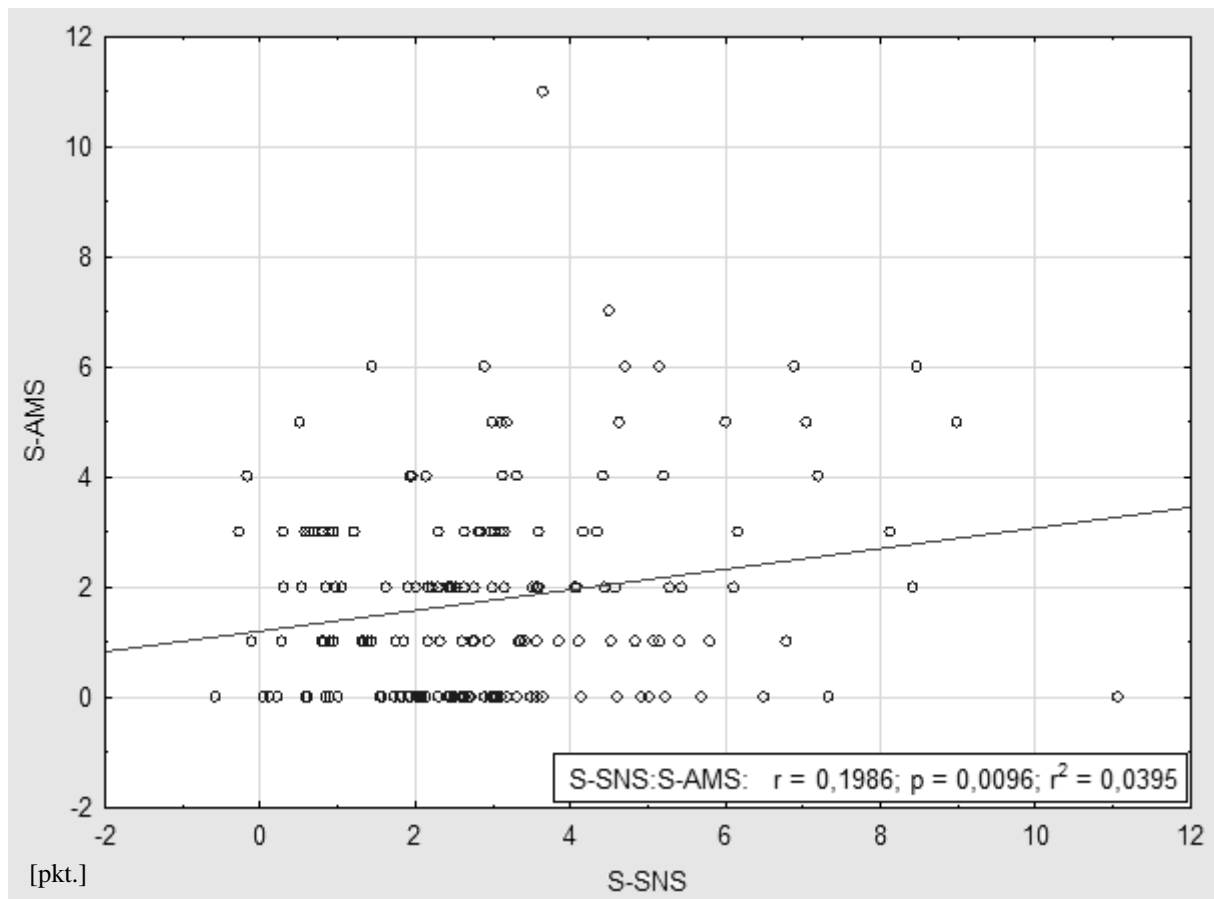
Ryc. 18. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z wysokością nad poziomem morza w grupie badanej

Pomiędzy wskaźnikiem pobudzenia układu współczulnego podczas stania w teście ortostatycznym (S-SNS) a wysokością nad poziomem morza (Altitude) występowała słaba, dodatnia ($r=0,35$), ale istotna statystycznie korelacja (Ryc. 19). Może to wskazywać na zjawisko, że wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza wzrasta również wskaźnik pobudzenia układu współczulnego w diagnozie porannej w grupie badanej, co może być powiązane z mobilizacją organizmu do dalszego podejmowania wysiłku i wydajnego funkcjonowania w warunkach wysokogórskich.



Ryc. 19. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z wysokością nad poziomem morza w grupie badanej

