

**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”**

---

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor:

dr hab. Krzysztof Sas-Nowosielski prof. nadzw.

Katowice 2022



Fot. 1. Na szlaku do bazy pod Mt. Everestem, październik 2018

## **Podziękowania**

*Szczególne podziękowania za nieocenioną pomoc w opracowaniu dysertacji należą się doktorowi Arturowi Magierze, promotorowi - profesorowi Krzysztofowi Sasowi-Nowosielskiemu, pozostałym moim współpracownikom oraz wszystkim osobom zaangażowanym w projekt „Polskie Himalaje 2018”.*

## Spis treści

Wykaz skrótów.....	4
Wstęp.....	6
<b>I TEORETYCZNE PODSTAWY BADAŃ.....</b>	<b>8</b>
1.1. Trekking jako rodzaj turystyki aktywnej.....	8
1.2. Charakterystyka obszarów górskich jako miejsc destynacji turystycznej.....	10
1.3. Zagrożenia zdrowotne związane z przebywaniem na dużej wysokości.....	12
1.3.1. Ostra choroba wysokogórska.....	14
1.3.2. Wpływ hipoksji na organizm człowieka.....	16
1.4. Uzasadnienie podjęcia tematu pracy.....	18
<b>II METODOLOGIA BADAŃ WŁASNYCH.....</b>	<b>20</b>
2.1. Cel pracy, pytania i hipotezy badawcze.....	20
2.2. Metody, techniki i narzędzia badawcze.....	22
2.2.1. Pomiary częstości i zmienności pracy serca.....	22
2.2.2. Pomiary fizjologiczne.....	22
2.2.3. Pomiary psychologiczne.....	22
2.2.4. Pomiary struktury aktywności fizycznej.....	23
2.3. Teren badań.....	24
2.4. Charakterystyka grupy badanej.....	26
2.5. Organizacja i przebieg badań.....	28
2.5.1. Badania laboratoryjne.....	29
2.5.2. Badania terenowe.....	32
2.6. Metody statystycznej analizy danych.....	32
<b>III WYNIKI BADAŃ.....</b>	<b>34</b>
3.1. Struktura obciążeń wysiłkowych w grupie badanej.....	34
3.2. Występowanie ostrej choroby górskiej podczas trekkingu w grupie badanej.....	47
3.2.1. Występowanie ostrej choroby górskiej a reakcje autonomicznego układu nerwowego w grupie badanej.....	52
3.3. Jakość snu uczestników trekkingu.....	55
3.4. Korelacje zmiennych porannych z testu ortostatycznego z SpO <sub>2</sub> , wysokością n.p.m. i występowaniem AMS.....	57
3.4.1. Korelacje zmiennych porannych z testu ortostatycznego z wysiłkiem podczas trekkingu.....	65

3.5. Dane czasowo-przestrzenne poszczególnych etapów trekkingu.....	70
4. Dyskusja.....	77
4.1. Ograniczenia badań.....	86
Podsumowanie i wnioski.....	87
Streszczenie.....	88
Bibliografia.....	92
Załączniki.....	102
Spis tabel.....	109
Spis rycin.....	110
Spis fotografii.....	112
Spis załączników.....	113

## **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
- PaO<sub>2</sub>-** 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

**SpO<sub>2</sub>** (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

**VO<sub>2</sub>** (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 hipotezy 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.



# I TEORETYCZNE PODSTAWY BADAŃ

## 1.1. Trekking jako rodzaj turystyki aktywnej

Podjęcie aktywności fizycznej, zwłaszcza w kontakcie ze środowiskiem naturalnym, staje się coraz popularniejsze wśród społeczeństwa. Główną przyczyną takiej tendencji są korzystne efekty racjonalnie podejmowanego wysiłku psychofizycznego oraz chęć ucieczki od codzienności (Tomik 2013). Okazją do podejmowania aktywności ruchowej niejednokrotnie staje się czas wolny podczas urlopu wypoczynkowego. Podróżowanie w celu rekreacyjnego uprawiania różnych form aktywności fizycznej, przejawia się jako turystyka aktywna (ang. *active sport tourism*), która stanowi obecnie jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się gałęzi turystyki (Tomik 2013).

Turystykę aktywną dzielimy na trzy formy: kwalifikowaną, przygodową i ekstremalną, natomiast podstawowym jej rodzajem jest turystyka piesza nizinna i górską (Tomik 2013). Zgodnie z definicją zaproponowaną przez Mazurskiego „turystyka aktywna polega na podróżowaniu w celach rekreacyjnych przy wydatnym wykorzystaniu własnej aktywności fizycznej w pokonywaniu przestrzeni” (Mazurski 2006, s. 31). Natomiast cechą wyróżniającą turystykę aktywną od rekreacji ruchowej jest opuszczenie miejsca stałego zamieszkania i wejście w interakcję z środowiskiem naturalnym i jego specjalistycznymi walorami (Tomik 2013). Podstawową formą turystyki aktywnej jest turystyka kwalifikowana, oznaczająca najwyższą formę specjalizacji turystycznej w wybranej dziedzinie (Łobożewicz 1983), a do charakterystycznych jej cech zalicza się: świadome uczestnictwo, odpowiednie do terenu, stopnia i rodzaju wyzwania przygotowanie psychofizyczne, znajomość obsługi wykorzystywanego sprzętu, wiedza o odwiedzanym regionie, samodzielność, posiadanie uprawnień formalnych (jeżeli są wymagane) oraz odpowiedni poziom sprawności i kondycji fizycznej. Obok turystyki kwalifikowanej wyróżnia się turystykę ekstremalną (ang. *extreme tourism*), która odnosi się do wyjazdów i atrakcji turystycznych, dających uczestnikom krótkotrwałą, ale bardzo intensywną dawkę emocji, a podczas jej uprawiania występuje obcowanie z niebezpiecznym, nieznanym, nieszablonowym (Andrzejewska 2007). Często towarzyszy jej wyczerpanie fizyczne, a także podwyższone ryzyko utraty zdrowia, a nawet życia, jak podczas uprawiania wspinaczki, nurkowania czy paralotniarstwa. Trzecią formą turystyki aktywnej jest turystyka przygodowa (ang. *adventure tourism*), której głównym celem jest przeżycie określonej przygody, podróż „w nieznaną”, eksploracja. Jej wyróżnikiem jest aspekt emocjonalny oraz doznania duchowe i estetyczne mające związek

z kontaktem z odmiennym, egzotycznym środowiskiem przyrodniczym i kulturowym. Do najpopularniejszych form turystyki przygodowej w Polsce zalicza się: tramping, trekking i survival, spośród których trekking turystyczny zyskuje w ostatnich latach na popularności i oznacza ambitne wyprawy w trudnych warunkach terenowych i klimatycznych, w odległych, często słabo zaludnionych obszarach świata. Wyróżnia się kilka odmian trekkingu, z których najpopularniejszą jest trekking klasyczny, czyli inaczej górski, będący formą pośrednią pomiędzy wspinaczką a wędrówką pieszą (ang. *hiking*). Termin *trekking* pochodzi od słowa *trek* używanego w południowej części Afryki i oznaczającego wędrówki ludu Burów podczas zdobywania kolejnych ziem. W turystyce trekking zaczął najpierw odnosić się wyłącznie do wędrówek pieszych w Himalajach Nepalu i Indii, następnie zaczęto używać go jako uniwersalne określenie dla tego typu aktywności. Wśród innych form trekkingu wyróżnia się m.in. trekking pustynny, lodowcowy, polarny, tropikalny itp. W każdej odmianie podkreślana jest konieczność znacznego przygotowania psychofizycznego uczestnika, a tego rodzaju wyjazdy coraz częściej stanowią komercyjną ofertę biur podróży oraz agencji wyprawowych, gdzie wędrowanie zwykle odbywa się pod opieką wykwalifikowanych przewodników, doświadczonych alpinistów lub rozpoznawalnych dzięki mass-mediom podróżników.

Analizując powyższe definicje można stwierdzić, iż turystyka aktywna jest pojęciem najszerszym i nadrzędnym, oznaczającym wyjazdy, podczas których podejmowana jest aktywność rekreacyjna (Andrejuk 1998). Przykład takich wyjazdów stanowią zorganizowane trekkingi w rozmaitych pasmach górskich Europy i świata. Odbywają się one zwykle w niewielkich, kilkusobowych grupach, trwają od kilku dni, do kilku tygodni i różnią się poziomem trudności, niemniej jednak skierowane są do możliwie szerokiego grona odbiorców, a ich organizatorzy zwykle nie wymagają od potencjalnych klientów wcześniejszego, udokumentowanego doświadczenia górskiego. Taki stan rzeczy umożliwia eksplorowanie gór wysokich niemal każdemu zainteresowanemu turyście, który dysponuje odpowiednimi środkami finansowymi. Trekking jest specyficznym rodzajem aktywności turystycznej, będącym syntezą elementów zarówno turystyki kwalifikowanej i przygodowej, w niektórych przypadkach, w zależności od okoliczności, zawierającym również elementy ekstremalizmu. Ze względu na dynamiczny rozwój rynku turystyki aktywnej w ostatnich latach, a także ciągle udoskonalanie i wzrost dostępności sprzętu turystycznego oraz kształtowanie się mody na bycie aktywnym fizycznie, trekking staje się coraz bardziej rozpowszechnionym sposobem spędzania czasu wolnego. Realizowany jest podczas wyjazdów

turystycznych w wielu regionach świata, na wszystkich kontynentach, umożliwiając tym samym obcowanie ze specyficznymi warunkami środowiska górskiego.

## **1.2. Charakterystyka obszarów górskich jako miejsc destynacji turystycznej**

Góry zajmują ok.  $\frac{1}{4}$  obszarów lądowych Ziemi (Kurek 2007). Odgrywają zatem istotną rolę zarówno w regulowaniu stosunków wodnych, jako źródło zaopatrzenia w surowce mineralne, czy leśne oraz stanowią atrakcyjne tereny penetracji rekreacyjno-turystycznej. Specyfika obszarów górskich bezpośrednio powiązana jest z charakterem środowiska przyrodniczego, zwłaszcza takimi jego elementami, jak ukształtowanie i rzeźba terenu, które determinują specyficzny klimat i szatę roślinną. Klimat wysokogórski charakteryzuje się osobliwymi cechami, które zwykle są bardzo istotne dla powodzenia wyprawy. Przede wszystkim wraz ze wzrostem wysokości, na każde 100 metrów przewyższenia, obniża się o ok. 11,5 hPa ciśnienie atmosferyczne, a co 150 metrów wysokości o 1°C zmniejsza się temperatura powietrza (West, Schoene i in. 2007). Ponadto na wysokościach występuje zwiększone natężenie promieniowania słonecznego, sezonowo obfite opady atmosferyczne, silne podmuchy wiatru oraz znaczne amplitudy dobowe temperatur. Wilgotność powietrza spada proporcjonalnie do wysokości nad poziomem morza i obniżania się temperatury otoczenia (Ryn 2008). Temperatura powietrza na obszarach górskich zależna jest nie tylko od wysokości bezwzględnej, ale także ekspozycji na promieniowanie i ukształtowania terenu. Rozkład temperatury na obszarach górskich jest zatem silnie powiązany z rodzajem podłoża i jego chłonności energii słonecznej (Apollo 2014). Wzrost natężenia promieniowania UV wynosi średnio 4% na każde 300 metrów przewyższenia. Zjawisko to jest bezpośrednio związane z obniżaniem się filtracji UV w warunkach rozrzedzonej atmosfery (Korzeniewski 2008). Kluczową kwestię determinującą warunki klimatyczne dla konkretnego obszaru, stanowiąc będą wysokości bezwzględne oraz względne. Pierwsze z nich mierzone są od poziomu morza, przyjmowanego umownie na wysokości równej 0 metrów. Wynik odczytuje się bezpośrednio z mapy i podaje w metrach nad poziomem morza (m n.p.m.). Wysokości względne mierzy się z dowolnego miejsca, np. od podnóża wzniesienia do jego wierzchołka i wyraża się w metrach (m). Wysokość tę można zatem obliczyć i jest to różnica między wybranym obiektem a punktem odniesienia innym aniżeli poziom morza (Kosmala, Vierek 2014). Flora i fauna obszarów górskich są bardzo urozmaicone, cechą charakterystyczną tej pierwszej jest piętrowy układ roślinności. Czym wyżej, tym przejawy życia roślinnego

i zwierzęcego są coraz bardziej ubogie (Ryn 2018). Jednak z powodu cennych walorów i zasobów przyrodniczych, w górach utworzono liczne obszary chronione (Kurek 2007).

Obszary górskie stanowią wysoce atrakcyjny obszar spędzania czasu wolnego i są jedną z najczęściej wybieranych destynacji do uprawiania turystyki aktywnej. Corocznie ponad 40 milionów ludzi udaje się na wysokości przekraczające 3000 m n.p.m., która uznawana jest za umowną granicę terenu wysokogórskiego, a wśród tych osób znajduje się coraz liczniejsza grupa Polaków (West, Schoene i in. 2007). Dlatego też zauważalny jest rozwój rynku turystyki wysokogórskiej, którego widocznym przejawem jest powstawanie wielu firm i agencji wyprawowych, zajmujących się organizowaniem trekkingów w góry wysokie (Szymczak 2009). Przy obecnym rozwoju transportu, dostępności sprzętu i informacji, wyższe partie gór, kiedyś zarezerwowane wyłącznie dla zaawansowanych wspinaczy, alpinistów i himalaistów, dziś dostępne są niemal dla każdego turysty (Zarzycki, Grobelny 2013). Dynamiczny rozwój i upowszechnienie uprawiania turystyki aktywnej, rozumianej jako podróżowanie w celu podejmowania aktywności fizycznej i uprawiania różnego rodzaju sportów czy rekreacji ruchowej (Andrejuk 1998), pociąga za sobą wzmożoną intensyfikację penetracji regionów turystycznych. Obiektem zainteresowania współczesnego turysty, szczególnie aktywnego, staje się przestrzeń niezurbanizowanego środowiska naturalnego, w tym także obszary chronione, charakteryzujące się wysokim poziomem atrakcyjności. Specyfika obszarów górskich sprawia, że są to tereny niezwykle atrakcyjne do uprawiania turystyki i rekreacji, a jednocześnie należą do najważniejszych regionów turystycznych na świecie. Z powodu wysokiej atrakcyjności turystycznej, sprzyjającym warunkom do uprawiania różnorodnych rodzajów i form turystyki, prognozuje się że w przyszłości obszary górskie należeć będą do najbardziej pożądaných obszarów turystyczno-wypoczynkowych na świecie (Kurek 2007). Obszary górskie stanowią przestrzeń do podejmowania specyficznych rodzajów aktywności, zwłaszcza wykorzystujących walory naturalne. Wśród nich, oprócz pieszych wędrówek, wyróżnia się m.in.: turystykę narciarską, zarówno zjazdową, biegową, snowboardową, skitourową, turystykę rowerową, czy alpinizm wraz z jego odmianami. Najogólniej rzecz ujmując, powyższe aktywności można określić mianem translokacyjnych. Turystykę pieszą górską uprawia się najczęściej w regionach takich jak: Alpy, Karpaty czy Pireneje (w Europie), Appalachy (w Stanach Zjednoczonych) oraz Alpy Australijskie (w Australii) (Kurek 2007).

Upowszechnienie transportu lotniczego w XXI wieku umożliwiło wtórną eksplorację niegdyś odległych i trudno dostępnych zakątków świata, w tym również Himalajów Indii czy Nepalu. Rozwój turystyki w regionie Doliny Khumbu rozpoczął się wraz z otwarciem

przestrzeni dla obcokrajowców w 1950 roku. W tym czasie w Kathmandu zaczął pojawiać się nowy rodzaj turystyki w postaci trekkingu. W 1963 roku *attaché* wojskowy ambasady brytyjskiej pułkownik Jimmy Roberts, na podstawie własnych doświadczeń z Kaszmiru, gdzie organizowano wycieczki myśliwskie z zapleczem obozowym, przewodnikami i tragarzami, zaczął planować tego typu wyjazdy w góry Nepalu. Roberts zgromadził odpowiedni sprzęt, zamieścił reklamę w miejscowej gazecie i tym sposobem powstała pierwsza firma branży trekkingowej w Nepalu, a prawdopodobnie również na świecie. Zainicjowanie działalności „Mountain Travel” uznaje się za początki zorganizowanego trekkingu (McDonald 2018). Sukcesy organizacyjne tego biura bezpośrednio przyczyniły się do powstania kolejnych agencji turystycznych na terenie Nepalu, które inicjowały i rozwijały współpracę z partnerami zagranicznymi. (Drdoš i in. 1990). W tym samym czasie, w północno-wschodniej części kraju, w Paśmie Wielkich Himalajów, z uwagi na obecność licznych unikatowych walorów, w tym trzech ośmiotysięczników: Mount Everestu, Lhotse i Cho Oyu, utworzono Park Narodowy Sagarmatha, a trzy lata później- w roku 1979 wpisano go na listę światowego dziedzictwa UNESCO. Od tego czasu zapisy Parku Narodowego Sagarmatha dotyczące liczby zwiedzających wskazują wyraźne tendencje wzrostowe. W 2006 roku liczba turystów przekroczyła 20000, a w 2016 wyniosła 37097 osób (Sagarmatha National Park Office 2020).

### **1.3. Zagrożenia zdrowotne związane z przebywaniem na dużej wysokości**

Przebywanie na dużych wysokościach nad poziomem morza obarczone jest pewnym ryzykiem i nie pozostaje bez znaczenia dla ludzkiego organizmu. Czynniki urazowe środowiska wysokogórskiego można podzielić na: geograficzno-klimatyczne, atmosferyczne (ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie parcjalne tlenu, temperatura i wilgotność powietrza, wiatr), mikrobiologiczne, promieniowanie oraz czynniki psychologiczno-społeczne (Ryn 2018). Kluczowymi są dwie najważniejsze składowe, tj. ciśnienie atmosferyczne i parcjalne tlenu oraz spadek temperatury. Proporcja zawartości tlenu w powietrzu atmosferycznym, niezależnie od wysokości, utrzymuje się na stałym poziomie 21%. Pozostałe 79% stanowi azot i nieznaczna mieszanina innych gazów. Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza zmniejsza się ciśnienie atmosferyczne i choć nie powoduje to zmian w zakresie proporcji poszczególnych gazów, to w konsekwencji obniża się ich ciśnienie parcjalne. Tym samym spadek ciśnienia parcjalego tlenu, pociąga za sobą zmniejszenie ciśnienia tego gazu w pęcherzykach płucnych. W sytuacji, gdy poszczególne tkanki otrzymują mniej tlenu, aniżeli potrzeba do prawidłowego i niezaburzonego funkcjonowania, dochodzi do zjawiska hipoksji (Ryn 2018).

Ryzyko zapadnięcia na ostrą chorobę górską zwiększa się wraz ze wzrostem wysokości. Na pułapie 2850 m n.p.m. obserwuje się ją u 9% osób, na wysokości 3650 m n.p.m. u 34%, a na 4550 m n.p.m. u 53% (Sawicka 2003). Jak stwierdził Ryn (2018) należy przyjąć, że każda osoba przebywająca na obszarach przekraczających 3000 m n.p.m. może zachorować na ostrą chorobę górską i jest to niezależne od wieku, płci ani ogólnej kondycji fizycznej. Natomiast na wysokości przekraczającej 4500 m n.p.m. dochodzi do niedotlenienia narządów wewnętrznych, w tym przede wszystkim zmniejszonej perfuzji nerek, a w następstwie negatywnych skutków ogólnoustrojowych (Krzeszowiak 2014). Wraz ze wzrostem liczby turystów uczestniczących w zorganizowanych trekkingach w wysokie góry, rośnie również liczba zachorowań na choroby związane z przebywaniem w warunkach wysokogórskich. Stwierdzono, że 77% zgonów spowodowanych wysokościami obrzękiem płuc (HAPE), lub mózgu (HACE) wystąpiło w zorganizowanych grupach trekkingowych. Uważane za łatwe technicznie, wysokie szczyty (np. Kilimandżaro w Tanzanii czy Island Peak w Nepalu), lub trekking do bazy pod Everestem, wciąż są potencjalnie niebezpieczne z powodu profilu wysokościowego przyjmowanego przez organizatorów takich wypraw (Küpper i in. 2008). Analizując profil wysokościowy dostępu i dojścia do zaplanowanego najwyższego punktu należy zwrócić szczególną uwagę, czy profil ten odpowiada tzw. „złotemu standardowi”, czyli aby nie wchodzić zbyt szybko i zbyt wysoko. Na wielu wyprawach już drugi nocleg planowany jest na wysokości 3500 do 4000 m (Küpper 1998), co niejednokrotnie może okazać się zgubne i prowadzić do wystąpienia pierwszych, często lekceważonych symptomów ostrej choroby górskiej. Szczególną uwagę należy zwrócić również na profil wysokościowy wypraw rozpoczynających się z wysokiego pułapu, np. w Tybecie lub niektórych obszarach Ameryki Południowej. Przed kontynuacją podchodzenia do wyżej położonych miejsc, plan zawsze powinien uwzględniać dni wypoczynkowe na stopniową, niespieszną aklimatyzację. Dodatkowo defensywny profil wysokościowy jest preferowany, jeśli klimat rejonu w którym odbywa się wyprawa jest znacząco cieplejszy lub chłodniejszy niż ten, w którym funkcjonujemy na co dzień. Dostosowanie organizmu do wysiłku w nowych, odmiennych warunkach klimatycznych może wówczas zająć więcej czasu (Küpper i in. 2008).

Powszechnie przyjmuje się podział pułapów górskich na kilka stopni. Termin wysokość umiarkowana stosowany jest w odniesieniu do obszarów położonych w zakresie 1500-2400 m n.p.m., duża wysokość to poziom od 2400 do 4300 m n.p.m., określenie bardzo duża wysokość stosowane jest w przedziale 4300-5500 m n.p.m. Za wysokość ekstremalną uważane są tereny powyżej 5500 m n.p.m. Problemy zdrowotne wywołane przebywaniem na dużej wysokości nad poziomem morza bardzo rzadko pojawiają się wśród osób

przebywających poniżej 3000 m n.p.m. Rejonem wysokogórskim określa się zatem tereny usytuowane powyżej tej granicy (Zieliński 1998).