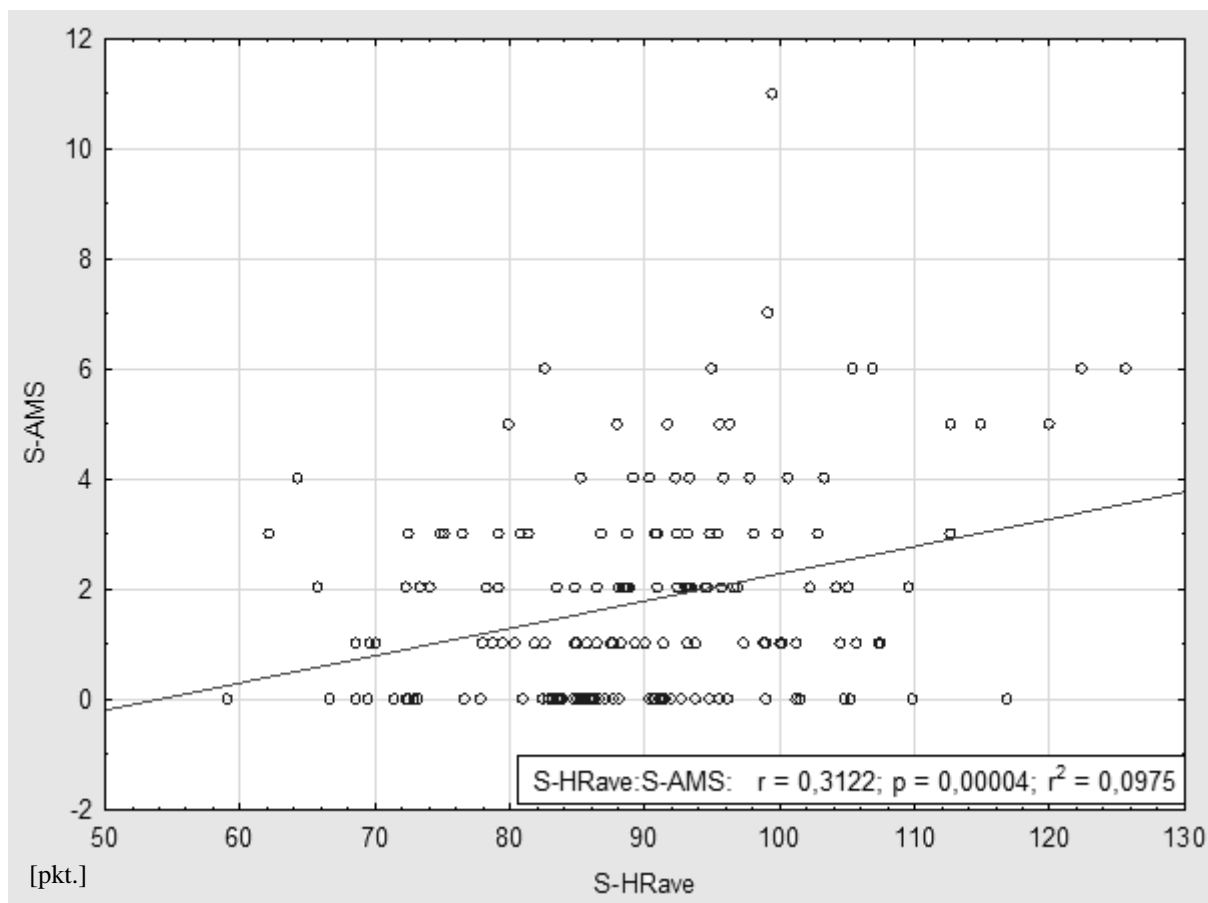
Pomiędzy wskaźnikiem pobudzenia współczulnego układu nerwowego podczas stania w teście ortostatycznym (S-SNS) a występowaniem choroby górskiej (S-AMS) w pomiarach porannych występowała dodatnia ($r=0,19$), istotna statystycznie korelacja (Ryc. 20), co znajduje swoje uzasadnienie w zależności pomiędzy układem współczulnym a SpO_2 , które również jest silnie uwarunkowane wzrostem wysokości nad poziomem morza.



Ryc. 20. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z występowaniem ostrej choroby górskiej (AMS) w grupie badanej

Korelacja występowania ostrej choroby górskiej (AMS) z średnimi wartościami częstości skurczów serca (HRave) podczas stania w teście ortostatycznym, w grupie badanej była słaba, dodatnia ($r=0,31$), istotna statystycznie (Ryc. 21).

W powyższych analizach wyraźnie uwidacznia się, że układ współczulny podczas stania w teście ortostatycznym jest pobudzany przez redukcję SpO_2 , co jest związane ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Ma on również słabe powiązanie z występowaniem ostrej choroby górskiej. Zatem większą predykcję AMS można uzyskać za pomocą pomiaru HR podczas stania w teście ortostatycznym ($r=0,31$), którego w tym przypadku układ współczulny jest głównym moderatorem.



Ryc. 21. Korelacje występowania ostrej choroby górskiej (AMS) z średnimi wartościami częstości skurczów serca (HRave) w grupie badanej

2.5. Dane czasowo-przestrzenne poszczególnych etapów trekkingu

Rejestracja danych o charakterze czasowo-przestrzennym podczas trwania trekkingu w poszczególnych grupach, umożliwiła weryfikację profilu wysokościowego wyprawy, przyjętego przez organizatorów. Dodatkowo uzyskano dane dotyczące dystansu poszczególnych etapów marszu, czasy trwania wysiłku i odpoczynku uczestników oraz prędkość marszu.

Uczestnicy pokonywali wytyczoną trasę trekkingu poruszając się we wcześniej ustalonych grupach, pod opieką delegowanego przez organizatora kierownika oraz w towarzystwie dwóch lokalnych przewodników. Godzinę rozpoczęcia marszu każdego etapu wyznaczał kierownik w dniu poprzedzającym wyjście, natomiast tempo marszu było następstwem wielu składowych, m.in. ukształtowania terenu, warunków atmosferycznych czy indywidualnych predyspozycji członków grupy.

Wartości odnoszące się do prędkości poruszania, sumy przebytych kilometrów, podejść i zejść oraz wysokości nad poziomem morza uzyskano z pomiarów monitorami Polar V800.

Dokładność lokalizacji GPS była akceptowalna przy minimalnym zasięgu (udziale) sześciu satelitów. Dodatkowo dane dotyczące względnej wysokości nad poziomem morza były weryfikowane w odniesieniu do aktualnej mapy obszaru penetracji.