### 1.3.1. Ostra choroba wysokogórska

Brak elementarnej wiedzy na temat istniejących w górach wysokich zagrożeń może mieć fatalne w skutkach konsekwencje, prowadzące do utraty zdrowia a nawet życia. Niemal każdy, kto przemierzał himalajskie czy andyjskie szlaki, bądź eksplorował wyższe partie Alp, doświadczył choroby wysokościowej, która w podstawowym spektrum objawów dotyka wszystkich. Najogólniej rzecz ujmując jest to zespół chorobowy wywoływany brakiem przystosowania organizmu do specyficznych warunków panujących na dużych wysokościach (Żoczek i in. 2017). Co istotne, odpowiedź organizmu na warunki wysokogórskie jest silnie zindywidualizowana, zależna m.in. od wieku, ogólnego stanu zdrowia oraz szeregu warunków zewnętrznych (Fusek, Porębski 2020).

Hipoksja jest stanem niedotlenienia tkanek organizmu, często będącym wynikiem hipoksemii, czyli niedoboru tlenu we krwi. Hipoksję dzielimy na hipobaryczną i normobaryczną, w zależności od tego czy wynika z obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu czy też obniżenia procentowej zawartości tlenu w mieszaninie oddechowej (Szymczak 2009). Przyczyną dolegliwości, związanych z przebywaniem na dużej wysokości, jest hipoksja hipobaryczna wywołana obniżaniem się ciśnienia atmosferycznego wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Niedotlenienie tkanek jest podstawową konsekwencją nie tylko przebywania na dużej wysokości, ale także występowania różnych chorób (Berger, Grocott 2017). Na wysokości przekraczającej 4500 m n.p.m. dochodzi do niedotlenienia narządów wewnętrznych, zwłaszcza zmniejszonej perfuzji nerek i jej niekorzystnych konsekwencji ogólnoustrojowych (Krzyszowiak 2012).

Do kłopotów zdrowotnych, z jakimi mogą zetknąć się osoby przebywające na dużej wysokości, zaliczyć można:

- chorobę wysokościową wraz z jej podtypami takimi jak: ostra choroba góraska (ang. *Acute Mountain Sickness- AMS*), wysokogórski obrzęk mózgu (ang. *High Altitude Cerebral Edema – HACE*) oraz wysokogórski obrzęk płuc (ang. *High Altitude Pulmonary Edema – HAPE*);
- dolegliwości związane z zaburzeniami oddychania w czasie snu o typie oddychania okresowego (OO) (Przybyłowski, Zieliński 2004).

Wystąpienie choroby wysokogórskiej jest możliwe zwłaszcza przy każdym zbyt szybkim zdobywaniu wysokości i rozwija się po upływie od 6 do 96 godzin pobytu na wysokości (Ryn 2018). Istotna jest zatem skuteczna profilaktyka, mająca na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa pojawienia się podrzędnych symptomów oraz hamująca ewentualny rozwój choroby.

Ostra choroba wysokogórska jest zespołem objawów, których nasilenie waha się od łagodnych do ciężkich (Janus, Piechocki 2016) oraz które mogą prowadzić do poważnych, długotrwałych zaburzeń w funkcjonowaniu różnych układów i narządów w organizmie człowieka, a w następstwie stanowić zagrożenie utraty życia. Do klasycznych objawów zalicza się ból głowy, bezsenność, nudności, wymioty, spadek apetytu, będące oznaką, że organizm nie otrzymuje wystarczającej ilości tlenu, niezbędnej do prawidłowego funkcjonowania (Ryn 2018). Nadrzędnym czynnikiem determinującym pojawienie się objawów choroby wysokościowej, są możliwości kompensacyjne organizmu (Peacock 1998) oraz prawidłowa aklimatyzacja. Terminu aklimatyzacja powszechnie używa się dla określenia trwałych zmian organizmu o charakterze kompensacyjnym, w odniesieniu do środowiska wysokogórskiego. Dotyczy to zmian zarówno czynnościowych, jak i morfologicznych, które umożliwiają pobyt na dużej wysokości, bez towarzyszących objawów niewydolności któregośkolwiek z układów w organizmie człowieka (Ryn 2018). Aklimatyzacja jest zatem procesem złożonym, polegającym na stopniowym przystosowaniu organizmu człowieka do warunków obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu w otaczającym powietrzu (Szymczak 2009). Ponadto proces ten przebiega w sposób indywidualny, charakterystyczny dla każdej jednostki, zależy zwłaszcza od właściwości i predyspozycji organizmu, tempa zdobywania określonych pułapów wysokości nad poziomem morza oraz czasu ekspozycji na warunki hipoksji. Podstawową i fundamentalną regułą optymalnej aklimatyzacji jest stopniowe zdobywanie wysokości, w tempie 300 do 500 metrów różnicy na dzień marszu (West, Schoene i in. 2007, Küpper i in. 2008). Zauważono, iż do wysokości 5000-6000 m n.p.m., a zatem pułapu do którego odbywa się większość zorganizowanych wypraw komercyjnych i trekkingów, objawy choroby wysokościowej są następstwem nieprawidłowej aklimatyzacji (Küpper 2012).

Ogólnie przyjmuje się zasadę spadku ciśnienia atmosferycznego o 1 hPa na każde 8 metrów w pionie. (Przybyłowski, Zieliński 2004). Dla zobrazowania zjawiska, jako przykład można wskazać Gdańsk, najbardziej zbliżony do poziomu 0 nad poziomem morza, gdzie średnie ciśnienie atmosferyczne wynosi 1013 hPa, na Rysach wznoszących się na 2500 m n.p.m. jest to już około 746 hPa, natomiast w bazie pod Everestem, która znajduje



się na wysokości niespełna 5400 m n.p.m., ciśnienie atmosferyczne wynosi średnio 506 hPa. Powszechnie przyjmuje się, że obniżanie ciśnienia parcjalnego tlenu ma wpływ na funkcjonowanie układów: oddechowego, krwionośnego i nerwowego oraz wydalniczego (zwłaszcza nerek). Dodatkowo czynnikami, które wpływają na prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka jest temperatura i wilgotność powietrza oraz wiele pozostałych zmiennych klimatycznych (Fusek, Porębski 2020), charakterystycznych dla konkretnego obszaru i zakresu wysokości.

Istotnym jest także, aby przed wyruszeniem w wysokie góry bezwzględnie zbadać swój aktualny stan zdrowia. Wiele schorzeń może przebiegać bezobjawowo i ujawniać się w pełnym obrazie klinicznym dopiero w ekstremalnych warunkach, związanych z czynnikami środowiskowymi, takimi jak obniżone ciśnienie, niedotlenienie, czy działanie niskiej temperatury powietrza, jak i w związku ze zwiększonym wydatkiem energetycznym, podczas aktywności fizycznej w warunkach wysokogórskich (Korzeniewski 2008).

### **1.3.2. Wpływ hipoksji na organizm człowieka**

W warunkach środowiskowych, które charakteryzuje się obniżoną zawartością tlenu w powietrzu, w organizmie człowieka rozwija się przejściowy stan, powszechnie określany terminem hipoksji. Powstawaniu zróżnicowanym pod względem wielkości stanów hipoksycznych, sprzyja podejmowanie wysiłków fizycznych, kiedy jednocześnie dochodzi do zachwiania równowagi pomiędzy wzrastającym zapotrzebowaniem energetycznym organizmu, a możliwościami jego zaspokojenia na drodze metabolizmu tlenowego (Wołkow i in. 2003). Hipoksję ze względu na przyczynę, można podzielić na: hipoksję hipoksyczną, spowodowaną obniżeniem prężności tlenu we wdychanym powietrzu; hipoksję hipoksemiczną, wynikającą z obniżenia prężności tlenu we krwi z powodu niedokrwistości lub zaburzeń wiązania tlenu przez hemoglobinę; hipoksję krążeniową, której przyczyną jest zmniejszony przepływ krwi przez tkanki; hipoksję cytotoksyczną, gdzie w warunkach dostatecznego dopływu tlenu do tkanek nie jest on wykorzystywany z powodu uszkodzenia komórkowych układów enzymatycznych. W warunkach wysokogórskich dominuje hipoksja hipoksyczna oraz krążeniowa (Szymczak 2009), będące podstawową przyczyną problemów zdrowotnych związanych z przebywaniem na dużej wysokości.

W dotychczasowych badaniach wykazano różnicę we wpływie na organizm człowieka hipoksji hipobarycznej podczas pobytu w naturalnych warunkach środowiskowych, a hipoksji normo-barycznej uzyskiwanej w sztucznie wytworzonych warunkach laboratoryjnych.

Badania w komorach niskich ciśnień umożliwiają wyeliminowanie wpływu szeregu czynników urazowych, występujących w naturalnym środowisku gór wysokich, np. temperatury czy wilgotności powietrza (Ryn 2018). Analiza parametrów związanych z układem krążeniowo-oddechowym wykazała m.in. niższe wartości wentylacji, ciśnienia parcjalnego tlenu we krwi tętniczej, ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla we krwi tętniczej czy procentowego wysycenia hemoglobiny tlenem w warunkach hipoksji hipobarycznej (Savourey i in. 2003). Dane podobne wyżej wymienionym wskazują na większe zaburzenia wymiany gazowej, występujące w warunkach hipoksji hipobarycznej w porównaniu do hipoksji normobarycznej (Savourey, Launay i in. 2003). Ponadto posługując się skalą Lake Louise AMS, stosowaną do diagnostyki występowania ostrej choroby górskiej, zaobserwowano wyższy poziom objawów AMS osób przebywających w warunkach hipoksji hipobarycznej (Roach, Loepky, Icenogle 1996). Należy jednak pamiętać, że nie można wprost przenosić doświadczeń w komorach hipobarycznych na rzeczywiste przebywanie i funkcjonowanie w naturalnym środowisku wysokogórskim (Ryn 2018).

Transport tlenu z pęcherzyków płucnych do krwi odbywa się zgodnie z gradientem ciśnienia parcjalnego, czyli prężności tego gazu. Cząsteczki tlenu dyfundują z powietrza pęcherzykowego, gdzie panuje większe ciśnienie parcjalne tego gazu, do krwi, w której jest ono niższe. Następnie we krwi tlen ulega fizycznemu rozpuszczeniu, aby dostać się do erytrocytów i tam ulec związaniu z hemoglobiną. Powstała oksyhemoglobina, jest odpowiedzialna za transport tlenu do wszystkich komórek organizmu. Jedynie niewielka ilość tlenu jest przenoszona we krwi w postaci rozpuszczonej. W sytuacji spadku ciśnienia parcjalnego tlenu w pęcherzykach płucnych, spowodowanego spadkiem ciśnienia atmosferycznego w warunkach wysokogórskich, dochodzi do pogorszenia warunków dla tlenu do rozpuszczenia i w następstwie upośledzenia zaopatrzenia krwi w tlen. Powyższe zmiany prowadzą do zjawiska niedotlenienia (hipoksji hipobarycznej) i są przyczyną zapoczątkowania reakcji kompensacyjnych organizmu, tj. szeregu fizjologicznych zmian adaptacyjnych (aklimatyzacja), lub patofizjologicznych (chorobowych) (Traczyk 2007, Janus, Piechocki 2016).

Adaptowanie się organizmu człowieka do wysokości nad poziomem morza polega na wzroście przepływu krwi w łożysku naczyniowym oraz wentylacji płuc. Tym samym gwałtowna ekspozycja organizmu ludzkiego na oddziaływanie hipoksji uruchamia szereg mechanizmów adaptacyjnych. Fizjologiczna odpowiedź na ostrą hipoksję charakteryzuje się przyspieszeniem akcji serca (tj. częstość skurczów serca i objętość wyrzutowa), wentylacją płuc i wzrostem stężenia hemoglobiny. Te zmiany mają zapewnić prawidłowy transport tlenu

do poszczególnych tkanek organizmu człowieka (Berger, Grocott 2017). Jak stwierdził Czuba (2013), pozwala to przypuszczać, że systematyczne przebywanie oraz trening fizyczny w warunkach hipoksji może mieć korzystny wpływ na możliwości wysiłkowe w warunkach normoksji, poprzez nasilanie się zmian adaptacyjnych w organizmie. Niemniej jednak, obszary wysokogórskie stanowią nieprzychylne człowiekowi środowisko, które stwarza szereg zagrożeń dla zdrowia i życia. Z tego względu udział w wyprawach czy trekkingach w górach wysokich wymaga odpowiedniej wiedzy i wcześniejszego interdyscyplinarnego przygotowania.

#### **1.4. Uzasadnienie podjęcia tematu pracy**

Upowszechnienie uprawiania turystyki aktywnej na obszarach wysokogórskich skłania do podejmowania wieloaspektowych badań w tym zakresie. Już w 1990 r. Drdoš zauważył, że wysokie góry stały się jednym z głównych przedmiotów badań naukowych, a było to związane z intensywnymi przemianami wynikającymi z rozszerzenia się masowego ruchu turystycznego na świecie (Drdoš i in. 1990).

Dotychczas nie wykazano, aby wysoka sprawność fizyczna stanowiła czynnik zabezpieczający przed pojawieniem się typowych objawów choroby wysokościowej, natomiast nadmierny wysiłek fizyczny w okresie rozwoju zaburzeń, może dodatkowo nasilić jej przebieg. Ponadto we wcześniejszych opracowaniach nie zaobserwowano istotnych różnic w zapadalności na AMS pomiędzy kobietami a mężczyznami (Barry, Pollard 2003).

Już podczas eksploratorskich wypraw w Alpy, np. podczas szturmowania szczytu Mount Blanc, zaczęto obserwować, opisywać a następnie analizować objawy dolegliwości i problemów zdrowotnych wśród ich uczestników (Nyka 1976). Z biegiem czasu dobrze finansowane ekspedycje zainicjowały regularne badania uczestników w obozach bazowych. W latach 70. ubiegłego wieku na lodowcu Khumbu w prowizorycznym schronisku, pełniącym funkcję ambulatorium, na wysokości ok. 5500 m n.p.m. badano wspinaczy i miejscową ludność (Fusek, Porębski 2020). Uzyskane wyniki zestawiano i porównywano z analizami poprzednich wypraw oraz wynikami pochodzącymi z innych regionów górskich świata. W tamtym czasie zebrano mnóstwo wartościowych informacji, dotyczących zdrowia i ograniczonych możliwości adaptacyjnych człowieka na dużych wysokościach. Potwierdzono wówczas wcześniejsze wnioski i spostrzeżenia, że do prawidłowego procesu aklimatyzacji potrzeba zwłaszcza czasu oraz że jest ona uzależniona od szeregu indywidualnych cech osobniczych (Fusek, Porębski 2020). Pomimo szybkiego postępu nauk medycznych

i pokrewnych w kolejnych latach, problem gospodarki tlenowej i jej następstw na dużych wysokościach nie jest jednoznacznie wyjaśniony i wciąż pozostaje tematem wielu dyskusji i rozważań klinicznych (Dąbrowski 2006). Poza tym, większość dostępnych opracowań, dotyczy zmian zachodzących w organizmach alpinistów i himalaistów, biorących udział w wyprawach na najwyższe szczyty globu. Tymczasem intensywny rozwój turystyki wysokogórskiej sprawia, że coraz częściej, nawet w góry najwyższe, trafiają ludzie bez wystarczającego doświadczenia górskiego, niezbędnych umiejętności posługiwania się specjalistycznym sprzętem, a nawet bez odpowiedniego przygotowania psychofizycznego. Jeśli nawet wykazują oni dbałość o kondycję fizyczną, często znamieny okazuje się brak wcześniejszej wprawy i praktyki związanej z pobytem i aktywnością w środowisku wysokogórskim. Dlatego też coraz częściej spotyka się osoby z zaburzeniami wynikającymi z przebywania na dużych wysokościach, nie będące profesjonalistami i stąd potrzeba badań na przedstawicielach takich grup. Przeprowadzone pomiary dotyczą szerszego grona osób, a nie tylko wąskiej grupy zaawansowanych wspinaczy, zdobywających ośmiotysięczniki.

Brak możliwości dokładnego określenia zmian zachodzących w organizmach poddanych ekspozycji na czynniki wysokogórskie sprawia, że patofizjologia chorób ściśle związanych z zaburzeniami tlenowo-wentylacyjnymi nadal pozostaje w dużej mierze w sferze rozważań teoretycznych. Taki stan rzeczy spowodowany jest przede wszystkim szeregiem trudności organizacyjno-technicznych, związanych z prowadzeniem badań nakierowanych na wieloaspektowy monitoring osób przebywających w naturalnych warunkach środowiska wysokogórskiego, nie będących jednocześnie profesjonalnymi himalaistami.

## II METODOLOGIA BADAŃ WŁASNYCH

### 2.1. Cel pracy, pytania i hipotezy 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, SpO<sub>2</sub>) w warunkach hipoksji normobarycznej w porównaniu do warunków wysokogórskich środowiska naturalnego?
3. Czy i w jakim stopniu poranne pomiary HR, HRV, SpO<sub>2</sub> oraz czas trwania i jakość snu prognozują występowanie symptomów ostrej choroby górskiej?

Na podstawie powyższych pytań, sformułowano **hipotezy badawcze**:

1. Struktura aktywności fizycznej w warunkach wysokogórskich przyjmuje formę długotrwałych wysiłków tlenowych o umiarkowanej intensywności oraz zróżnicowanej sumie podejść i zejść.
2. Indywidualne różnice w reakcji układu krwionośnego (HR, HRV, SpO<sub>2</sub>) w hipoksji, w spoczynku i podczas wysiłku przyjmują wyższe wartości bazowe w warunkach laboratoryjnych aniżeli w środowisku naturalnym, co spowodowane jest specyfiką warunków wysokogórskich.
3. Poranne pomiary HR, HRV, SpO<sub>2</sub> oraz czas trwania i jakość snu prognozują występowanie objawów ostrej choroby górskiej w grupie badanej.

## **2.2. Metody, techniki i narzędzia badawcze**

### **2.2.1. 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<sub>śr</sub>) i najwyższe w danym wysiłku (HR<sub>peak</sub>). Określono również wartości indywidualne dla każdej osoby, takie jak średnie HR podczas spoczynku leżąc (HR<sub>leż</sub>) oraz stojąc (HR<sub>st</sub>) w teście ortostatycznym, HR najniższe (HR<sub>min</sub>), HR na progu mleczanowym (HRLa) oraz wartości maksymalne (HR<sub>max</sub>) w teście progresywnym. Do porównań międzyosobniczych wyliczono względne wartości HR z równania:  $\%HRR = (HR - HR_{min}) / (HR_{max} - HR_{min}) \times 100$  (Karvonen 1957).

### **2.2.2. Pomiary fizjologiczne**

Pomiarów saturacji hemoglobiny tlenem (SpO<sub>2</sub>) 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.

### **2.2.3. 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  $\geq 3$  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).

#### **2.2.4. 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.

### **2.3. Teren badań**

Badania przeprowadzono w Himalajach Nepalu, będących najwyższym pasmem górskim na Ziemi, który wznosi się pomiędzy Wyżyną Tybetańską a Niziną Indusu, Gangesu i Brahmaputry i oddziela dwa subkontynenty - Południowoazjatycki i Centralnoazjatycki (Andrejczuk 2016). 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. Południowy wariant tej trasy prowadzi z Namche Bazaar, początkowo dość wysoko, zachodnim zboczem głęboko wciętej doliny rzeki, później gwałtownie opada i wznosi się stromo (aż 600 m przewyższenia) w kierunku Tengboche, gdzie znajdują się największy buddyjski klasztor w regionie Khumbu. Szlak ten należy do najbardziej uczęszczanych odcinków systemu komunikacyjnego w opisywanym parku narodowym (Drdoš i in. 1990). Tym samym trasa 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 (Ryc. 1) 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.

# EVEREST BASE CAMP TREK



Ryc. 1. Schemat trasy trekkingu do Everest Base Camp

(źródło: <http://everesthiker.com/trip/everest-base-camp-trek/> dostęp: 12.05.2020)

Istotne znaczenie dla rozwoju ruchu turystycznego na tym obszarze mają warunki geograficzno-klimatyczne, czynniki atmosferyczne, takie jak ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie parcjale tlenu, temperatura powietrza, wilgotność, wiatr czy promieniowanie słoneczne. Na dużych wysokościach zmiany ciśnienia wynikające z ruchów mas powietrza mogą wpływać na zmianę ciśnienia parcjalego gazów oddechowych. Na każde 1000 metrów wysokości ciśnienie parcjale tlenu ( $\text{PaO}_2$ ) obniża się o 13 mm Hg (Ryn 2018). Zatem na pułapie przekraczającym 5000 m n.p.m.  $\text{PaO}_2$  wynosi ok. 50% ciśnienia odpowiadającemu poziomowi morza (Sawicka 2003). W wyniku opisywanych procesów,

zużycie tlenu przez organizm człowieka maleje wraz z rosnącą wysokością, natomiast zwiększenie objętości powietrza, które dociera do płuc w jednostce czasu ułatwia eliminację dwutlenku węgla i jednocześnie zwiększa ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach płucnych (Ryn 2018).

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.

#### **2.4. 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)
<b>Kobiety</b>	<b>Masa ciała (kg)</b>	63,7	62,2	54,4-75,8	8,0
	<b>Wysokość ciała (cm)</b>	164,6	167,0	156,0-170,0	5,1
	<b>% mięśni szkieletowych</b>	25,9	25,6	23,0-30,8	2,4
	<b>% tkanki tłuszczowej</b>	25,5	25,2	14,8-35,5	6,5
<b>Mężczyźni</b>	<b>Masa ciała (kg)</b>	84,5	79,3	72,4-103,7	10,9
	<b>Wysokość ciała (cm)</b>	181,1	183,0	166,0-190,0	7,5
	<b>% mięśni szkieletowych</b>	38,6	37,6	34,9-45,1	3,5
	<b>% tkanki tłuszczowej</b>	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<sub>2</sub>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)
<b>Kobiety</b>	<b>HRmax (ud/min)</b>	184	186	170-198	8,5
	<b>VO<sub>2</sub>peak (ml/kg/min)</b>	38,7	39,2	27,8-44	5,4
<b>Mężczyźni</b>	<b>HRmax (ud/min)</b>	182	182,5	173-189	4,7
	<b>VO<sub>2</sub>peak (ml/kg/min)</b>	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).

## **2.5. 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) (Siemieński, Skorupa, Wiśniewska-Skorupa 2018).

### **2.5.1. 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.

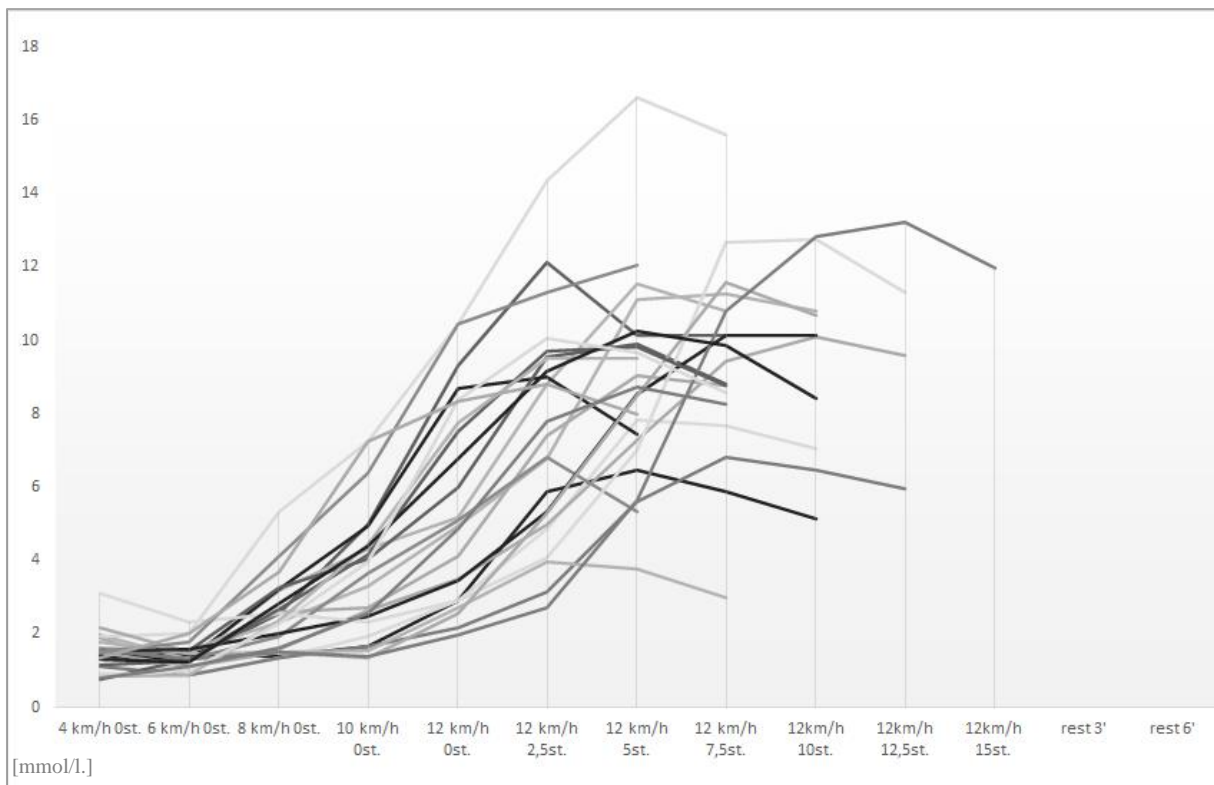
Drugim elementem badań laboratoryjnych był test progresywny do odmowy na bieżni mechanicznej w warunkach normoksji. Celem testu było wyznaczenie stref wysiłkowych oraz progu mleczanowego. Próba ta polegała na marszu, a następnie biegu w 3-minutowych interwałach, przerywanych krótkimi 30-60 sekundowymi 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 SpO<sub>2</sub> 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 HRmax i VO<sub>2</sub>max.

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 (Ryc. 2).

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

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



Ryc. 2. Indywidualne różnice w stężeniu mleczanu podczas testu progresywnego do odmowy na bieżni mechanicznej



### **2.5.2. 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 Gompa (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.

### **2.6. 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<sub>sr</sub>, 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).

### III WYNIKI BADAŃ

#### 3.1. 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<sub>śr</sub> 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 <sub>śr</sub> - leżenie				HR <sub>śr</sub> - 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
<b>I</b>	2610	64,5	66	45-89	10,6	83,1	84	70-110	9,8
<b>II</b>	3450	71,1	72	50-88	12,1	87,4	89	59-104	11,2
<b>III</b>	3450	68,2	65,5	52-88	11,4	86,6	87	71-99	9,1
<b>IV</b>	3867	68,7	66	53-89	10,1	89,1	86,5	69-117	10,9
<b>V</b>	4350	72,3	71	53-97	12,1	89	89	67-105	10,1
<b>VI</b>	4350	69,8	66	49-92	11	91,2	92	66-110	10,3
<b>VII</b>	4940	73,4	69,5	52-96	12,5	95,4	91	62-122	13,5
<b>VIII</b>	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.

Procentowa wartość rezerwy tętna (%HRR) w grupie badanej przybierała wyższe wartości średnie w pierwszym, piątym i siódmym dniu trekkingu (Tab. 6). Dnia pierwszego badani mieli do pokonania najdłuższy dystans oraz największą sumę podejść, w dniu piątym odbywało się wyjście aklimatyzacyjne, podczas którego przekroczona została bariera 5000 m n.p.m., natomiast dzień ostatni wiązał się z osiągnięciem celu wyprawy, tj. bazy pod Everestem.

Tab. 6. Wartości procentowe (%HRR) i szczytowe częstości skurczów serca (HRpeak) (ud/min) w grupie badanej

Dzień	Wysokość (m n.p.m.)	%HRR				HRpeak			
		$\bar{x}$	med.	min- -max	SD	$\bar{x}$	med.	min- -max	SD
I	2610	49,6	47,9	34,7-64,2	8,7	156,9	158,5	136-177	10,8
II	3450	44,6	42,7	33,4-61,7	9,3	154,8	154	137-185	11,2
III	3450	48,8	47,5	35,6-62,2	7,2	154,2	156	130-181	11,3
IV	3867	47,6	47,2	34,6-66,3	7,2	149,2	149	133-192	12,7
V	4350	52,5	53,1	38,8-74,2	8,1	150,7	152,5	129-167	10,1
VI	4350	47,9	46,3	35,6-73,7	8,4	146,4	145	131-179	11,8
VII	4940	50,9	49,7	34,5-71,1	7,9	154,6	151	137-189	14,9

Szczytowe wartości częstości skurczów serca w grupie badanej wynosiły średnio między 149,2-156,9 uderzeń na minutę, z największym zróżnicowaniem w dniu ostatnim (min-max=137-189, SD=14,9), co może wynikać z wyboru różnych opcji tras przez osoby z grupy badanej. Natomiast najniższe wartości HRpeak przyjmowały w dniu piątym, podczas pobytu w Dingboche (Tab. 6.), kiedy każdy swoim tempem marszu realizował założony plan aklimatyzacji.

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<sub>exp</sub>, będące ilościowym określeniem tlenowego obciążenia wysiłkiem, były najwyższe w pierwszym i ostatnim dniu trekkingu (Tab. 7). 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. 7. 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:

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

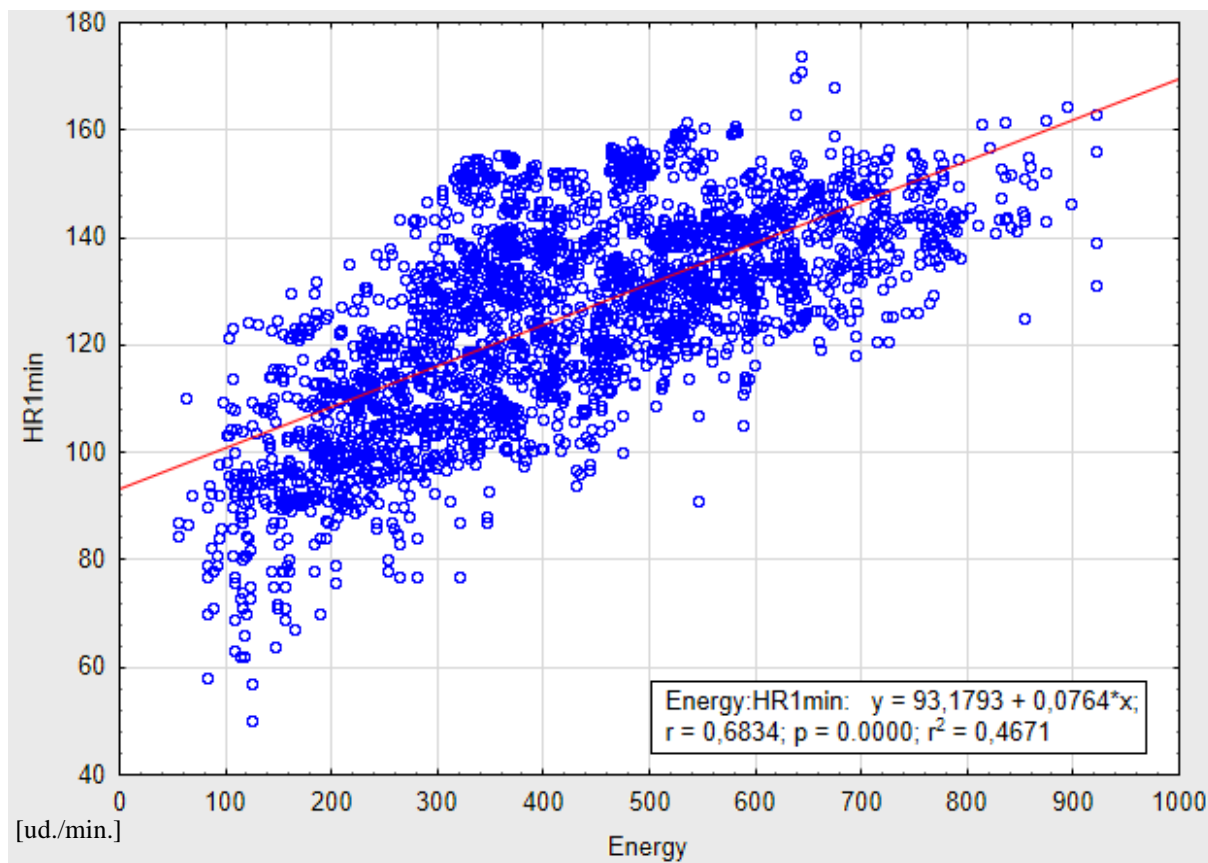
Minutowy wydatek energetyczny Energia (W) ze wzoru Pandolf – Santee:

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

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 [Ryc. 3]). 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. 3. 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:

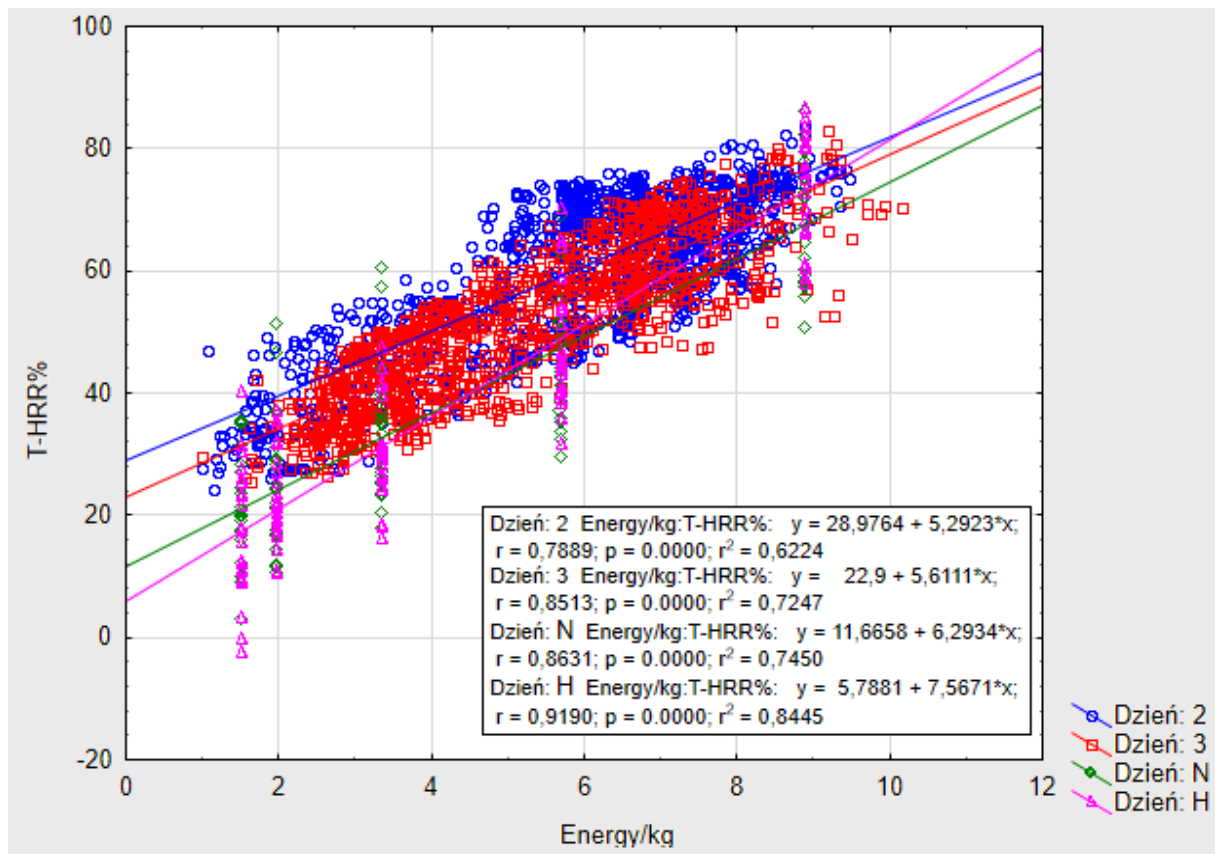
- a) T-HRR% (%) – rezerwa pracy serca wyliczone ze wzoru Karvonena;
- b) Energy/kg (W/kg) – minutowy wydatek energetyczny na kilogram masy ciała badanego.

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. 4).

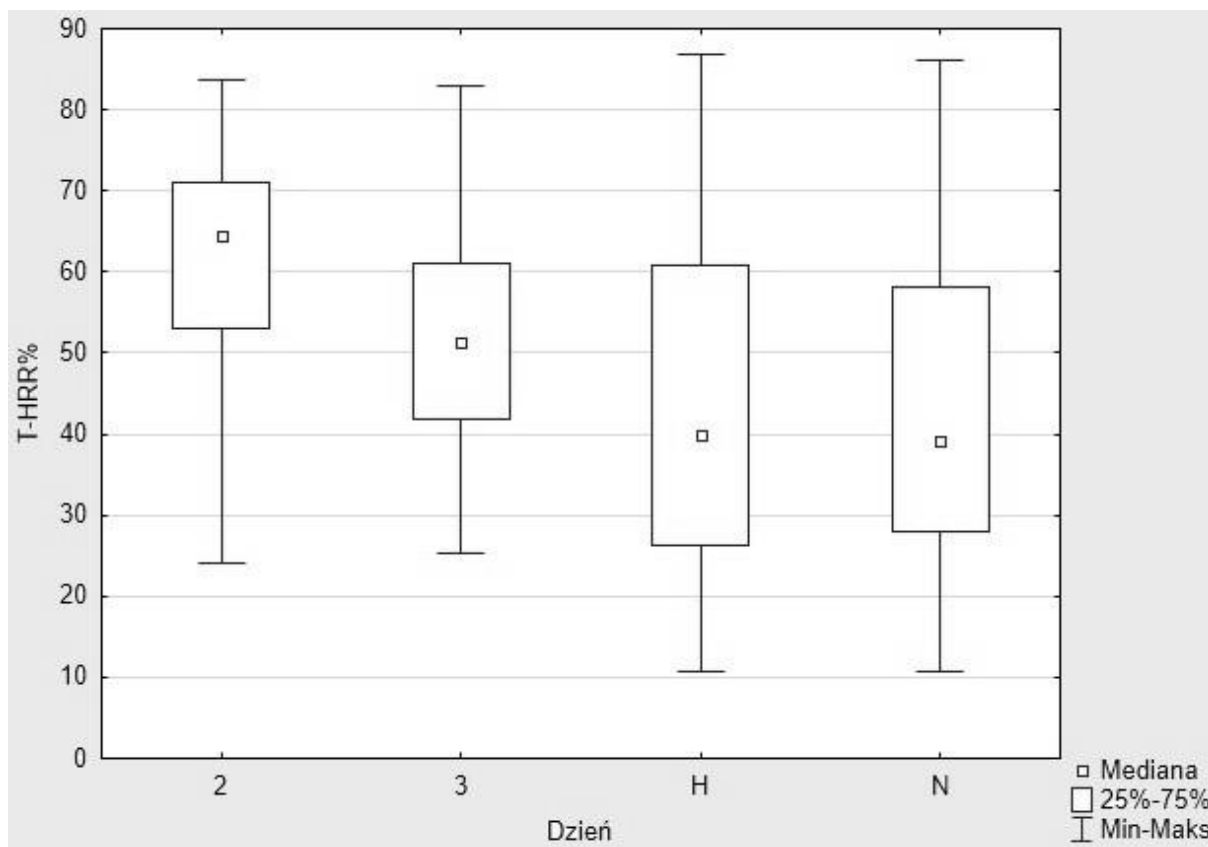
Dodatkowo pokazano przykłady znacząco różniących się zbiorów danych indywidualnych.





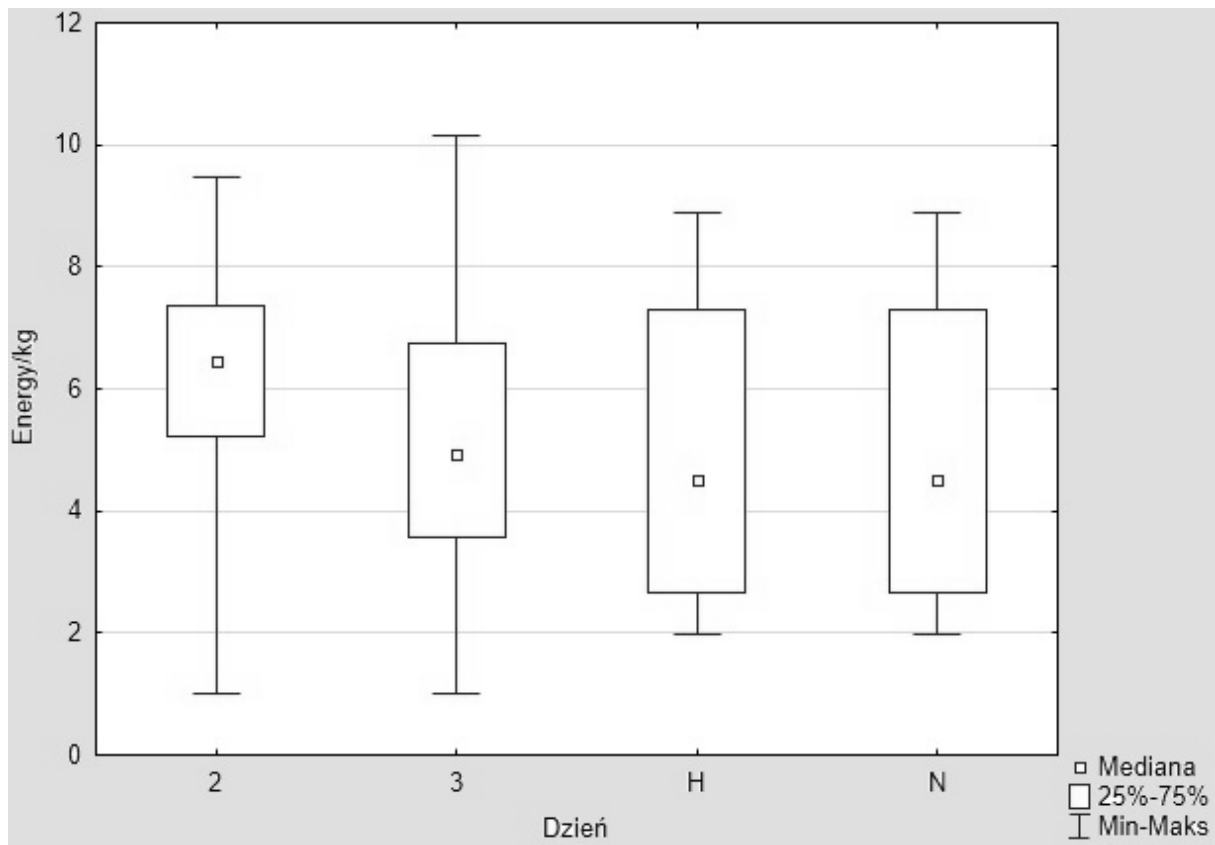
Ryc. 4. Rozkład T-HRR% i wydatku energetycznego (Energy/kg) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

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. 5). 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.