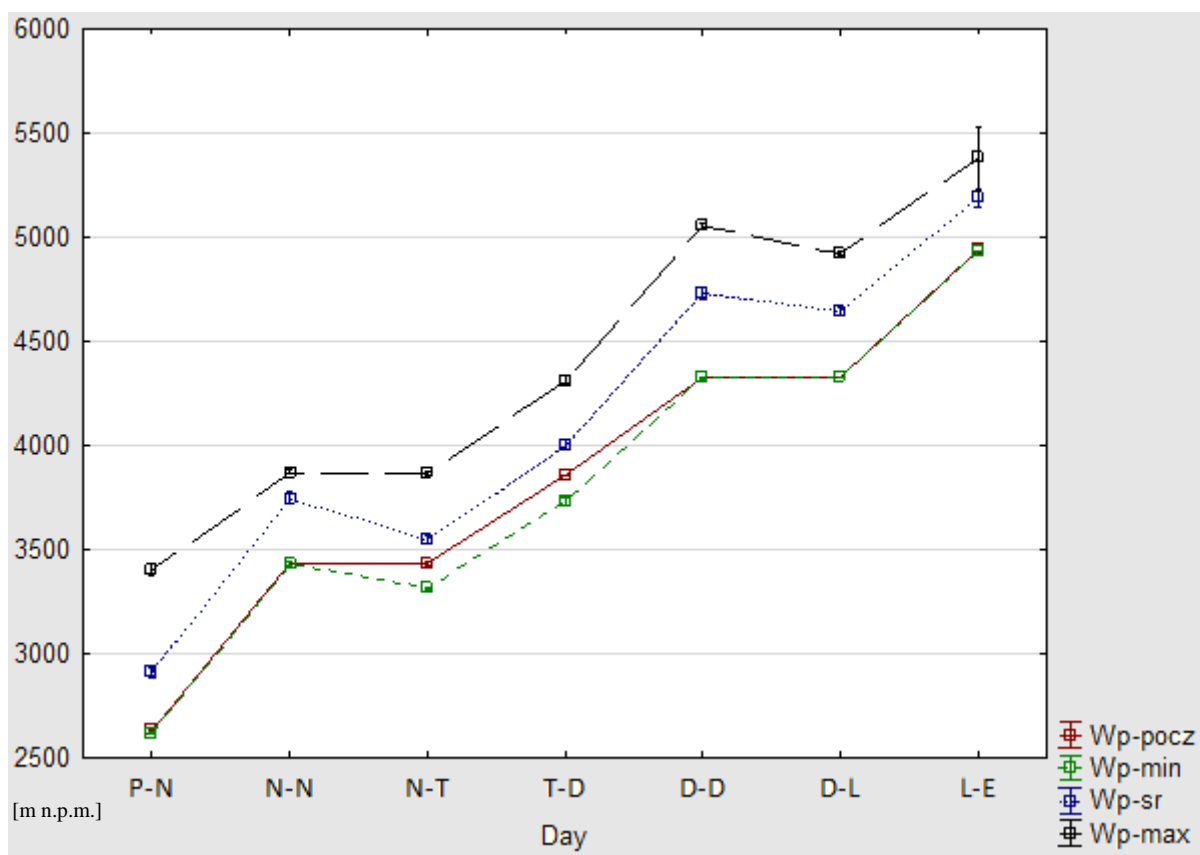
Łączny dystans dzielący wioskę Phakding i Gorak Shep, wynosi ok. 40,3 km. Uczestnicy trekkingu oprócz wskazanej odległości, zaplanowane mieli również dodatkowe dni aklimatyzacyjne, związane z realizacją wycieczek pieszych po okolicy, co przełożyło się na wydłużenie łącznie przebytej sumy kilometrów. Czasy trwania poszczególnych etapów marszu charakteryzowały się zróżnicowaniem, zwłaszcza pomiędzy pierwszym, drugim i ostatnim a pozostałymi dniami trekkingu. Pierwszego dnia pomiarów uczestnicy badań mieli do przebycia najdłuższy odcinek oraz największe przewyższenie, co przełożyło się na czas trwania. W dniu drugim odbywała się wycieczka aklimatyzacyjna, podczas której nastąpiło zróżnicowanie trasy między grupami, natomiast w dniu ostatnim, kiedy osiągnany był cel - baza pod Everestem, część uczestników zdobywała również pobliski szczyt Kala Pattar (5643 m n.p.m.), będący jednocześnie punktem widokowym na okolicę.

Największe różnice w przebytych dystansie (min-max = 6-12 km) dotyczą wyjścia aklimatyzacyjnego w dniu drugim, podczas którego grupy wybierały różne trasy oraz w dniu ostatnim (min-max = 8-15 km), gdzie uczestnicy wyznaczali sobie różne cele, tj. dojście do Everest Base Camp, zdobycie szczytu Kala Pattar, lub oba wymienione. Najkrótszy dystans w dniu piątym, związany był ze zdobywaniem wzniesienia Nagkartshang w ramach aklimatyzacji z wioski Dingboche, gdzie stosunkowo niewielki dystans obarczony był dużą różnicą wysokości >700 metrów.

Największa suma podejść, przekraczająca 1100 metrów dotyczyła pierwszego dnia pomiarów, kiedy uczestnicy pokonywali trasę pomiędzy wioską Phakding a Namche Bazaar oraz dnia trzeciego na trasie z Namche Bazaar do Tengboche.

Średnia wysokość podczas poszczególnych etapów trekkingu przyjmowała wartości w przedziale 2900-5300 m n.p.m. i podobnie jak wysokość początkowa wzrastała stopniowo z zauważalną tendencją spadkową po dniach aklimatyzacyjnych (Ryc. 22), co znajduje swoje uzasadnienie w prawidłowo zaplanowanym profilu wysokościowym trasy trekkingu.

Maksymalne osiągnięte wysokości w kolejnych dniach trekkingu przyjmowały rozkład zbliżony wysokościom początkowym oraz średnim. Wyraźne zróżnicowanie zaobserwować można w dniu ostatnim (Ryc. 22), co jest wynikiem rozbieżności celów w grupie badanej. U osób, które zdecydowały się oprócz bazy pod Everestem, zdobywać pobliski punkt widokowy Kala Pattar, wysokość adekwatnie przyjmowała wyższe wartości i przekraczała 5600 m n.p.m.



Legenda: P-N- Phakding (2610 m n.p.m.) – Namche Bazaar (3450 m n.p.m.)
 N-N- aklimatyzacja w Namche Bazaar (3450 m n.p.m. – 3880 m n.p.m.)
 N-T- Namche Bazaar (3450 m n.p.m.) – Tengboche (3867 m n.p.m.)
 T-D- Tengboche (3867 m n.p.m.) – Dingboche (4350 m n.p.m.)
 D-D- aklimatyzacja w Dingboche (4350 m n.p.m.)
 D-L- Dingboche (4350 m n.p.m.) – Lobuche (4940 m n.p.m.)
 L-E- Lobuche (4940 m n.p.m.) – Everest Base Camp (5360 m n.p.m.)

Ryc. 22. Wysokość początkowa, minimalna, średnia i maksymalna (m n.p.m.) poszczególnych etapów trekkingu

Taki rozkład wysokości podczas trekkingu w Parku Narodowym Sagarmatha oraz monitoring i analiza pozostałych danych czasowo-przestrzennych umożliwiły przeprowadzenie wielodyscyplinarnych badań związanych z wpływem czynników egzo- i endogenicznych na organizm człowieka. Przyjęty przez organizatorów projektu „Polskie Himalaje 2018” profil wysokościowy oraz harmonogram dni aklimatyzacyjnych odpowiada powszechnie przyjętym standardom i zaleceniom Międzynarodowej Federacji Związków Alpinistycznych (UIAA), dotyczącym organizacji wyjazdów komercyjnych w góry wysokie. Jednocześnie pozwoliło to wykluczyć błędny profil wysokościowy i nieprawidłową

taktykę aklimatyzacyjną spośród przyczyn zapadalności na ostrą chorobę górską w grupie badanej.

3. Podsumowanie i wnioski

Obszary wysokogórskie stanowią nadzwyczaj atrakcyjne i coraz bardziej popularne obszary recepcji turystycznej, związane z podejmowaniem turystyki aktywnej, np. poprzez udział w zorganizowanych wyprawach trekkingowych. Rozpowszechnienie i znacznie łatwiejsza dostępność wysoko usytuowanych szlaków i niewymagających technicznie, wysokich szczytów górskich powoduje potrzebę prowadzenia szeroko zakrojonych badań, pomiarów i obserwacji o charakterze interdyscyplinarnym, również wśród przeciętnych turystów.

Na podstawie wieloaspektowych analiz materiału badawczego zweryfikowano postawione wcześniej pytania badawcze i sformułowano następujące wnioski:

1. Struktura aktywności fizycznej w warunkach wysokogórskich podczas trekkingu w Parku Narodowym Sagarmatha, przyjmuje formę długotrwałych wysiłków tlenowych o umiarkowanej intensywności oraz zróżnicowanej sumie podejść i zejść.
2. Indywidualne różnice w reakcji układu krwionośnego (HR, HRV, SpO₂) w hipoksji, zarówno w spoczynku jak i podczas wysiłku przyjmują wyższe wartości bazowe w warunkach laboratoryjnych aniżeli w środowisku naturalnym gór wysokich, podczas uczestnictwa w trekkingu.
3. W grupie przypadków kiedy występowały objawy ostrej choroby górskiej, w porannych testach ortostatycznych odnotowywano wyższy poziom częstości skurczów serca w pozycji stojącej, co świadczyć może o większym pobudzeniu układu współczulnego i mocniejszej redukcji pobudzenia układu przywspółczulnego.

Uwzględniając duże przewyższenia, strome podejścia i zejścia oraz dystanse pokonywane w poszczególnych dniach analizowanego trekkingu oraz na innych tego typu szlakach i obszarach recepcji turystycznej w górach wysokich, każdorazowo powinno mieć miejsce wcześniejsze, kompleksowe przygotowanie organizmu, oparte na treningu kondycyjnym o charakterze wytrzymałościowym.

3.1. Ograniczenia badań

Realizacja wieloetapowego procesu badawczego każdorazowo wiąże się z szeregiem trudności, barier i ograniczeń. Wśród najistotniejszych utrudnień, które wystąpiły w niniejszej pracy wymienić należy specyficzne warunki terenowe, jakie stwarza środowisko gór wysokich.

Kolejną znaczącą barierę związaną z analizą materiału badawczego, doborem testów statystycznych oraz późniejszym wnioskowaniem, stanowiła niejednorodna struktura grupy badanej, w składzie której znalazły się osoby aktywnie uprawiające turystykę górską, niemniej jednak w zróżnicowanym zakresie podejmujące aktywność fizyczną oraz o odmiennym doświadczeniu, lub jego całkowitym braku w górach wysokich. Ponadto wśród ograniczeń badań wskazać można posłużenie się próbami ortostatycznymi, które pomimo iż są stosunkowo często stosowane w tego typu badaniach, należałoby rozpatrywać jako reakcję układu naczyniowego na sygnał z baroreceptorów. Podobnie w przypadku wskaźników pobudzenia współczulnej i przywspółczulnej części autonomicznego układu nerwowego, z wyliczeń na podstawie programu Kubios HRV Standard 3.0.0 do analizy zmiennych HR i VHR, w sposób pośredni określono wskaźniki PNS- i SNS- Index. Wśród innych ograniczeń badań należy wskazać subiektywne metody oceny, zarówno występowania objawów ostrej choroby górskiej (skala AMS), jak i oceny ciężkości wykonywanej pracy (skala RPE), dokonywanych w samoocenie badanych.

Wskazanie powyższych ograniczeń może w przyszłości przyczynić się do bardziej efektywnego planowania, realizacji oraz analizy materiału badawczego, projektów prowadzonych w zbliżonych warunkach. Z pewnością wartym uwagi i rozpatrzenia jest również kwestia eksperymentów hybrydowych, z wykorzystaniem osiągnięć współczesnej technologii. Sugeruje się przeprowadzenie prób polegających na zdobyciu pełnej aklimatyzacji do określonej wysokości w warunkach terenowych oraz późniejszą rejestrację parametrów wysiłkowych w warunkach laboratoryjnych, symulujących wysokość przy zminimalizowaniu wpływu innych czynników urazowych, m.in. ryzyko załamania warunków atmosferycznych i tym samym niepowodzenie np. ataku szczytowego. Niemniej jednak, z pewnością wymagać to będzie znacznie większych nakładów finansowych, precyzyjnie dopracowanej logistyki w zakresie transportu, a skompletowanie reprezentatywnej grupy badanej również może okazać się sporym wyzwaniem.

Bibliografia:

1. Ambroży T., Wieczorek T., Mucha D. Zasady właściwego i bezpiecznego prowadzenia treningu wysokogórskiego jako elementu kształtującego zdolności kondycyjne sportowców. *Kultura bezpieczeństwa, Nauka – Praktyka – Refleksje*, 2016; 24, s. 46-73.
2. Andrejczuk W. Himalaje: szkic fizycznogeograficzny- przyroda nieożywiona. *Acta Geographica Silesiana*, 24. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec 2016, s. 5-28.
3. Andrejuk A. Turystyka aktywna, rekreacyjna i specjalistyczna, wyd. Kengraf, Warszawa 1998.
4. Andrzejewska H. Sporty ekstremalne - szanse na nową formę turystyki „nadaktywnej”?, w: Kazimierzczak, M. (red.), Turystyka i podróżowanie w aksjologicznej perspektywie, AWF im. E. Piaseckiego w Poznaniu, Poznań 2007.
5. Apollo M. Meteorologiczne uwarunkowania klimatu górskiego a sezonowość wspinaczkowa szczytów korony ziemi, *Episteme*, 2014; 2.
6. Barry P.W., Pollard A.J. Altitude illness. *British Medical Journal*, 2003; 326, s. 915-919.
7. Bärtsch P., Bailey D.M. Acute Mountain Sickness and High Altitude Cerebral Oedema [w:] High Altitude: Human Adaptation to Hypoxia (red.) Swenson E.R. Bärtsch P. Springer Science+Business Media New York, 2014, s. 379-403.
8. Berger M.M., Grocott M.P.W. Facing acute hypoxia: from the mountains to critical care medicine. *British Journal of Anaesthesia*, 2017; 118(3), s. 283-286.
9. Bhaumik G., Daas D., Ghosh D., Kumar H., Kumar S., Kumar U., Sharma Y.K., Reddy M.P.K., Kumar B., Bala Singh S. Effect of Intermittent Normobaric Hypoxia Exposures on Acute Mountain Sickness During Acute Ascent to 3500 m in Indian Military Personnel. *Defence Life Science Journal*, 2018, 3(3), s. 209-215.
10. Bian Shi-Zhu, Jun Jin, Ji-Hang Zhang, Qian-Ning Li, Jie Yu, Shi-Yong Yu, Jian-Fei Chen, Xue-Jun Yu, Jun Qin, Lan Huang. Principal Component Analysis and Risk Factors for Acute Mountain Sickness upon Acute Exposure at 3700 m. 2015. PLoS ONE 10(11): e0142375. doi:10.1371/journal.pone.0142375.
11. Bouillod A., Cassirame J., Bousson J.M., Sagawa Y. Jr., Tordi N. Accuracy of the Suunto system for heart rate variability analysis during a tilt-test. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 2015; 17(4), s. 409-417.