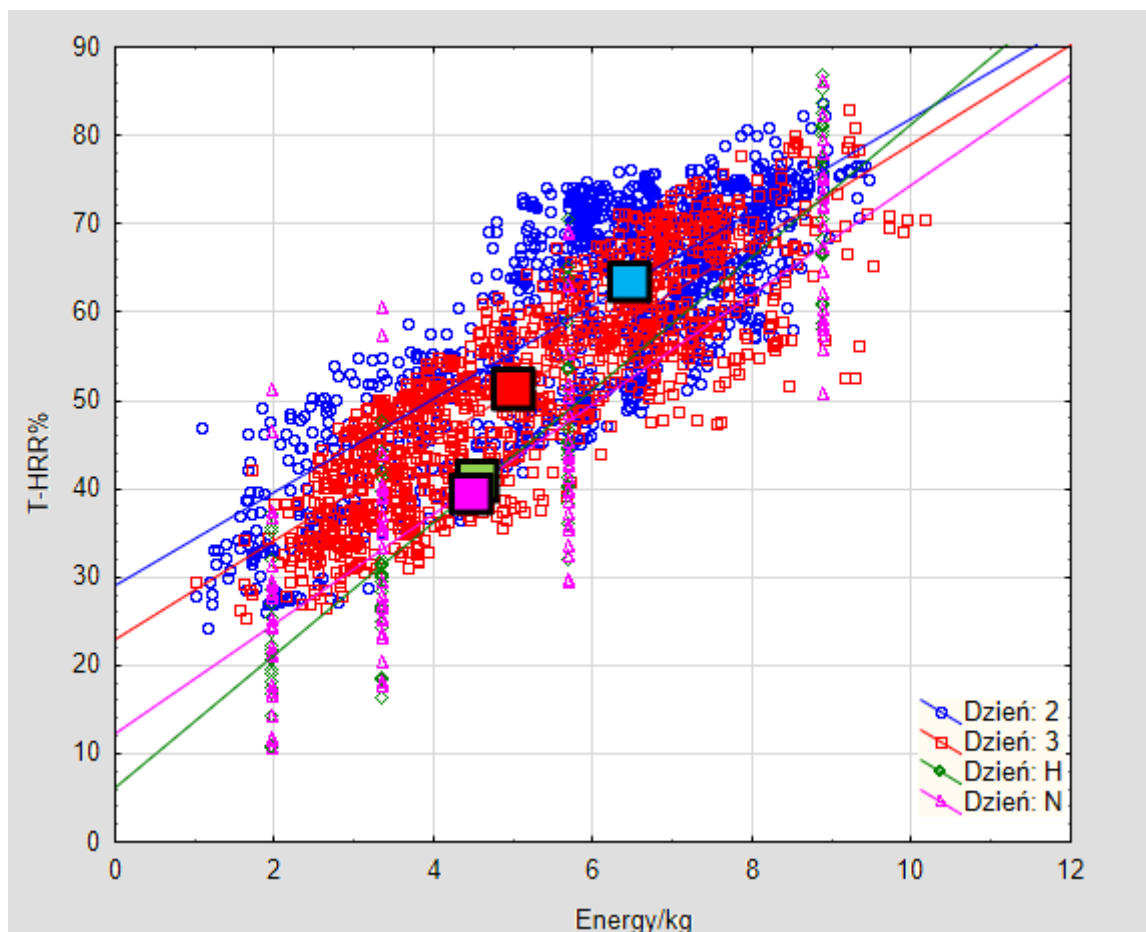


Ryc. 5. Wartości procentowe T-HRR% w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

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



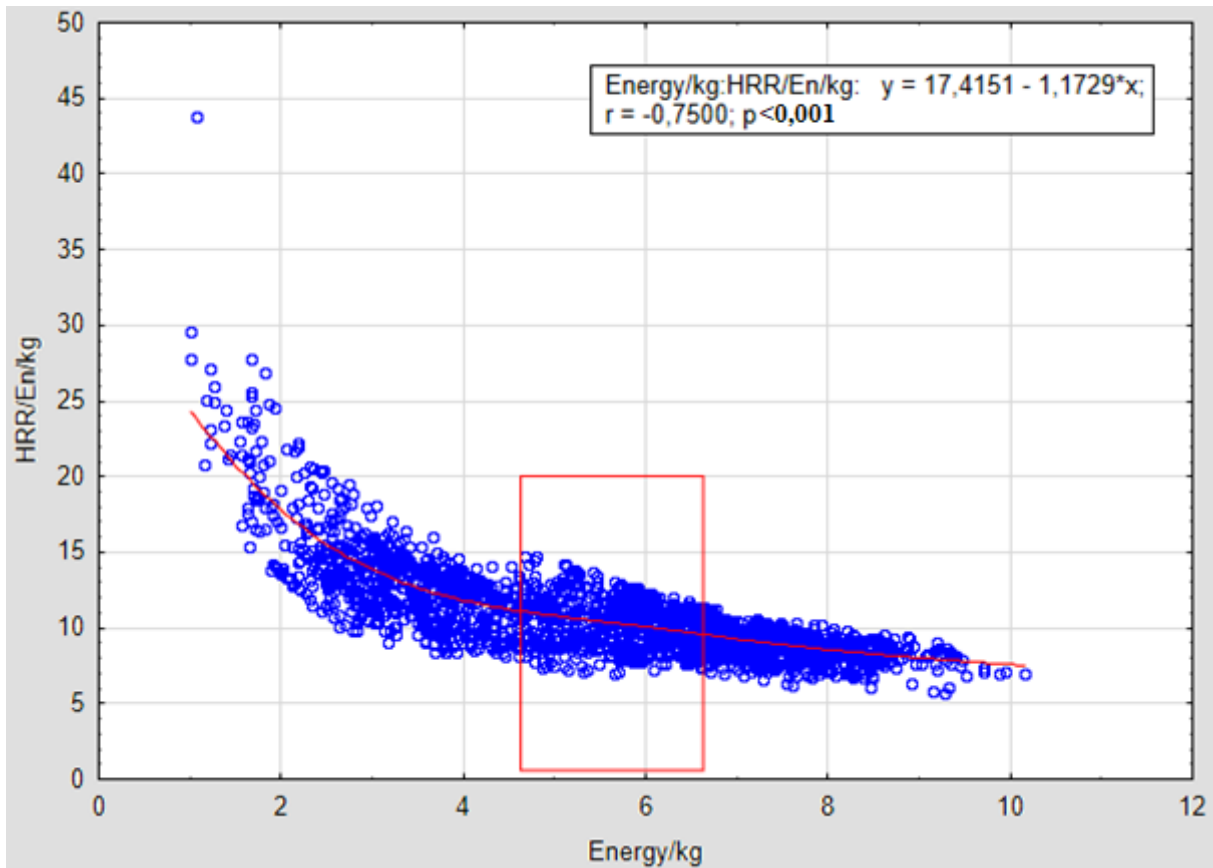
Ryc. 7. Rozkład T-HRR% i wydatku energetycznego (Energy/kg) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

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.7). 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.

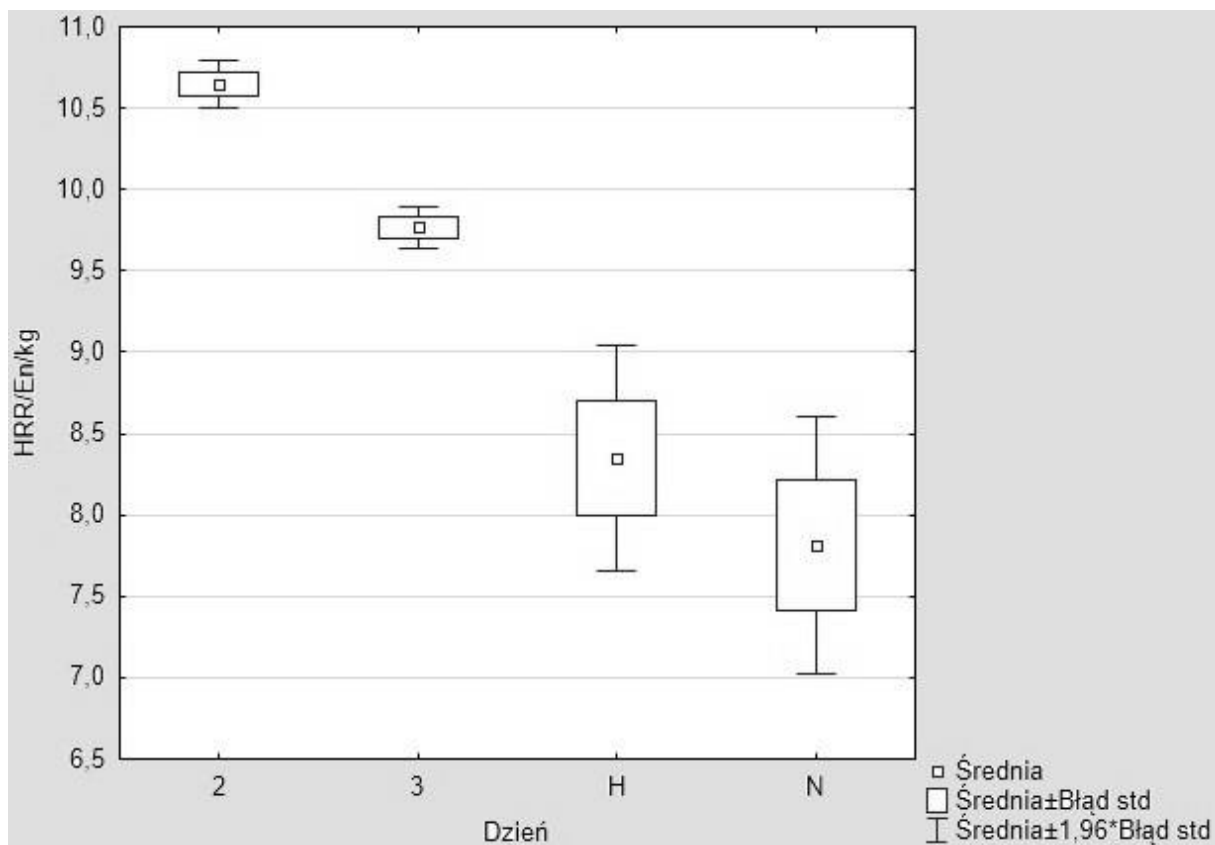
Wskaźnik HRR/En/kg wykazał jednak duże zróżnicowanie przy niskim obciążeniu <5W/kg, dlatego zastosowano przedział (4,68:6,68), który odpowiada obciążeniu na bieżni 6 km/h (5,68 +/- 1 W/kg) (Ryc. 8). W ramce na rycinie poniżej zaznaczono zakres z trekkingu, który brano pod uwagę w dalszych analizach.



Ryc. 8. 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. 9).



Ryc. 9. Rozkład HRR/Energy/kg w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej

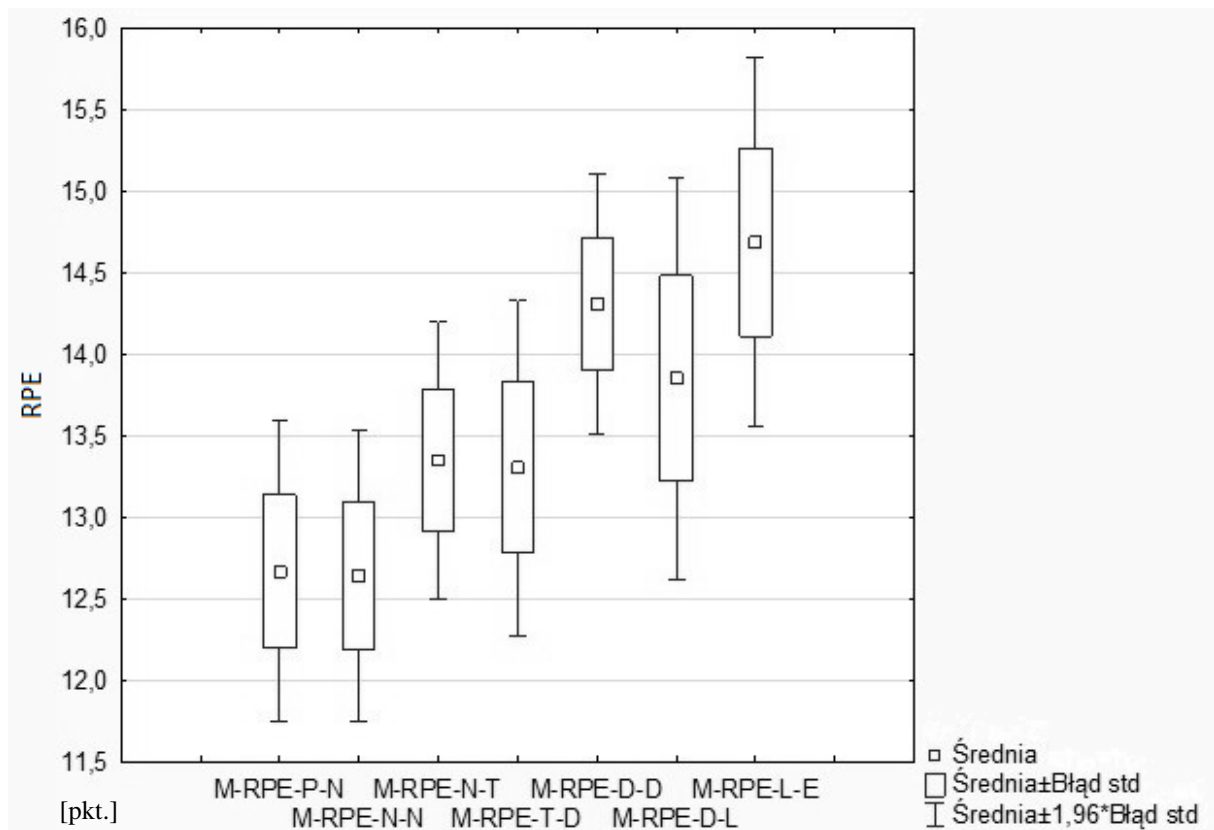
W celu sprawdzenia czy występują istotne różnice między drugim a trzecim dniem trekkingu pod względem obciążenia wewnętrznego i zminimalizowania wpływu obciążenia zewnętrznego, zastosowano zintegrowany wskaźnik – HRR/En/kg.

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 wewnętrzne) 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. 10).



Ryc. 10. 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 obierali 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.

### 3.2. 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). Zbiorcze dane przedstawiono w tabeli 10. 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  $\geq 3$ , 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.

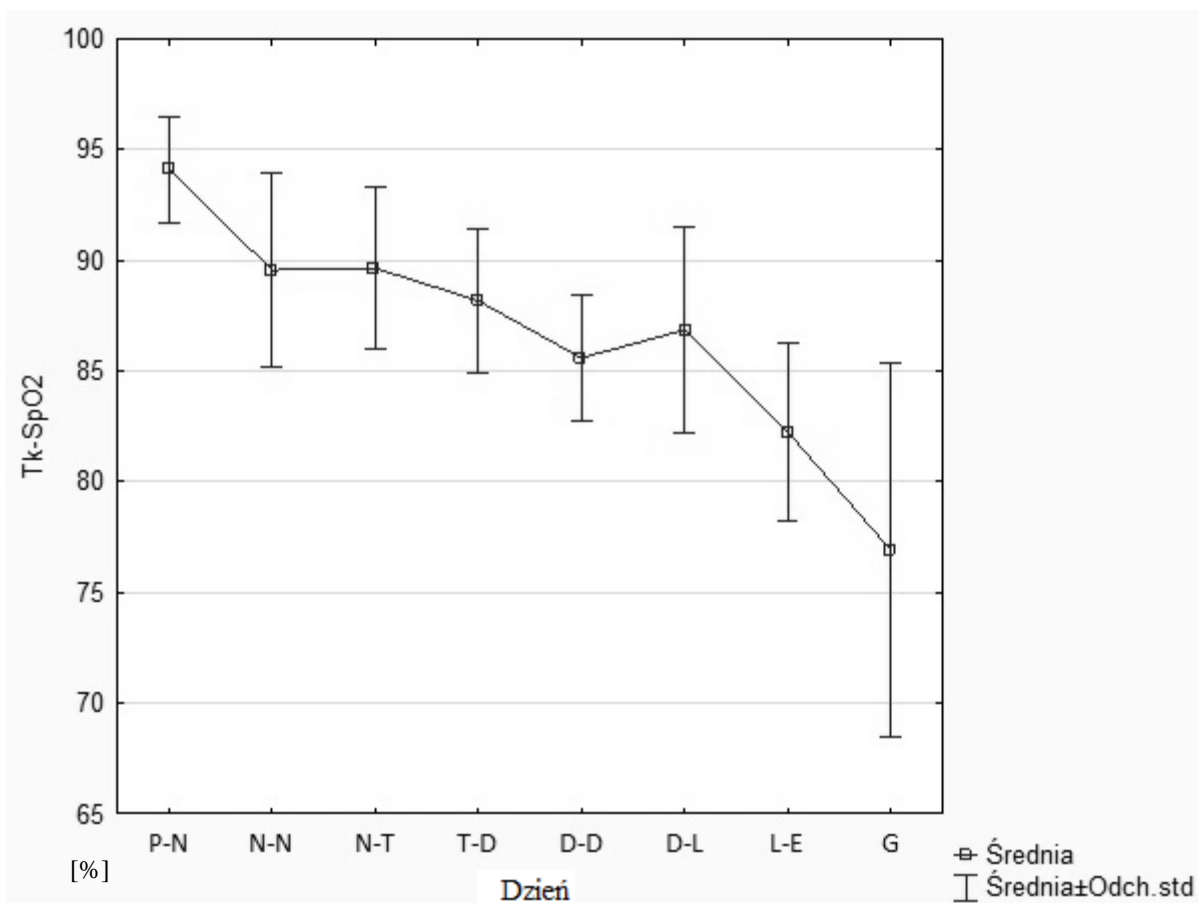
Tab. 8. Występowanie objawów ostrej choroby górskiej (AMS) w grupie badanej (n=197)

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 SpO<sub>2</sub>, 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 SpO<sub>2</sub> 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.

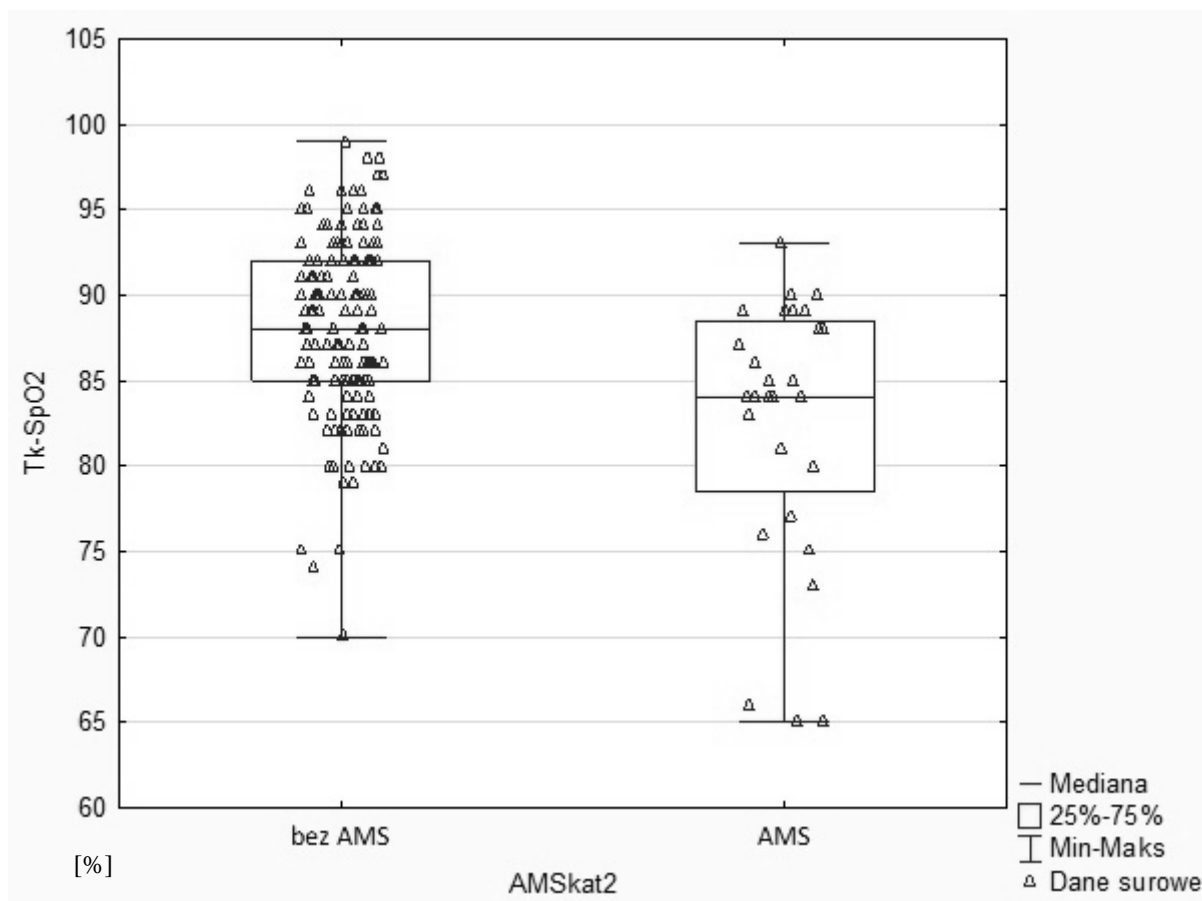
Stopień nasycenia hemoglobiny tlenem w pierwszym dniu trekkingu, zbliżony był do wartości maksymalnych, osiągniętych na nizinach i w codziennym środowisku funkcjonowania, w kolejnych dniach stopniowo się obniżał i przyjmował najniższe wartości po przekroczeniu pułapu 5000 m n.p.m. przed wycieczką aklimatyzacyjną w dniu piątym oraz w dniu siódmym (Ryc. 11), związanym z osiągnięciem celu trekkingu. Dodatkowo analizując wartości minimalne i maksymalne SpO<sub>2</sub>, 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. 11. 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. 12), co wskazywało na prawidłowo przebiegający proces aklimatyzacji do warunków wysokogórskich w grupie bez objawów ostrej choroby górskiej.