12. Boushel R., Calbet L. J-A., Rådegran G., Sondergaard H., Wagner P.D., Saltin B. Parasympathetic Neural Activity Accounts for the Lowering of Exercise Heart Rate at High Altitude. *Circulation*, 2001; 104(15).
13. Brierley G., Parks T., Wolff C.B. The Relationship of Acute Mountain Sickness to Arterial Oxygen Saturation at Altitudes of 3,324 to 5,176 m [w:] Oxygen Transport to Tissue XXXIII, *Advances in Experimental Medicine and Biology* 737, Springer Science+Business Media LLC, 2012 s. 207-212.
14. Burtscher M., Szubski C., Faulhaber M. Prediction of the susceptibility to AMS in simulated altitude, *Sleep Breath*, 2008; 12, s. 103-108.
15. Christensen E.H., Forbes W.H. Der Kreislauf in grossen Höhen. *Skandinavisches Archiv fur Physiologie* 1937; 76, s. 75-89.
16. Chicharro J.L., Lucia A., Perez M., Vaquero A.F., Urena R. Saliva composition and exercise. *Sports Medicine*, 1998; 26, s. 17-27.
17. Cibella F., Cuttitta G., Romano S., Grassi B., Bonsignore G, Milic-Emili J. Respiratory energetics during exercise at high altitude. *Journal of Applied Physiology*, 1999; 86, s. 1785, 1792.
18. Coquart J.B., Garcin M., Parfitt G., Tourny-Chollet C., Eston R.G. Prediction of Maximal or Peak Oxygen Uptake from Ratings of Perceived Exertion. *Sports Medicine*, 2014; 44, s. 563-578.
19. Csikszentmihalyi M. *Flow: The psychology of optima experience*. Harper & Row. 1990.
20. Cysewska-Sobusiak A. Nieinwazyjne spektrofotometryczne monitorowanie utlenowania krwi, Instytut Elektroniki i Telekomunikacji, 2011, s. 7-11.
21. Czuba M. Wpływ hipoksji hipo- i normobarycznej na wydolność aerobową oraz możliwości wysiłkowe zawodników dyscyplin wytrzymałościowych w normoksji. AWF Katowice. 2013.
22. Dąbrowski W., Dąbrowski R., Wyciszczok T., Falk J. Gospodarka tlenem organizmu ludzkiego na dużych wysokościach. *Wiadomości Lekarskie*, Lublin 2006, s. 238-241.
23. Drdoš J., Kele F., Mariot P., Midriak R., Zatkalik F. *Park Narodowy Sagarmatha. Szerpowie i ich ojczyzna pod Mount Everestem*, Wrocław 1990.
24. Drinkhill M.J., Hainsworth R., Claydon V.E. Autonomic Nervous System [w:] *High Altitude: Human Adaptation to Hypoxia* (red.) Swenson E.R. and Bärtsch P. Springer Science+Business Media, New York 2014, s. 171-189.
25. Everest Base Camp Trekking Map 500 Series 1:50 000, NE519, Himalayan MapHouse Pvt. Ltd., Kathmandu 2014.

26. Ferretti G., Boutellier U., Pendergast D.R., Moia C., Minetti A.E., Howald H., Prampero P.E. Oxygen transport system before and after exposure to chronic hypoxia. *International Journal of Sports Medicine*, 1990; 11, s. 15-20.
27. Frühauf A., Burtscher M., Pocecco E., Faulhaber M., Kopp M. Subjective assessment of acute mountain sickness: investigating the relationship between the Lake Louise Self-Report, a visual analogue scale and psychological well-being scales. SpringerPlus, 2016; 5, s. 1646.
28. Fusek W., Porębski J. Lekarze w górach. Bohaterowie drugiego planu, wyd. Agora, Warszawa 2020, s. 45-59.
29. Ghaleb A.M., Ramadan M.Z., Badwelan A., Mansour L., Al-Tamimi J., Aljaloud K.S. Determining the time needed for workers to acclimatize to hypoxia, *International Journal of Biometeorology*, 2020 (<http://doi.org/10.1007/s00484-020-01989-8>).
30. Gibson H. Sport tourism: A critical analysis of research. *Sport Management Review*, 1998; 1, s. 45-76.
31. Graydon D., Hanson K. (red.) Góry- wolność i przygoda. Od trekkingu do alpinizmu, wyd. II, Galaktyka, Łódź 2008.
32. Górski J. (red.) Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego wyd. II, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 2008.
33. Hackett P.H., Roach R.C. High-altitude illness. *The New England Journal of Medicine.*, 2001; 345, s. 107-114.
34. Hainsworth R., Drinkhill M.J., Rivera-Chira M. The autonomic nervous system at high altitude. *Clinical Autonomic Research*, 2007, s. 13-19.
35. Hansen J., Sander M. Sympathetic neural overactivity in healthy humans after prolonged exposure to hypobaric hypoxia. *The Journal of Physiology*, 2003; 546, s. 921-929.
36. Honigman B., Read M., Lezotte D., Roach R.C. Sea-level physical activity and acute mountain sickness at moderate altitude. *The Western Journal of Medicine*, 1995; 163, s. 117-121.
37. Houston C.S. Altitude illness- 1976 version. *American Alpine Journal*, 1976, s. 407-415.
38. Huang H.H., Tseng C.Y., Fan J.S., Yen D.H., Kao W.F., Chang S.C., Kuo T.B., Huang C.I., Lee C.H. Alternations of heart rate variability at lower altitude in the predication of trekkers with acute mountain sickness at high altitude. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2010; 20 (1), s. 58-63.

39. Hughson R.L., Yamamoto Y., McCullough R.E., Sutton J.R., Reeves J.T. Sympathetic and parasympathetic indicators of heart rate control at altitude studied by spectral analysis. *Journal of Applied Physiology*, 1994.
40. Isserman M., Weaver S. Upadek olbrzymów. Historia wspinaczek himalajskich od epoki imperiów do epoki skrajności, Oświęcim 2019, s. 442-447.
41. Jackson S.A., Marsh H.W. Development and Validation of a Scale to Measure Optimal Experience: The Flow State Scale. *Journal of Sport & Exercise Psychology* 1996; 18, s. 17-35.
42. Janus T., Piechocki J. Wybrane stany zagrożenia zdrowia i życia związane z przebywaniem na dużej wysokości. *Anestezjologia i Ratownictwo*, 2016; 20, s. 102-111.
43. Kaczmarek-Szczęśna A. Fizjologia wysiłku. Materiały do ćwiczeń dla studentów AWFIS w Gdańsku, Gdańsk, 2010, s. 50-51.
44. Kamiński B., Kozłowski S., Nazar K. Wpływ zmiennych warunków środowiska gazowego na organizm człowieka [w:] Kozłowski S. (red.) Wprowadzenie do Fizjologii Klinicznej, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa, 1999, s. 579-595.
45. Karinen H., Peltonen J., Tikkanen H. Prevalence of acute mountain sickness among Finnish trekkers on Mount Kilimanjaro, Tanzania: an observational study. *High Altitude Medicine & Biology* 2008; 9(4), s. 301-306.
46. Karvonen M. The effect of training on heart rate. A longitudinal study, *Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae*, 1957; 35, s. 307-315.
47. Kent M. The Oxford Dictionary of Sports Science & Medicine (3 ed.), Oxford University Press, https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803105725580?fbclid=IwAR32QAK0X97y50WmdeEUPYcZnKmYGaB2R0I2Dcwcjjnr0Pm7RJhbh9_ERHM, 2007.
48. Konturek S. Fizjologia człowieka. Podręcznik dla studentów medycyny, wyd. 2. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Edra Urban & Partner, Wrocław 2013.
49. Korzeniowski K. Problemy zdrowotne w warunkach wysokogórskich. *Polski Merkuriusz Lekarski*, 2008; 15(146), s. 161-165.
50. Kosmala G., Vierek A. Podstawy geografii. Wybrane problemy. Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, Katowice 2014, s. 64.
51. Krauze T., Guzik P., Wysocki H. Zmienność rytmu serca: aspekty techniczne. *Nowiny Lekarskie*, 2001; 70(9), s. 973-984.
52. Krzeszowiak J., Michalak A., Pawlas K. Zagrożenia zdrowotne w środowisku górskim. *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine* 2014; 17(2), s. 61-68.

53. Krzymowska-Kostrowicka A. Geoeekologia turystyki i wypoczynku. PWN Warszawa. 1997.
54. Kujach S., Grzywacz T., Ziemann M., Szymczak R., Łuszczuk M., Laskowski R. The Impact of 32 Days' Exposure to Hypobaric Hypoxia on Physiological Cost of Sub-Maximal Work Performed at the Sea Level. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, Academy of Physical Education and Sport in Gdansk, 2011; 3(1), s. 19-25.
55. Kurczab J. Himalaje Nepalu. Przewodnik trekkingowy. Sklep Podróżnika. Warszawa 2013, s. 192.
56. Kurek W. (red.) Turystyka góraska [w:] Turystyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
57. Küpper Th., Gieseler U., Angelini C., Hillebrandt D., Milledge J. Consensus statement of the UIAA Medical Commission VOL: 2. Emergency Field Management of Acute Mountain Sickness, High Altitude Pulmonary Edema, and High Altitude Cerebral Edema. http://www.theuiaa.org/upload_area/Medicine/Advice-and-Recommendations/No2-MS-HAPE-HACE/English_UIAA_MedCom_Rec_No_2_AMS_HAPE_HACE_2012_V3-2.pdf (polskie tłumaczenie dostępne na: <http://www.pza.org.pl/download/1842218.pdf>) 2012.
58. Latshang T.D., Turk A.J., Hees T., Schoch O.D., Bosch M.M., Barthelmes D., Mezm T.M., Hefti H., Hefti J.P., Maggiorini M, Bloch K.E. Acclimatization improves submaximal exercise economy at 5533 m. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2013; 23(4), s. 458-467.
59. Lehmann M.J., Lormes W., Opitz-Gress A., Steinacker J.M., Netzer N., Foster C., Gastmann U. Training and overtraining: an overview and experimental results in endurance sports. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 1997; 37, s. 7-17.
60. Leichtfried V., Basic D., Burtscher M., Gothe R.M. 4 Siebert U. Schobersberger W. Diagnosis and prediction of the occurrence of acute mountain sickness measuring oxygen saturation - independent of absolute altitude? *Sleep Breath*, 2016; 20, s. 435-442.
61. Leshem E., Pandey P., Shlim D.R., Hiramatsu K., Sidi Y., Schwartz E. Clinical Features of Patients With Severe Altitude Illness in Nepal. *Journal of Travel Medicine*. 2008; 15(5), s. 315-322.
62. Łobożewicz T. Turystyka kwalifikowana, wyd. PTTK „Kraj”, Warszawa 1983.
63. MacNutt M.J., Laursen P.B., Kedia S., Neupane M., Parajuli P., Pokharel J., Sheel A.W. Acclimatisation in trekkers with and without recent exposure to high altitude. *European Journal of Applied Physiology*, 2012; 112, s. 3287-3294.