Ryc. 12. Poziom nasycenia hemoglobiny tlenem (%) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej

Zdrowy człowiek, przebywający na wysokości zbliżonej do poziomu morza, powinien mieć nasycenie hemoglobiny tlenem w przedziale ok. 97-99% (Tab. 9). Parametr ten zwykle obniża się wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza, co jest naturalnym następstwem narażenia organizmu na warunki wysokogórskie. Jeśli jednak saturacja spadnie poniżej 82%, zalecany jest odpoczynek na tej samej wysokości. W sytuacji kiedy pomiar  $SpO_2$  wykaże wartości niższe niż 75%, zalecane jest natychmiastowe obniżenie wysokości, a przy towarzyszących objawach ostrej choroby górskiej, konieczna może być nawet ewakuacja. Dlatego tak istotny jest regularnie prowadzony monitoring nasycenia hemoglobiny tlenem, który realizować można w stosunkowo prosty i nieobciążający sposób, wykorzystując powszechnie dostępne pulsoksymetry. Zaleca się weryfikację poziomu  $SpO_2$  zwłaszcza w porze porannej, po nocy spędzonej na określonej wysokości.

Tab. 9. Poziom nasycenia hemoglobiny tlenem (SpO<sub>2</sub>) a wysokość nad poziomem morza

Wysokość (m) n.p.m.	SpO <sub>2</sub> (%)
0-2000	97-99
2001-3000	96-94
3001-4000	93-89
4001-5000	88-83
5001-6000	82-76
>6001	<75

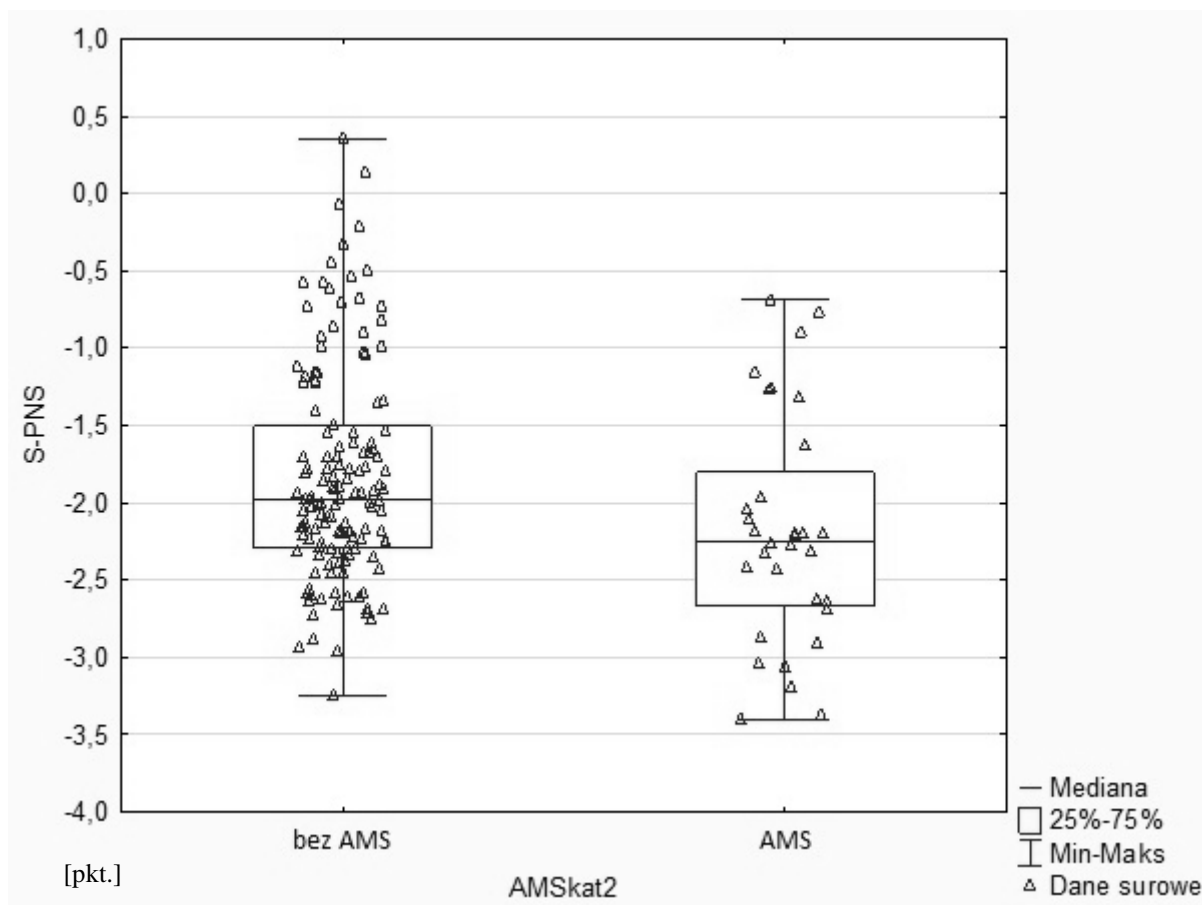
Źródło: *opracowanie własne*

Saturacja tlenowa krwi tętniczej jest globalną właściwością organizmu. Poziom nasycenia hemoglobiny tlenem jest natomiast parametrem mogącym wskazywać na stan niedotlenienia tkanek, często będący wynikiem hipoksemii (Berger, Grocott 2017), czyli stanu niebezpiecznego dla zachowania prawidłowości funkcji życiowych.

### **3.2.1. Występowanie ostrej choroby górskiej a wskaźniki reakcji autonomicznego układu nerwowego w grupie badanej**

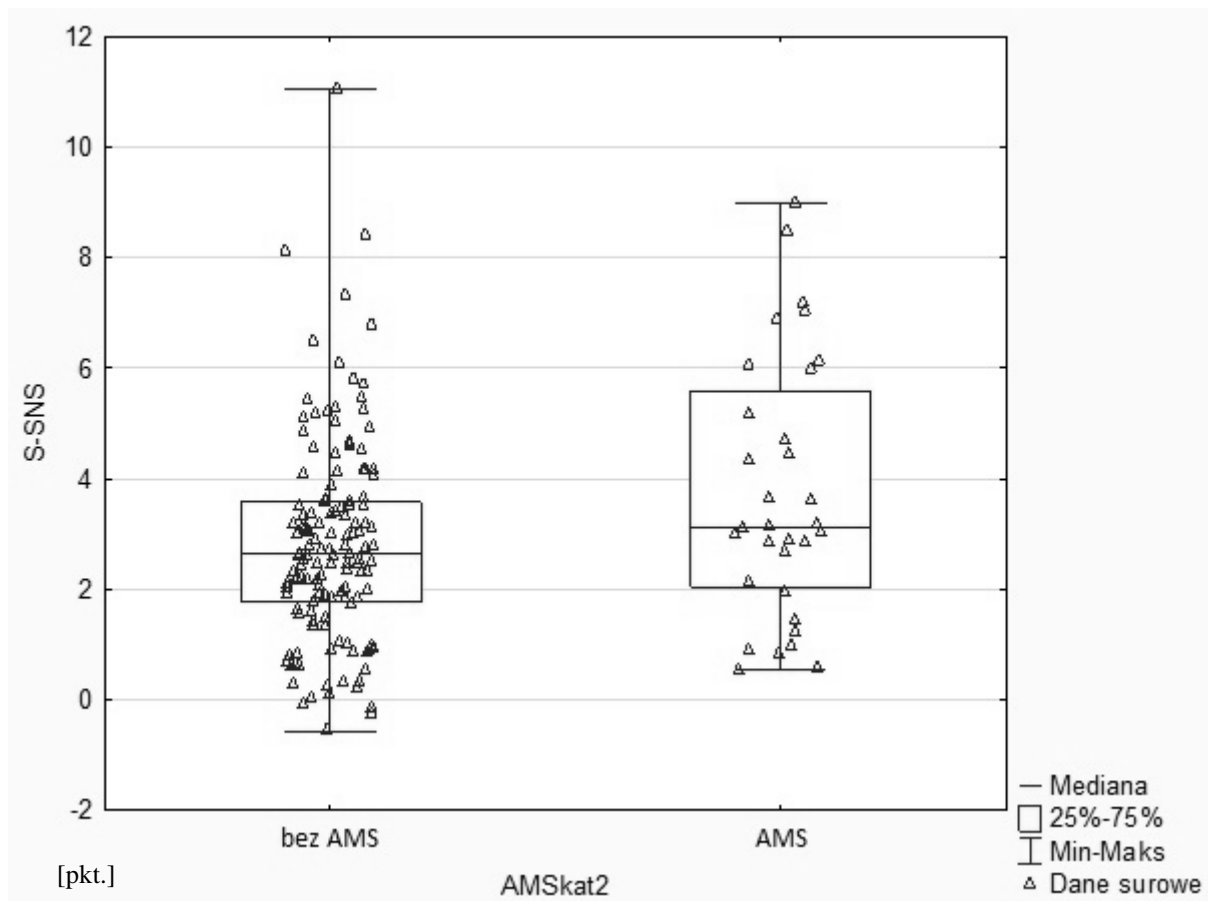
Wiadomo, że aktywność przywspółczulnej części układu nerwowego (PNS) (stymulacja nerwu błędnego) zmniejsza częstość akcji serca (tj. zwiększa średni odstęp RR) i podwyższa HRV. Aktywność współczulnej części układu nerwowego (SNS) ma odwrotny wpływ na HR i HRV, zwiększa HR i zmniejsza HRV. Uważa się, 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. 13).



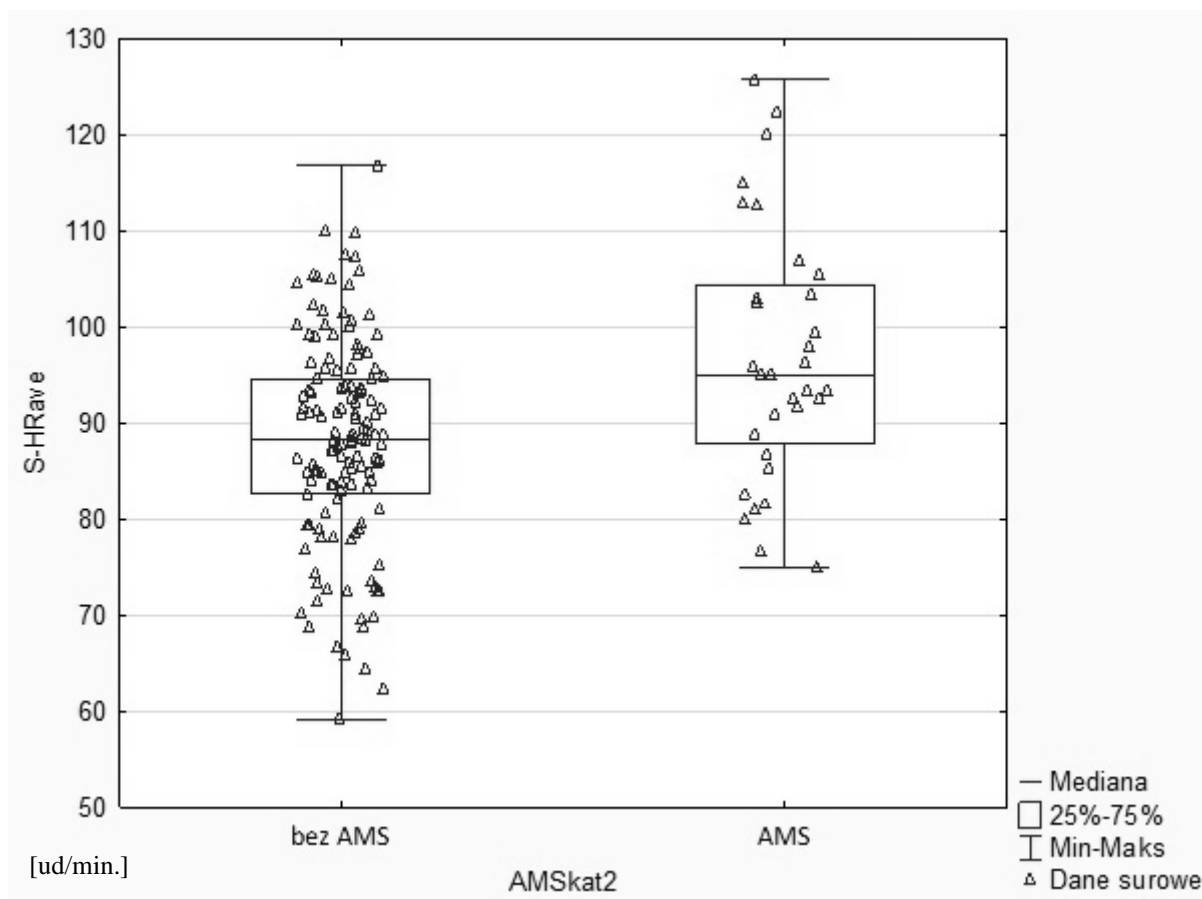
Ryc. 13. Wskaźnik pobudzenia przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej

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. 14).



Ryc. 14. 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. 15) 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. 15. 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).

### 3.3. Jakość snu uczestników trekkingu

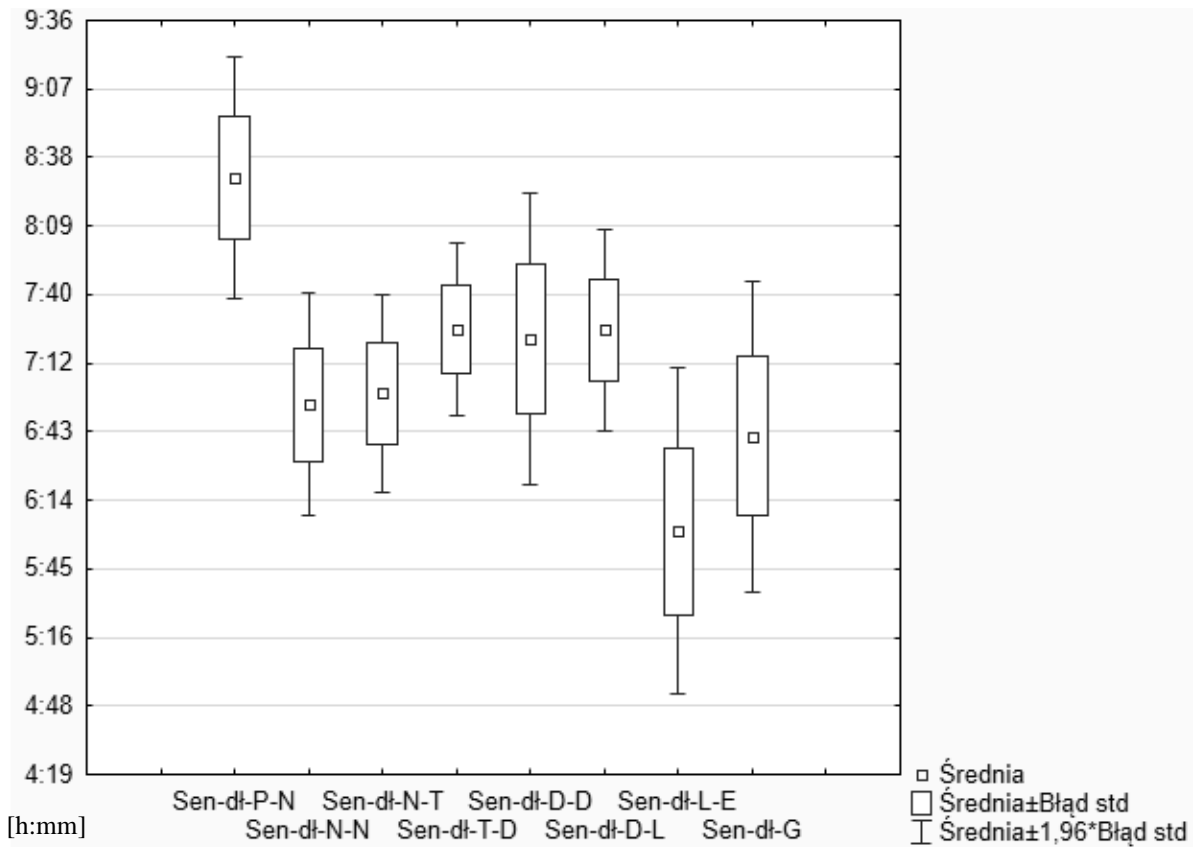
Szacuje się, że u osób dorosłych ok.  $\frac{1}{3}$  doby przypada na sen (Nussbaumer-Ochsner, Bloch 2014). W odróżnieniu do stanu czuwania, jest to czas spoczynku układu somatycznego. Trudności z zasypianiem, bezsenność, częste wybudzanie i inne zaburzenia snu są dość powszechne podczas przebywania na dużych wysokościach i mogą stanowić czynnik prognostyczny w rozwoju ostrej choroby górskiej.

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).

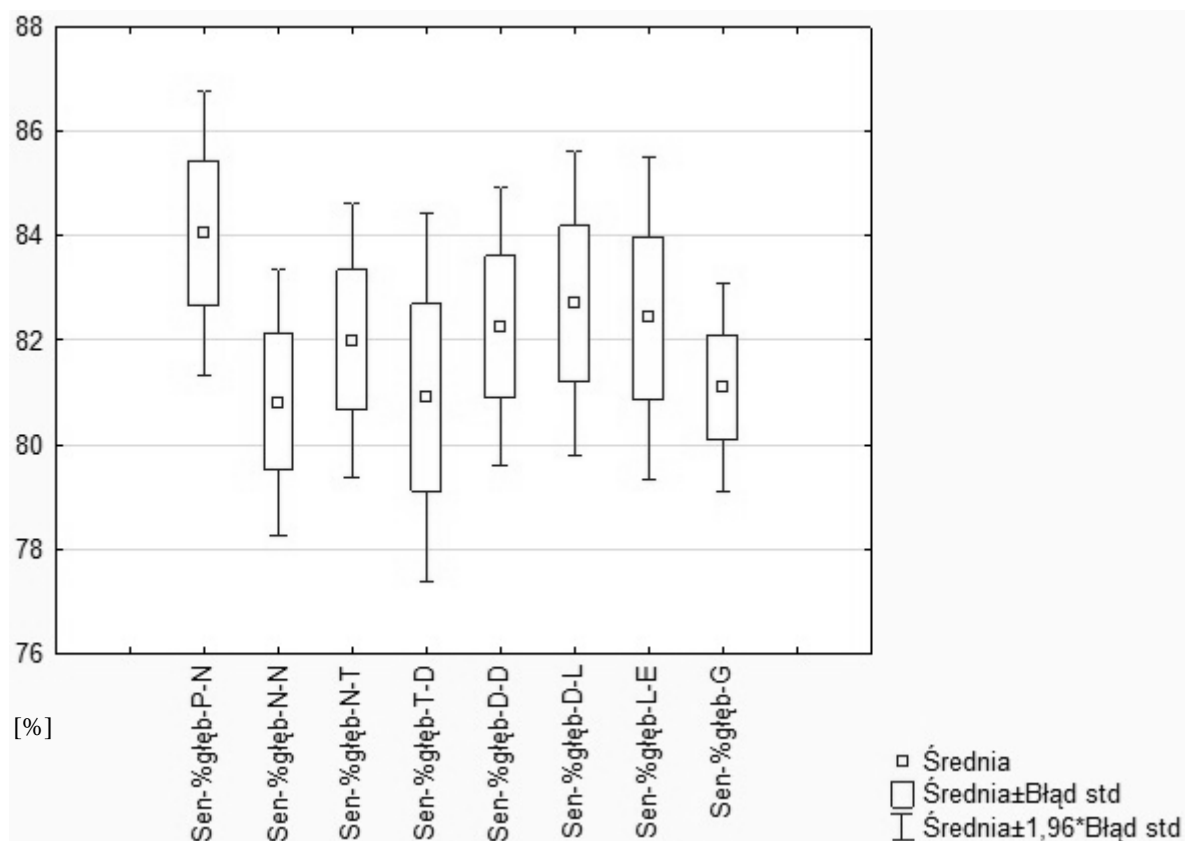
Czas trwania snu odnosi się do okresu między zaśnięciem a przebudzeniem osób z grupy badanej. Średni czas trwania snu był najdłuższy pierwszej nocy (przekroczył osiem godzin), co mogło wynikać z ogólnego zmęczenia po pokonaniu dużej różnicy wysokości podczas lotu z Kathmandu do Lukli, a następnie zejścia 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. 16).