64. Major S.A., Hogan R.J., Yeates E., Imray C.H. Peripheral arterial desaturation is further exacerbated by exercise in adolescents with acute mountain sickness. *Wilderness & Environmental Medicine*, 2012; 23(1), s. 15-23.
65. Marshall J.M. Peripheral chemoreceptors and cardiovascular regulation. *Physiological Reviews*, 1994; 74, s. 543-594.
66. Martin P., Priest S. Understanding the adventure experience. *Journal of Adventure Education*, 1986; 3, s. 18-21.
67. Mazurski K. Geneza i przemiany turystyki, wyd. Wyższej Szkoły Zarządzania, Wrocław, 2006.
68. McDonald B. Elizabeth Hawley. Strażniczka gór, wyd. Agora, Warszawa 2018, s. 136.
69. Mourof L., Fabre N., Savoldelli A., Schena F. Second Ventilatory Threshold From Heart-Rate Variability: Valid When the Upper Body Is Involved? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2014; 9, s. 695-701.
70. Mullen B., Johnson C. The Psychology of Consumer Behavior. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey. 1990.
71. Nunan D., Sandercock G.R.H., Brodie D.A. A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 2010; 33, s. 1407-1417.
72. Nussbaumer-Ochsner Y., Bloch K.E. Sleep [w:] High Altitude: Human Adaptation to Hypoxia (red.) Swenson E.R. and Bärtzsch P. Springer Science+Business Media, New York 2014, s. 325-339.
73. Nyka J. Wszystko o... Alpinizm, Krajowa Agencja Wydawnicza, Warszawa 1976.
74. Oksanen P., Tulppo M.P., Auvinen J., Niemelä M., Jämsä T., Puukka K., Huikuri H.V., Korpelainen R., Venojärvi M., Kiviniemi A.M. Associations of fitness and physical activity with orthostatic responses of heart rate and blood pressure at midlife, *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2019; 29, s. 874-885.
75. Pandolf K.B., Givoni B., Goldman R.F. Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 1977; 43, s. 577-581.
76. Pandolf K.B., Pimental N.A. Energy expenditure while standing or walking slowly uphill or downhill with loads, *Ergonomics*, 1979; 22(8), s. 963-973.
77. Peacock A.J. ABC of oxygen: Oxygen at high altitude. *British Medical Journal*, 1998; 317, s. 1063-1066.
78. Pilis W., Zarzeczny R., Langfort J. Próg przemian beztlenowych. AWF Katowice 1996.

79. Potter A.W., Santee W.R., Mullen S.P., Karis A.J., Blanchard L.A., Rome M.N., Pitts K.P. Looney Complex Terrain Load Carriage Energy Expenditure Estimation Using Global Positioning System Devices. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2018; 50(10):1, s. 2145-2149.
80. Priest S. Factor Exploration and Confirmation for the Dimensions of an Adventure Experience. *Journal of Leisure Research*, 1992; 24(2) s. 127-139.
81. Przybyłowski T., Zieliński J. Problemy medyczne związane z przebywaniem na dużej wysokości. *Pneumologia i Alergologia Polska*, 2004; 72, s. 134-138.
82. Przybyłowski T., Zieliński J. Sen oraz oddychanie na wysokości 3800 m n.p.m.- wpływ aklimatyzacji. *Pneumonologia i Alergologia Polska* 2003, s. 213 -220.
83. Ravé G., Zouhal H., Boulosa D., Doyle-Baker P.K., Saeidi A., Abderrahman A.B., Fortrat J-O. Heart Rate Variability is Correlated with Perceived Physical Fitness in Elite Soccer Players. *Journal of Human Kinetics, Section II - Exercise Physiology & Sports Medicine*, 2020; 72, s. 141-150.
84. Reeves J.T., Groves B.M., Sutton J.T., Wagner P.D., Cymerman A., Malconian M.K., Rock P.B., Young P.M, Houston C.S. Operation Everest II: preservation of cardiac function at extreme altitude. *Journal of Applied Physiology*, 1987; 63, s. 531-539.
85. Richalet J-P. Acute mountain sickness: risk factors [w:] A colour atlas of mountain medicine, London 1991, s. 54-56.
86. Roach R.C., Bärtsch P., Hackett P.H., Oelz O. The Lake Louise acute mountain sickness scoring system. In: Sutton JR eds. Hypoxia and Mountain Medicine. Burlington: Queen City Printers, 1993, s. 272-274.
87. Roach R.C., Kayser B., Hackett P. Pro: headache should be a required symptom for the diagnosis of acute mountain sickness. *High Altitude Medicine & Biology*, 2011; 12(1), s. 21-22.
88. Roach R.C., Loepky J.A., Icenogle M.V. Acute mountain sickness: Increased severity during simulated altitude compared with normobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 1996; 81, s. 1908-1910.
89. Rowell L.B., Blackmon J.R. Lack of sympathetic vasoconstriction in hypoxemic humans at rest. *American Journal of Physiology*, 1986; 251, s. 562-570.
90. Rychta T. Diagnoza psychologiczna. [w:] Ulatowski T. (red.) Zastosowanie metod naukowych na potrzeby sportu. Estrella, Warszawa. 2002.
91. Ryguła I. Proces badawczy w naukach o sporcie. AWF Katowice 2003.
92. Ryn Z.J. Góry. Medycyna. Antropologia. Medycyna Praktyczna, Kraków 2018.

93. Saito S., Tanobe K., Yamada M., Nishihara F. Relationship between arterial oxygen saturation and heart rate variability at high altitudes. *The American Journal of Emergency Medicine*, 2005; 23(1), s. 8-12.
94. Sales M.M., Campbell C.S., Morais P.K., Ernesto C., Soares-Caldeira L.F., Russo P., Motta D., Moreira S.R., Nakamura F.Y., Simões H.G. Noninvasive method to estimate anaerobic threshold in individuals with type 2 diabetes. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 2011; 3, s.1-8.
95. Samusik J. Wokół Annapurny, wyd. WSiP, Warszawa 1987, s. 5.
96. Santee W.R., Blanchard L.A., Speckman K.L., Gonzalez J.A., Wallace R.F. Load carriage Model Development and Testing with Field Data. Technical Note TN03-3. Natick, MA: US Army Research Institute of Environmental Medicine 2003.
97. Sawicka K.B. Ochrona zdrowia turysty. Wyższa Szkoła Turystyki i Hotelarstwa, Gdańsk 2003, s. 20-22.
98. Savourey B., Launay J. C., Besnard Y., Guinet S., & Travers, S. Normo- and hypobaric hypoxia: Are there any physiological differences? *European Journal of Applied Physiology*, 2003; 89, s. 122-126.
99. Schäfer Olstad D., Frey M.T., Herzig D., Trachsel L.D., Wilhelm M. Sex-specific reaction of the cardiac autonomic nervous system to different training phases in Swiss elite runners. *Swiss Sports & Exercise Medicine*, 2017; 65(1), s. 28-33.
100. Schultz M.G., Climie R., Sharman J.E. Ambulatory and central haemodynamics during progressive ascent to high-altitude and associated hypoxia. *Journal of Human Hypertension*, 2014; 28, s. 705-710.
101. Shah N., Hussain S., Cooke M., O'Hara J., Mellor A. Wilderness medicine at high altitude: recent developments in the field. *Journal of Sports Medicine*, 2015; 6, s. 319-328.
102. Sharkey B.J., Gaskill S. Fizjologia sportu dla trenerów. Biblioteka trenera, Warszawa 2013.
103. Shlim D.R., Gallie J., The Causes of Death Among Trekkers in Nepal. *International Journal of Sports Medicine*, 1992; 13, s. 74-76.
104. Siebenmann C., Hug M., Keiser S., Müller A., van Lieshout J., Rasmussen P., Lundby C. Hypovolemia explains the reduced stroke volume at altitude, *Physiological Reports*, 2013; 1(5).
105. Siemieński M., Skorupa Ł. Wiśniewska-Skorupa K. Diagnostyka i terapia bezsenności w praktyce ogólnolekarskiej, Wybrane problemy kliniczne. *Forum Medycyny Rodzinnej* 2018; 12(6), s. 242-251.

106. Slater J.A., Botsis T., Walsh J., King S., Straker L.M., Eastwood P.R. Assessing sleep using hip and wrist actigraphy. *Sleep and Biological Rhythms*, 2015; 13, s. 172-180.
107. Schneider M., Bernasch D., Weymann J., Holle R., Bärtsch P. Acute mountain sickness: influence of susceptibility, preexposure, and ascent rate. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2002; 34, s. 1886-1891.
108. StatSoft, Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL, Kraków 2006, WEB: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>
109. Szymczak R. Wpływ przewlekłej hipoksji wysokogórskiej na wybrane parametry życiowe organizmu człowieka. Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk 2009.
110. Šilinė L., Stasiulė L., Stasiulis A., Rutkauskaitė R. Relationship between components of physical activity and heart rate variability in older women. *Baltic Journal of Sport & Health Sciences*, 2016; 1(100), s. 65-70.
111. Tanaka H., Monahan K.D., Seals D.R. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 2001; 37(1), s. 153-156.
112. Tannheimer M., Angelini C., Faulhaber M., Hillebrandt D., Szygula Z. Ulmer H-V. Usaj A. van der Spek R., Küpper T. Results and recommendations of the 7th European Hypoxia Symposium. *Med Sport*. 2014; 18(4), s. 192-194.
113. Tarvainen M.P., Lipponen J., Niskanen J-P., Ranta-aho P.O. Kubios HRV (ver. 3.1) USER'S GUIDE, 2018, s.42-43.
114. Task force of the European society of cardiology and the North American society of pacing and electrophysiology. Heart rate variability – standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 1996; 93(5), s. 1043-1065.
115. Tomik R. Turystyka aktywna – pojęcie, rodzaje i formy. *Studia Periegetica*, 2015; 2(14), s. 13-24.
116. Tomik R., Hadzik A. Motywy uprawiania turystyki aktywnej przez studentów. [w:] *Gospodarka turystyczna w regionie Rynek turystyczny – współczesne trendy, problemy i perspektywy jego rozwoju*, red. Rapacz A. Uniwersytet Ekonomiczny. Wrocław. 2013.
117. Tomik R. Znaczenie turystyki aktywnej i jej rozumienie w kontekście dotychczasowych koncepcji podziałów turystyki. [w:] *Turystyka aktywna w województwie śląskim. Wybrane zagadnienia*. red. Tomik R. AWF Katowice. 2013.
118. Traczyk W. *Fizjologia człowieka w zarysie*, wyd. VIII, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2007.

119. West J.B. Studies at extreme altitude [w:] High Life, American Physiological Society 1998, s. 325-363.
120. West J.B., Schoene R.B., Luks A.M., Milledge J.S. High Altitude Medicine and Physiology. CRC Press. London 2013.
121. West J.B., Schoene R.B., Milledge J.S. History. In: West J.B. eds. High Altitude Medicine and Physiology, London 2007.
122. Wołkow N., Szmatlan-Gabryś U., Gabryś T. Hipoksja w treningu sportowym. Interwałowy trening hipoksyczny. Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Warszawa 2003.
123. Wright A. Birmingham Medical: Medicine at high altitude. *Clinical Medicine*, 2006; 6, s. 604-608.
124. Vogel J.A., Hansen J.E., Harris C.W. Cardiovascular responses in man during exhaustive work at sea level and high altitude. *Journal of Applied Physiology*, 1967; 23, s. 531-539.
125. Zarzycki P., Grobelny J. (red.) Aktywność ruchowa na obszarach górskich Polski i świata, Studia i monografie Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wrocław 2013; 118.
126. Zieliński J. Ostra choroba góraska. *Polskie Archiwa Medycyny Wewnętrznej*, 1998; 100, s. 494-498.
127. Żoczek S., Bilewicz-Stebel M., Stebel R. Wspinaczka wysokogórska- zagrożenia i odpowiednie przygotowanie. *Roczniki Naukowe Wyższej Szkoły Wychowania Fizycznego i Turystyki w Białymstoku*, 2017; 2(20), s. 42-52.
128. <http://everesthiker.com/trip/everest-base-camp-trek/> [dostęp: 12.05.2020]
129. <https://polskiehimalaje.pl/o-projekcie/> [dostęp: 12.05.2020]
130. https://www.statsoft.pl/textbook/stathome_stat.html?https%3A%2F%2Fwww.statsoft.pl%2Ftextbook%2Fadvans23.html [dostęp: 15.03.2021]
131. https://support.polar.com/en/support/Polar_Sleep_Plus [dostęp: 15.03.2021]
132. <https://fellrnr.com/wiki/TRIMP> [dostęp: 07.05.2021]