**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. 16. 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. 17). 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. 17. Udział procentowy snu głębokiego w grupie badanej

### 3.4. Korelacje zmiennych porannych z testu ortostatycznego z SpO<sub>2</sub>, wysokością n.p.m. i występowaniem AMS

Autonomiczny układ nerwowy, odpowiedzialny za utrzymanie homeostazy organizmu, niezależnie od zmiennych warunków zewnętrznych i aktualnej aktywności (Górski 2008), odgrywa również istotną rolę podczas przebywania w warunkach hipoksji hipobarycznej. Układ ten reguluje szereg podstawowych funkcji organizmu, jak krążenie, temperatura ciała, czynność układu pokarmowego i inne. Układ autonomiczny jest aktywowany w sytuacjach stresowych, jak np. skoki temperatury otoczenia, znaczny wysiłek fizyczny czy silne emocje. W jego obrębie wyróżnia się część współczulną i przywspółczulną. Aktywacja części

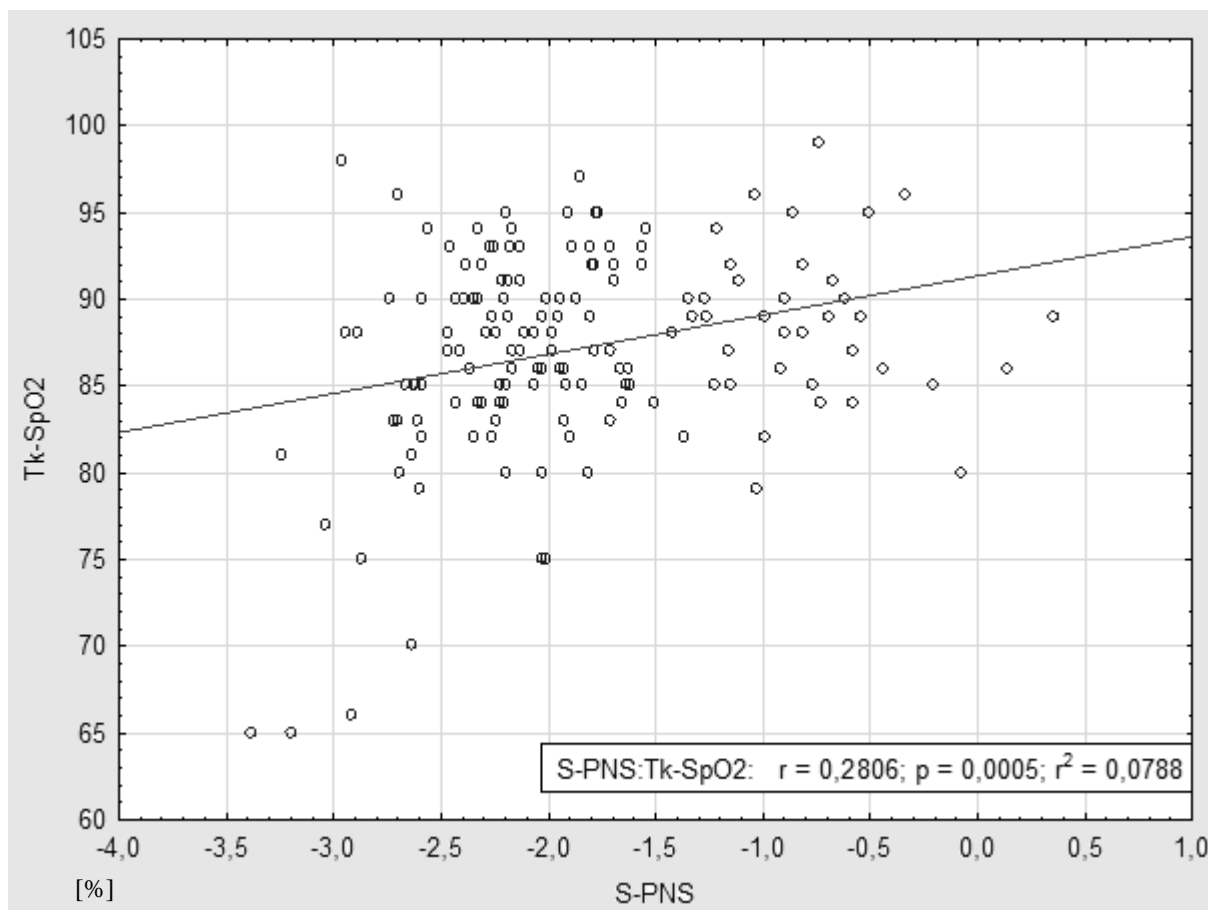
współczulnej stwarza warunki wewnętrzne organizmu do przeciwdziałania zagrożeniom, m.in. poprzez rozszerzenie źrenicy oka, przyspieszenie akcji serca, podniesienie ciśnienia tętniczego, wzrost stężenia glukozy i wolnych kwasów tłuszczowych we krwi, co wpływa na wzmożenie czujności i dostarczenie dodatkowej energii. Można zatem stwierdzić, że układ współczulny jest układem walki i czuwania. Pobudzenie układu przywspółczulnego związane jest natomiast z większością codziennych czynności trzewnych układu autonomicznego (trawienie, wchłanianie) regulacja czynności serca oraz oddychanie. Należy jednak pamiętać, że większość narządów wewnętrznych pozostaje pod wpływem obu części autonomicznego układu nerwowego, ponieważ pod względem czynnościowym, charakteryzują się one działaniem antagonistycznym, czyli jedna część działa pobudzająco, a druga hamująco, na czynności danego narządu (Górski 2008).

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). Odpowiedzi autonomicznego układu nerwowego wśród osób przebywających na dużych wysokościach mogą być osłabione (Saito i in. 2005). Niemniej jednak ostre niedotlenienie, podobnie jak gwałtowna ekspozycja na warunki wysokogórskie (np. zbyt szybkie podejście i duża różnica wysokości) jest silnym aktywatorem czynności układu współczulnego (Hainsworth i in. 2007). Dodatkowo w badaniach Boushel i in. (2001) wskazano na zwiększoną aktywność przywspółczulną jako głównego mechanizmu leżącego u podstaw dobrze znanej redukcji HR podczas podejmowania wysiłku na dużej wysokości. Chociaż można upatrywać się innych przyczyn współistniejących, to badania wykazują, że obniżenie częstości skurczów serca podczas wysiłku w warunkach wysokogórskich jest całkowicie wyjaśnione przez zwiększoną aktywność neuronową układu przywspółczulnego. Wyniki tego badania pokazują, że zmniejszenie tętna wysiłkowego podczas aklimatyzacji na dużej wysokości u zdrowych, aktywnych osób jest wynikiem nasilenia czynności układu przywspółczulnego (Boushel 2001). Ponadto w sytuacjach stresowych działanie układu współczulnego przeważa nad działaniem układu przywspółczulnego (Górski 2008).

Pośrednią metodę oceny reakcji autonomicznego układu nerwowego stanowią pomiary zmienności pracy serca. Rejestracja HRV, będąca jednocześnie nieinwazyjnym narzędziem

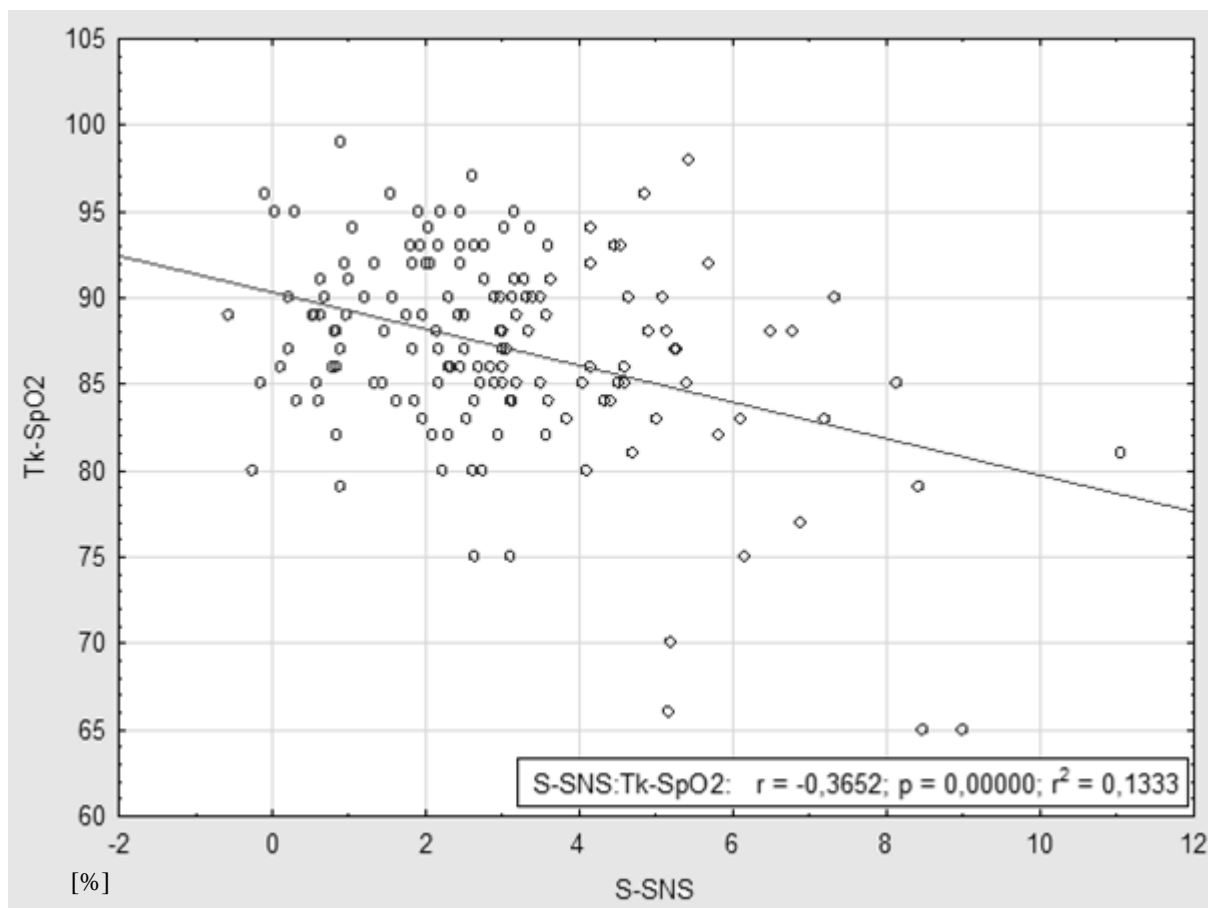
służącym do oceny reakcji krążeniowej autonomicznego układu nerwowego, umożliwia monitoring w różnych sytuacjach (w staniu, w spoczynku, we śnie). Fizjologiczne determinanty spoczynkowej zmienności pracy serca związane są z uwarunkowaniami genetycznymi, objętością osocza, aktywacją autonomicznego układu 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. Pomędzy pobudzeniem reakcji układu przywspółczulnego podczas stania w teście ortostatycznym (S-PNS) a porannym pomiarem poziomu nasycenia krwi tlenem ( $Tk-SpO_2$ ) wystąpiła istotna statystycznie, choć słaba, dodatnia korelacja ( $r=0,28$ ) (Ryc. 18). 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  $SpO_2$  w grupie badanej.



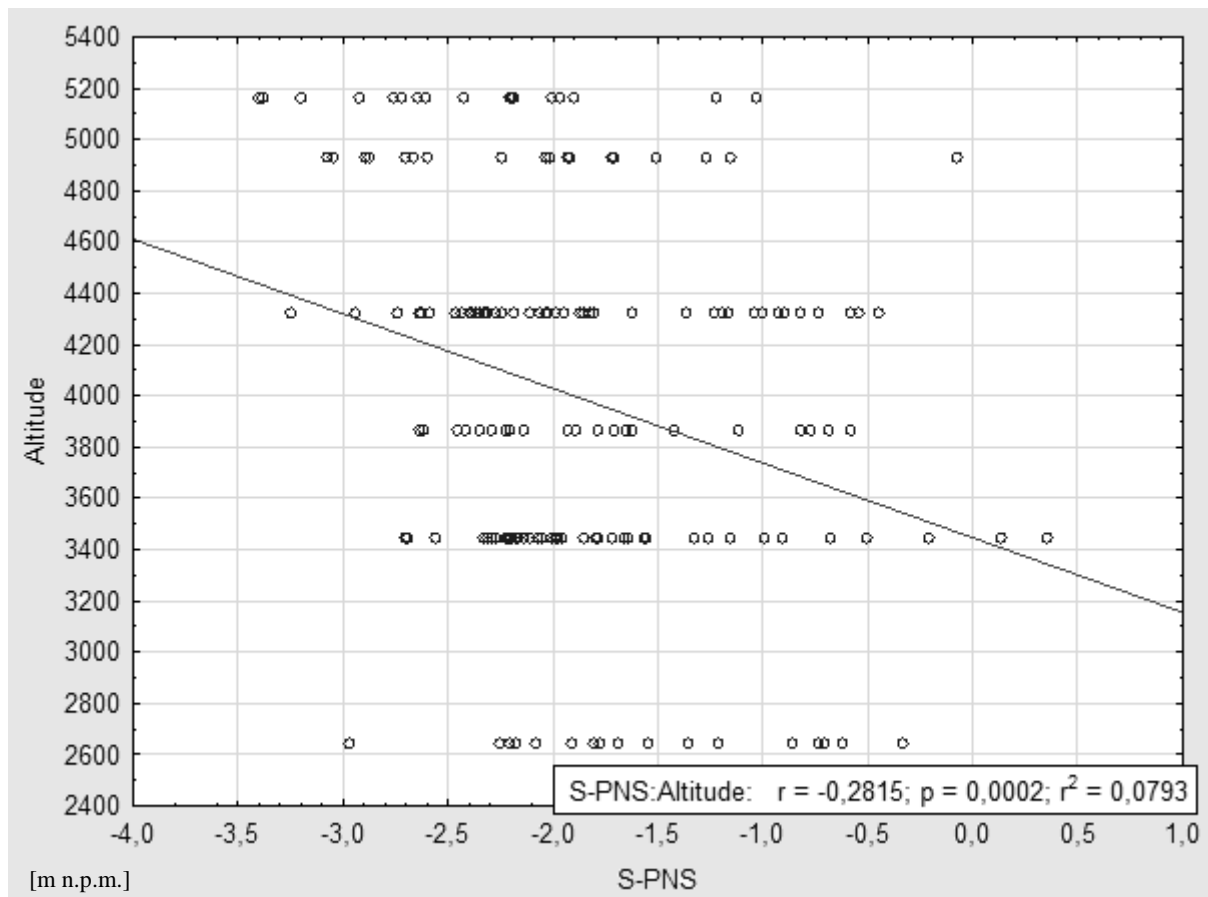
Ryc. 18. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z poziomem nasycenia hemoglobiny tlenem (pomiary poranne) w grupie badanej

Pomiędzy wskaźnikiem pobudzenia układu współczulnego podczas stania w teście ortostatycznym (S-SNS) a porannym pomiarem poziomu nasycenia hemoglobiny tlenem (Tk-SpO<sub>2</sub>) występowała korelacja ujemna ( $r=-0,36$ ) (Ryc. 19). Może to wskazywać na większe pobudzenie układu współczulnego w grupie badanej, z którym jednocześnie SpO<sub>2</sub> jest silniej powiązane ( $p<0,001$ ).



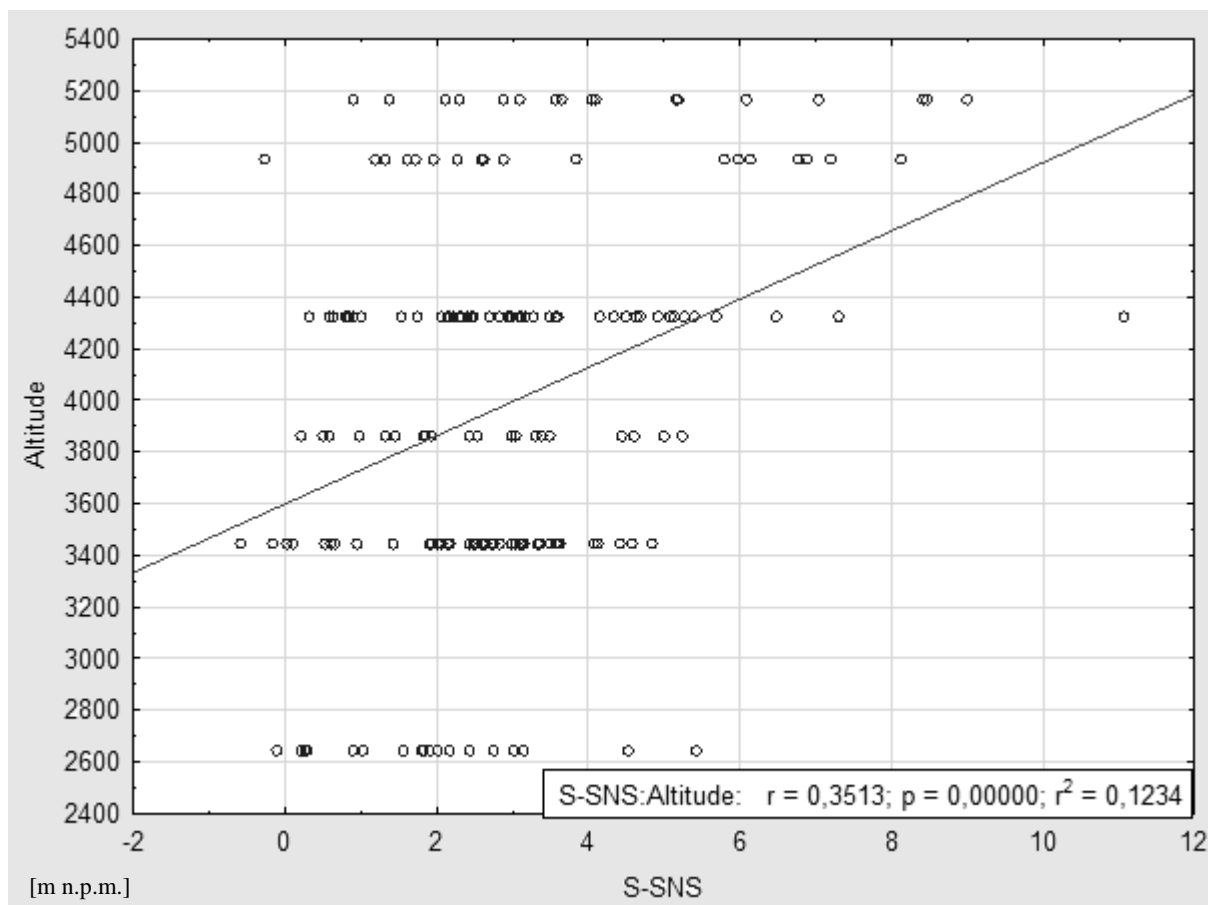
Ryc. 19. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z poziomem nasycenia hemoglobiny tlenem (pomiar poranne) w grupie badanej

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

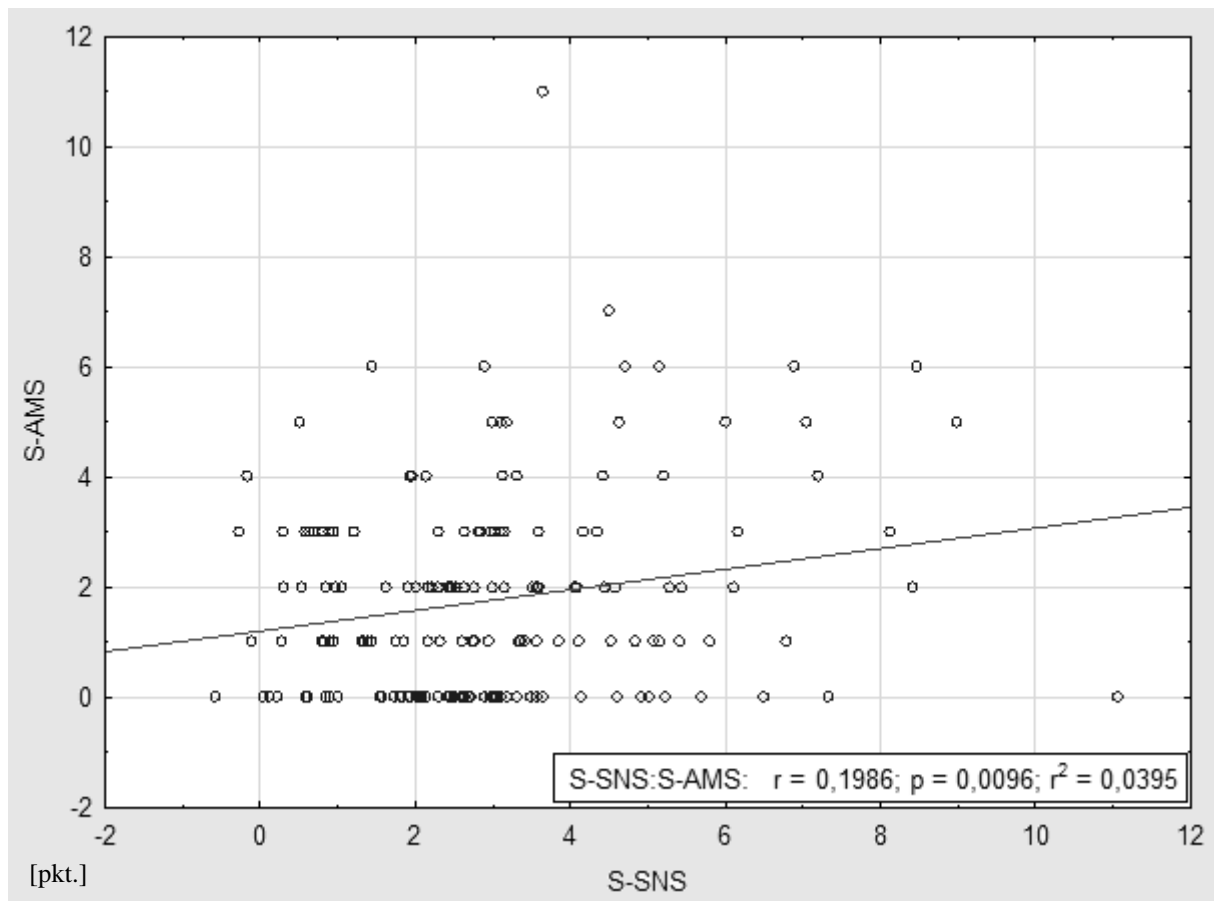
Pomiędzy wskaźnikiem pobudzenia układu współczulnego podczas stania w teście ortostatycznym (S-SNS) a wysokością nad poziomem morza (Altitude) występowała słaba, dodatnia ( $r=0,35$ ), ale istotna statystycznie korelacja (Ryc. 21). Może to wskazywać na zjawisko, że wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem 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. 21. 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. 22), co znajduje swoje uzasadnienie w zależności pomiędzy układem współczulnym a  $SpO_2$ , które również jest silnie uwarunkowane wzrostem wysokości nad poziomem morza.

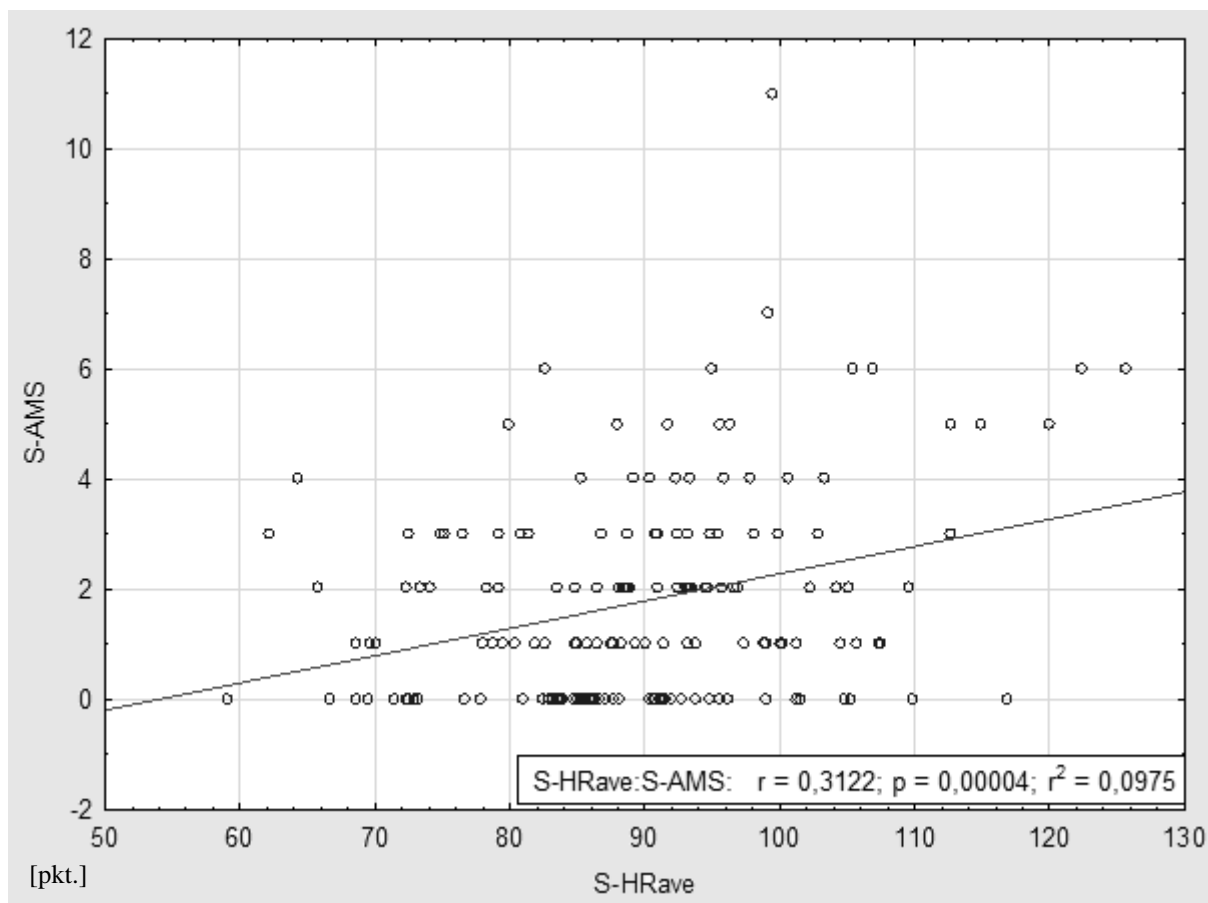




Ryc. 22. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z występowaniem ostrej choroby górskiej (AMS) w grupie badanej

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. 23).

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

Wcześniejsze doniesienia wskazywały, że AMS jest powiązany z nadmiernym pobudzeniem układu współczulnego, o czym również świadczą różnice między grupami oraz wcześniejsze korelacje. Niemniej jednak wpływ hipoksji na funkcjonowanie układu współczulnego człowieka jest trudny do precyzyjnego określenia i dlatego najczęściej stosuje się pośrednie metody oceny (Rowell, Blackmon 1986, Kujach i in. 2011).

### **3.4.1. Korelacje zmiennych porannych z testu ortostatycznego z wysiłkiem podczas trekkingu**

W analizie materiału badawczego wzięto pod uwagę różne rozwiązania dla określania obciążenia wysiłku, w tym kilka sposobów obliczania TRIMP, które jest zależne od częstości skurczów serca i czasu trwania wysiłku (TRIMP, TRIMPave, TRIMPzone, TRIMPexp). Największa dokładność i za razem najbardziej znaczące korelacje dotyczyły TRIMPexp, dlatego poddano go dalszym analizom. Parametr TRIMPexp jest oparty o krzywą HR i LA oraz ma inne współczynniki dla kobiet i mężczyzn. Wzór do obliczania TRIMPexp to:

$TRIMP_{exp} = \sum(D \times HRr \times 0.64e^y)$ , gdzie:

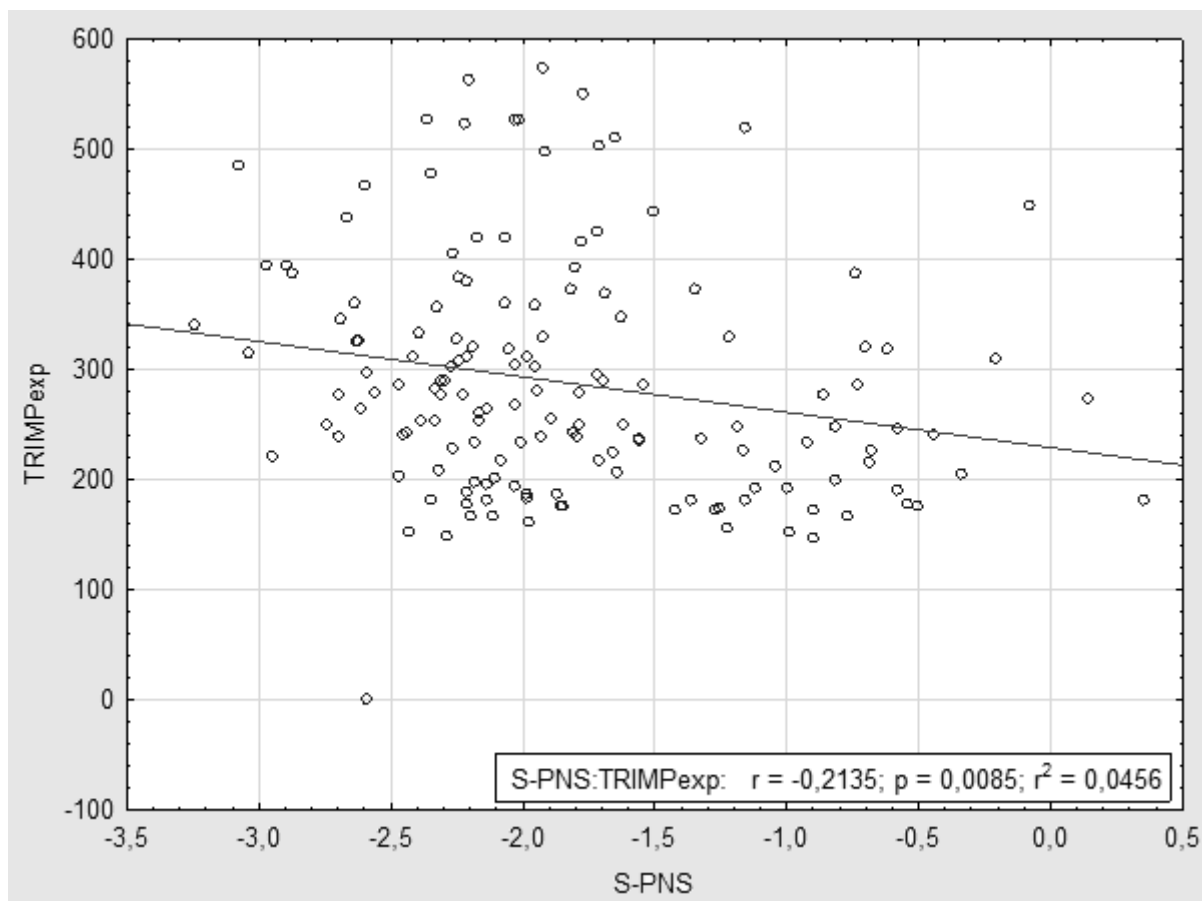
D = czas trwania w minutach przy określonym tętnie

HRr = tętno jako ułamek rezerwy tętna

y = HRr pomnożone przez 1,92 dla mężczyzn i 1,67 dla kobiet.

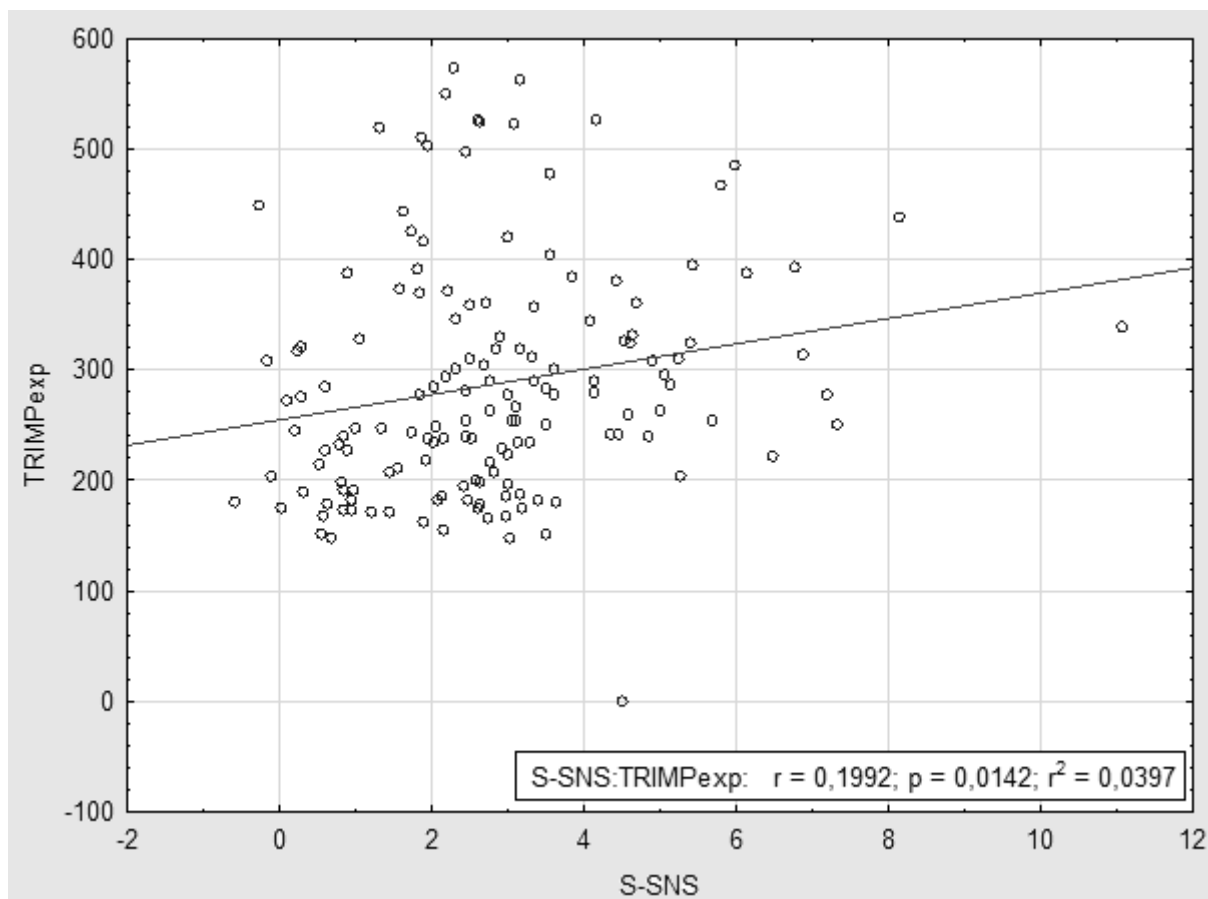
Stałe te zostały opracowane w oparciu o obserwowaną eksperymentalnie zależność między tętnem a poziomem mleczanu. Dla mężczyzn wartość TRIMP od 0 do 4,37 na minutę, a dla kobiet od 0 do 3,4 (<https://fellmr.com/wiki/TRIMP>).

Korelacja wskaźnika przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) podczas stania w teście ortostatycznym z wysiłkiem z dnia poprzedniego, wyrażonego jako  $TRIMP_{exp}$  w grupie badanej była ujemna ( $r=-0,21$ ), istotna statystycznie (Ryc. 24). Pojawia się zatem większa korelacja PNS niż SNS z  $TRIMP_{exp}$ . W tym przypadku wysiłek dnia poprzedniego i związane z tym zmęczenie jest bardziej widoczne w układzie przywspółczulnym, który stanowi wskaźnik regeneracji organizmu. Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań wiadomo, że wysiłek wytrzymałościowy o niskiej intensywności pobudza reakcje przywspółczulnej części autonomicznego układu nerwowego (Schäfer i in. 2017). Czym wyższe  $TRIMP_{exp}$  z dnia poprzedniego (większe zmęczenie poranne), tym większa redukcja pobudzenia PNS i słabsza regeneracja organizmu.



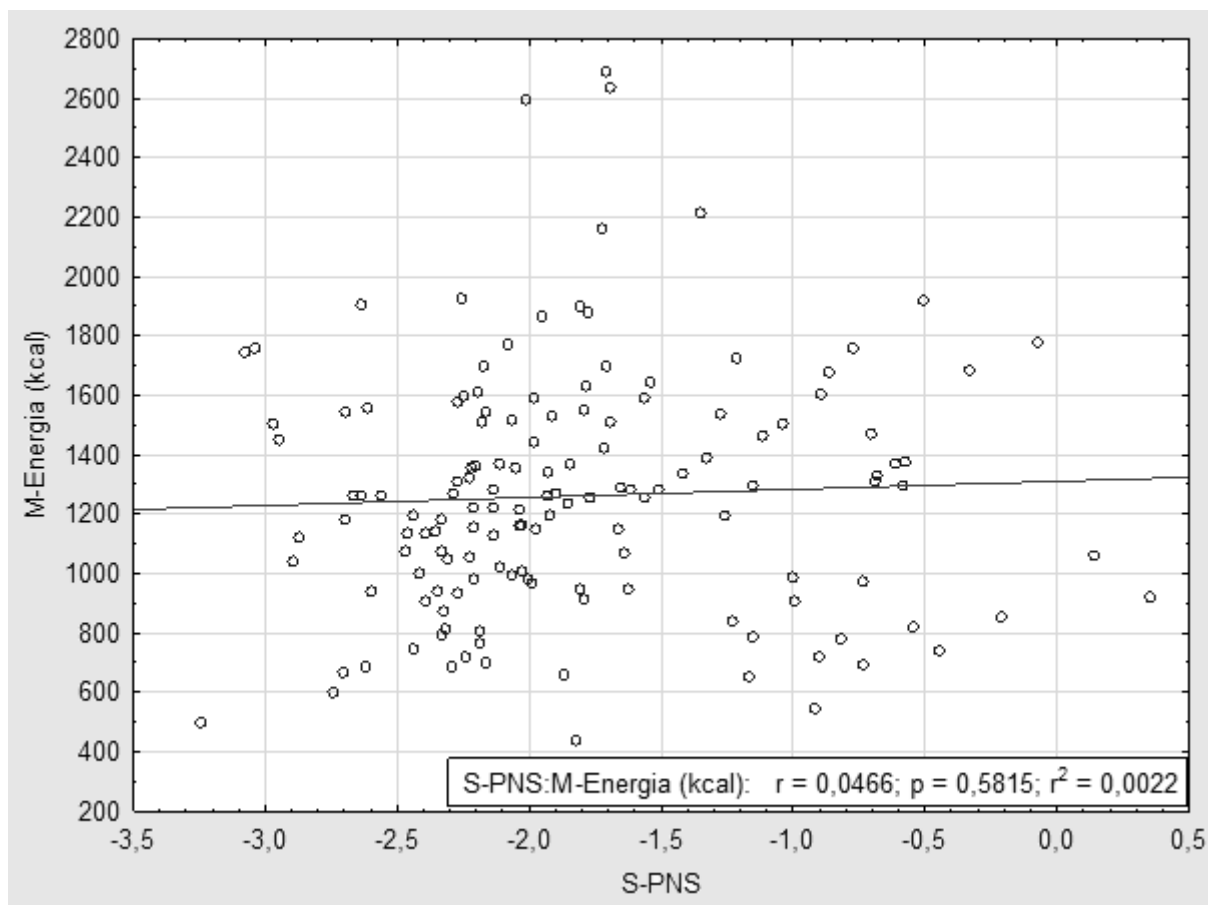
Ryc. 24. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z wysiłkiem z dnia poprzedniego (TRIMPexp) w grupie badanej

Korelacja wskaźnika współczulnego układu nerwowego (SNS) podczas stania w teście ortostatycznym z wysiłkiem z dnia poprzedniego, wyznaczonego metodą ilościowego określania tlenowego obciążenia treningowego w grupie badanej (TRIMPexp) była dodatnia ( $r=0,19$ ) oraz istotna statystycznie (Ryc. 25). Może to wskazywać na związek pomiędzy wzmożonym pobudzeniem układu współczulnego w pomiarach porannych w grupie badanej, czyli mobilizacją organizmu do działania.

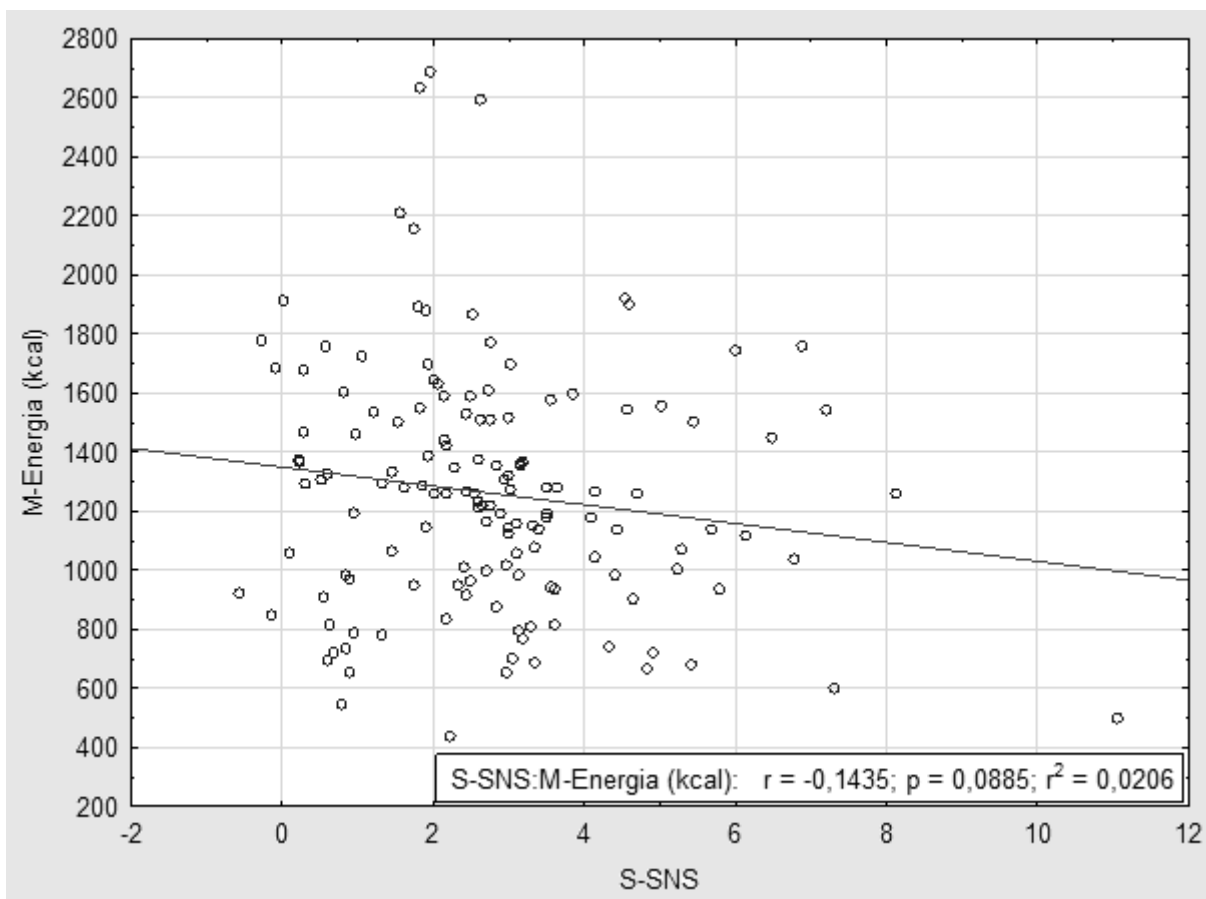


Ryc. 25. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z wysiłkiem z dnia poprzedniego (TRIMPexp) w grupie badanej

Korelacje wystąpiły między wskaźnikiem pobudzenia autonomicznego układu nerwowego działającego na serce a pracą określaną również na podstawie HR, czyli TRIMPexp (wysiłek wewnętrzny). W przypadku wysiłku zewnętrznego, czyli całościowej pracy obliczonej na podstawie wzoru Pandolfa i wsp. (1979) (prędkość pozioma, nastromienie, masa ciała, ciężar dodatkowy itd.) i przekształconego na wydatek energetyczny poszczególnych osób z grupy badanej (M-Energia), korelacja zaniknęła ( $r=0,05$  i  $r=-0,14$ ) (Ryc. 26, Ryc. 27).



Ryc. 26. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z wysiłkiem z dnia poprzedniego (energia-kcal) w grupie badanej



Ryc. 27. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z wysiłkiem z dnia poprzedniego (energia-kcal) w grupie badanej

Przy znacznym zmęczeniu rozregulowaniu podlega czynność układu autonomicznego (współczulnego i przywspółczulnego), czego przejawem są rozmaite zaburzenia czynności wegetatywnych (Górski 2008).

### 3.5. 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.

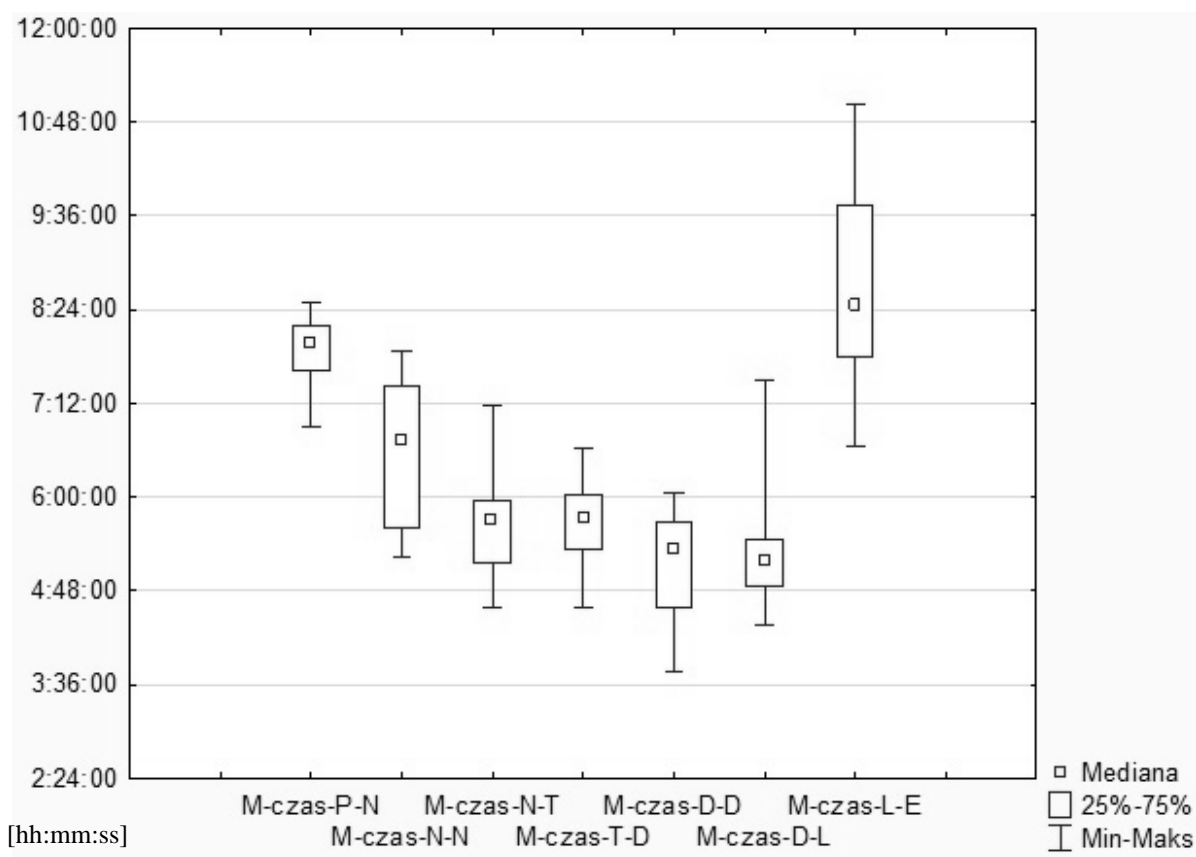


Fot. 2. Pomiar wysokości podczas trekkingu przy użyciu Polar V800 (źródło: archiwum autorki)

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 (Ryc. 28). 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.

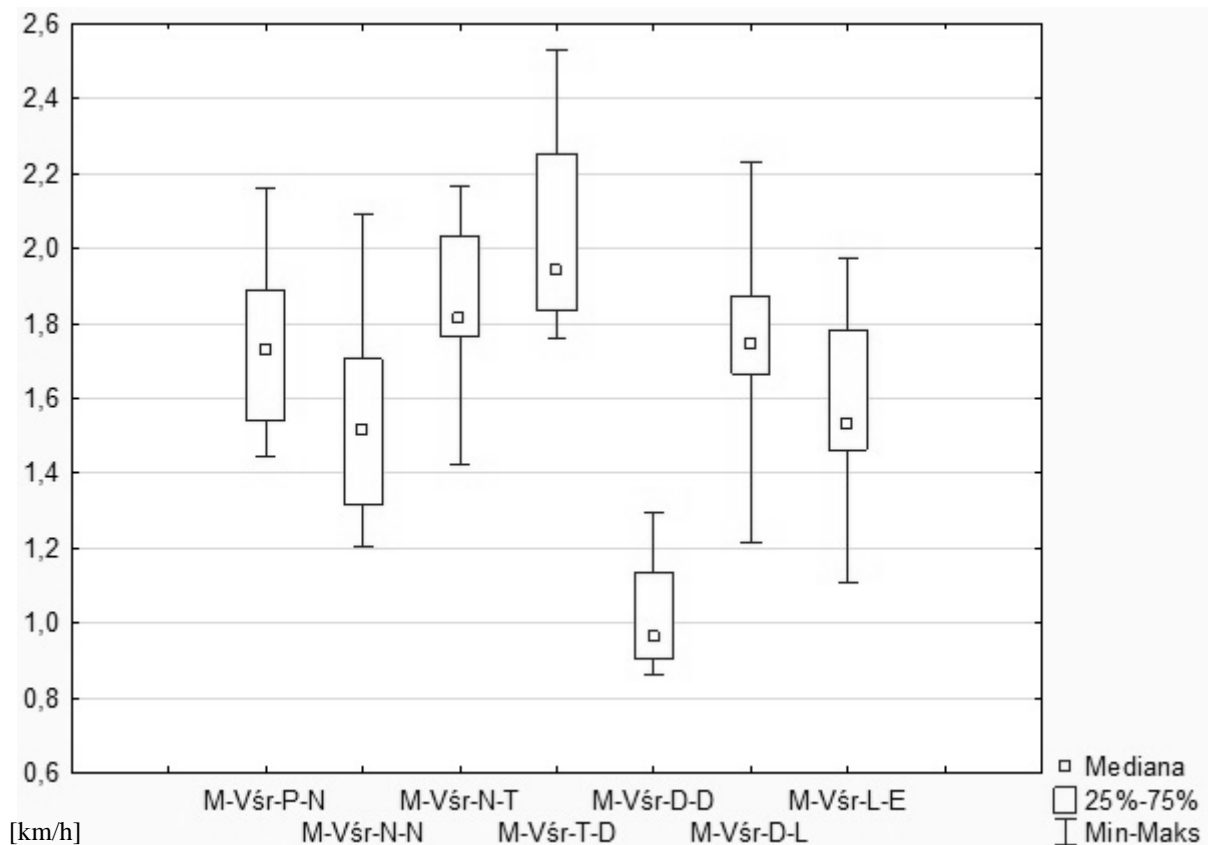


**Legenda:** P-N- Phakding (2610 m n.p.m.) – Namche Bazaar (3450 m n.p.m.)  
 N-N- aklimatyzacja w Namche Bazaar (3450 m n.p.m. – 3880 m n.p.m.)  
 N-T- Namche Bazaar (3450 m n.p.m.) – Tengboche (3867 m n.p.m.)  
 T-D- Tengboche (3867 m n.p.m.) – Dingboche (4350 m n.p.m.)  
 D-D- aklimatyzacja w Dingboche (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. 28. Czas trwania (hh:mm:ss) poszczególnych etapów trekkingu

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.

Najniższa średnia prędkość marszu, wyrażona w kilometrach na godzinę dotyczyła dnia piątego (Ryc. 29), kiedy odbywało się wyjście aklimatyzacyjne do punktu przewyższającego 5000 m n.p.m. Dla zdecydowanej większości osób w grupie badanej było to pierwsze przekroczenie takiego pułapu wysokości.

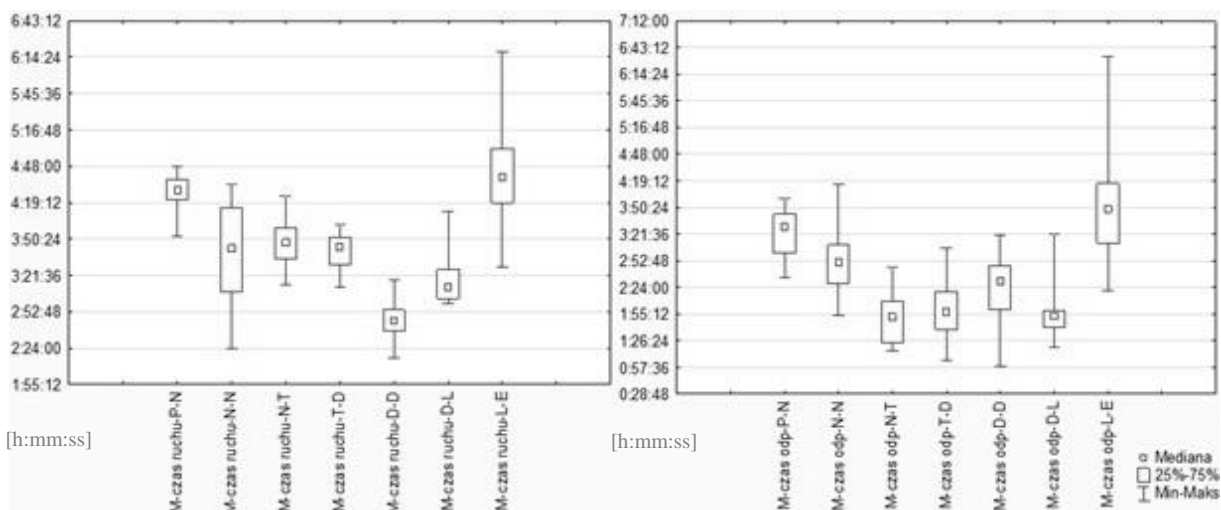


**Legenda:** P-N- Phakding (2610 m n.p.m.) – Namche Bazaar (3450 m n.p.m.)  
 N-N- aklimatyzacja w Namche Bazaar (3450 m n.p.m. – 3880 m n.p.m.)  
 N-T- Namche Bazaar (3450 m n.p.m.) – Tengboche (3867 m n.p.m.)  
 T-D- Tengboche (3867 m n.p.m.) – Dingboche (4350 m n.p.m.)  
 D-D- aklimatyzacja w Dingboche (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. 29. Średnia prędkość marszu (km/h) poszczególnych etapów trekkingu

Największe różnice w czasie trwania wysiłku wyznaczonego przez początek i koniec danego etapu trekkingu dotyczyły dnia drugiego (wycieczka aklimatyzacyjna) i siódmego (osiągnięcie celu) (Ryc. 30), kiedy to trasy przejścia w poszczególnych grupach ulegały modyfikacji z uwagi na indywidualne predyspozycje i preferencje członków grup trekkingowych.

Podobnie największe zróżnicowanie w czasie odpoczynku, będącym łączną sumą przerw wypoczynkowych w trakcie trwania poszczególnych etapów trekkingu, dotyczyło dnia drugiego oraz siódmego (Ryc. 30). Również wynika to z odmiennych opcji wybieranych tras o rozbieżnych długościach, sumie podejść i zejść wśród uczestników badań.



**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. 30. Czas ruchu i odpoczynku (hh:mm:ss) w poszczególnych dniach trekkingu

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 (Tab. 10).

Największa suma zejść oraz jej zróżnicowanie dotyczyło drugiego oraz siódmego dnia trekkingu (Tab. 10). W dniu drugim miała miejsce wycieczka aklimatyzacyjna, służąca zdobyciu wysokości przekraczającej 3800 m n.p.m. i powrót na drugi z kolei nocleg

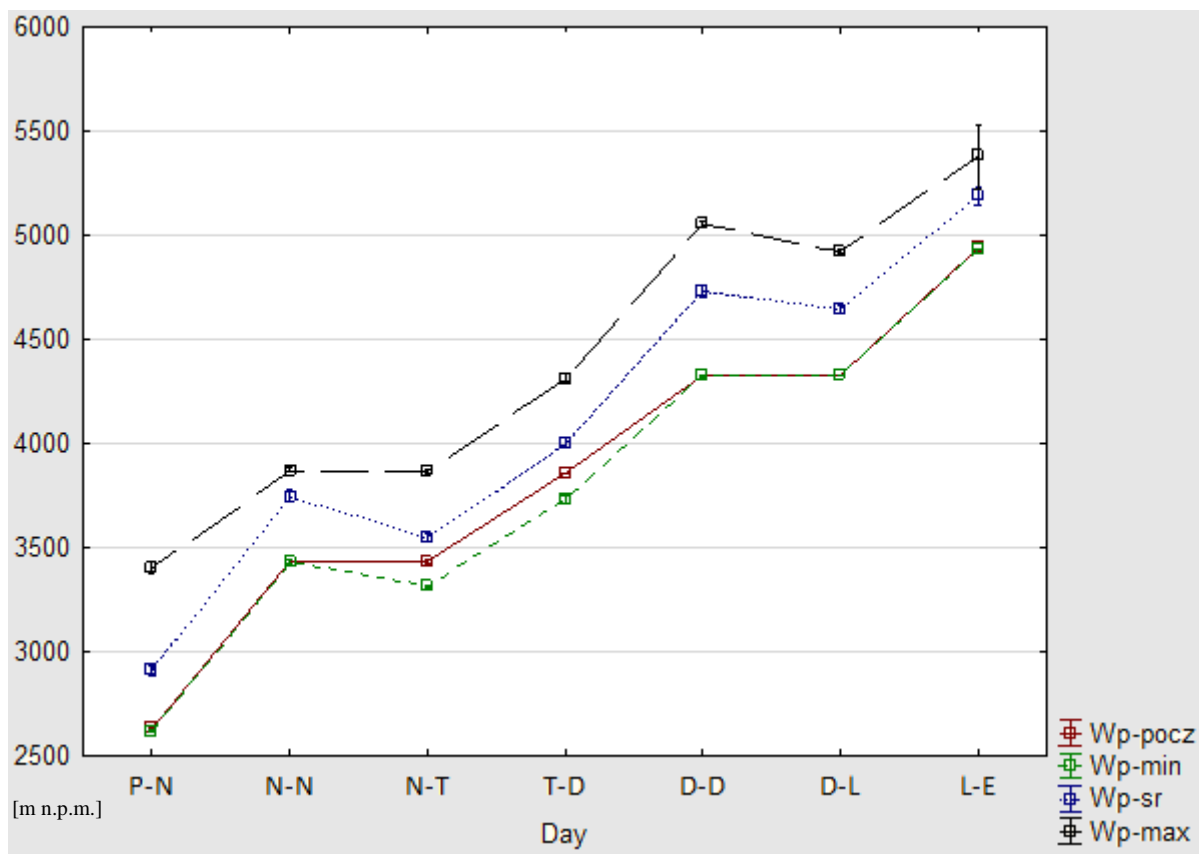
do Namche Bazaar. Natomiast w dniu ostatnim różnice w sumie zejść wynikają z modyfikacji trasy o dodatkowe zdobywanie punktu widokowego Kala Pattar.

Tab. 10. Suma podejść i zejść (m) w poszczególnych dniach trekkingu

Dzień	Podejścia (m)				Zejścia (m)			
	$\bar{x}$	med.	min-max	SD	$\bar{x}$	med.	min-max	SD
I	1134,1	1143,6	1005,1-1187,7	39,4	-361,7	-362,0	-412,4-303,0	29,7
II	687,9	690,7	539,5-810,9	72,5	-666,6	-660,6	-812,0-528,5	74,2
III	922,9	919,4	874,2-971,9	24,1	-492,4	-493,3	-537,7-412,2	26,1
IV	781,1	781,2	747,5-819,6	22,6	-328,8	-327,3	-372,6-278,7	25,4
V	788,6	783,0	733,8-887,1	34,7	-783,2	-779,4	-865,2-723,7	30,6
VI	760,7	771,0	699,5-812,6	31,9	-166,3	-165,0	-227,5-124,0	29,9
VII	805,5	754,1	586,3-1177,0	162,5	-560,6	-521,7	-949,0-241,2	169,7

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. 31), 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. 31), 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. 31. 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.

## 4. Dyskusja

Do końca XIX wieku uważano, iż maksymalna wysokość, jaką może osiągnąć człowiek bez użycia tlenu to 6500 m n.p.m. W kolejnym stuleciu w oparciu o badania fizjologiczne, brytyjski uczonec Alexander M. Kellas, wygłosił kontrowersyjny jak na ówczesne czasy pogląd, że najwyższy szczyt Ziemi może być zdobyty bez użycia dodatkowego tlenu z butli (Ryn 2018). Kolejne bariery i zarazem rekordy wysokości osiągnano już w wieku XX, podczas pierwszych prób zdobycia Mount Everestu. W latach 20. i 30. wielu badaczy usiłowało określić wysokość, do jakiej może dotrzeć człowiek bez wykorzystania aparatury tlenowej. Przełomowym wydarzeniem, przyczyniającym się jednocześnie do dalszych poszukiwań badawczych, było zdobycie wierzchołka w 1953 roku przez Edmunda Hillary'ego i Tenzinga Norgaya, kiedy to postanowiono również przebadać wszystkich członków zwycięskiej wyprawy (Ryn 2018). Podczas ekspedycji Everest II maksymalna częstość skurczów serca uczestników spadła ze 160 ud/min na poziomie morza do 118 ud/min na 8848 m n.p.m. (Reeves i in. 1987), co jest zgodne z hipotezą postawioną w niniejszej pracy, dotyczącą wyższych wartości bazowych z pomiarów laboratoryjnych, w obrębie układu krwionośnego, aniżeli w środowisku naturalnym gór wysokich. Warto zauważyć, że niemal każda znacząca wyprawa w góry wysokie, zwłaszcza w Himalaje, po za realizacją celów alpinistycznych, uzyskiwała jednocześnie doświadczenia naukowo-badawcze (Drdoš i in. 1990).

W kolejnych latach badania medyczne w warunkach wysokogórskich kontynuowano, a jednym z najważniejszych centrów tego typu pomiarów pozostawały okolice Mount Everestu. W 1960 roku u czoła lodowca Mingbo, z inicjatywy Edmunda Hillary'ego, wzniesiono laboratorium Silver Hut, które stało się miejscem realizacji dociekań na temat funkcjonowania organizmu ludzkiego w górach wysokich oraz zasad prawidłowej aklimatyzacji (Isserman, Weaver 2019). Najważniejsze projekty badawcze, realizowane w tym miejscu dotyczyły fizjologii układu krążeniowo-oddechowego, skutków długotrwałej ekspozycji na warunki wysokogórskie, transportu tlenu do poszczególnych tkanek organizmu, wydolności i czynności serca. W następnych latach badania w tym zakresie podejmowali również Włosi (1973 r.), Amerykanie (1981 r.) czy Japończycy (1983 r.) (Ryn 2018). Kolejnymi przełomowymi wydarzeniami w eksploracji gór wysokich, było pierwsze wejście na „dach świata” bez wspomaganie tlenem, którego dokonali Reinhold Messner i Peter Habeler w 1978 roku oraz pierwsze zimowe zdobycie Everestu przez Polaków - Leszka Cichego i Krzysztofa Wielickiego w 1980 roku. Te spektakularne osiągnięcia bezpośrednio przyczyniły

się do rekonstrukcji warunków fizjologicznych podczas trwania wypraw i tym samym inicjacji szeregu badań w warunkach laboratoryjnych (Ryn 2018). Niemniej jednak, badania te wymagają znacznych nakładów finansowych, przy czym jedynie częściowo oddają okoliczności, na jakie narażony jest człowiek podczas przebywania w naturalnych warunkach środowiska wysokogórskiego.

Zważywszy na historię eksploracji gór wysokich i związanych z nimi badań naukowych, aktualny poziom wiedzy na temat wpływu warunków wysokogórskich na organizm człowieka w głównej mierze oparty jest na badaniach, podczas których próbom i obserwacjom poddawano alpinistów i himalaistów (Ferretti i in. 1990, Szymczak 2008), wyczynowych sportowców oraz żołnierzy (Nussbaumer-Ochsner, Bloch 2014, Bhaumik i in. 2018). Brakuje natomiast opracowań dotyczących turystów oraz osób rekreacyjnie uprawiających aktywności na obszarach wysokogórskich, pomimo iż góry wysokie stały się znacznie bardziej dostępne i popularne, z uwagi na coraz częściej i liczniej organizowane wyprawy komercyjne, podczas których niedoświadczeni turyści mogą podejmować próby zdobycia niemal nieosiągalnych wcześniej szczytów (Żoczek i in. 2017). Dodatkowo liczebność dotychczas badanych grup również była stosunkowo niewielka, co spowodowane jest szeregiem trudności organizacyjnych w tego typu przedsięwzięciach, ograniczeniach sprzętowych oraz podyktowane jest specyfiką warunków terenowych w środowisku naturalnym gór wysokich. Taki stan rzeczy oraz wzrost popularności terenów wysokogórskich jako obszarów recepcji turystycznej potęguje unikalność badań nad strukturą aktywności fizycznej osób biorących udział w jednym z najpopularniejszych trekkingów w Himalajach, dostępnych dla przeciętnego turysty.

Projekt „Polskie Himalaje 2018”, w którym udział wzięło łącznie ponad 400 osób, w każdym wieku, wykonujących różne zawody i zamieszkujących nie tylko w Polsce, ale i za granicą, stworzył niepowtarzalną wręcz okazję do przeprowadzenia wieloaspektowych pomiarów i obserwacji. Wśród uczestników projektu byli m.in. wybitni alpinści, jak Leszek Cichy, Rafał Fronia, Dariusz Załuski czy Anna Czerwińska, a także utytułowani sportowcy-medaliści olimpijscy, mistrzostw świata i Europy. Większość stanowili jednak przeciętni turyści, bez doświadczenia wysokogórskiego, po raz pierwszy wyruszający w tego typu tereny i to oni wchodzili w skład grupy badanej. Zdaniem szefa projektu „Polskie Himalaje 2018” Leszka Cichego, było to „największe przedsięwzięcie logistyczne w historii wypraw trekkingowych. Jeszcze nigdy nie zdarzyło się bowiem, aby w ciągu 20 dni przybyło do Nepalu z jednego kraju aż tyle osób, które udały się pod Everest” (<https://polskiehimalaje.pl/o-projekcie/>).

Znaczna część przeprowadzonych dotychczas badań odbywała się w warunkach symulujących wyprawy w góry wysokie, a trzeba mieć na uwadze specyfikę warunków terenowych, którą determinuje szereg czynników takich, jak temperatura i wilgotność powietrza, zwiększone promieniowanie UV, wzmożony wysiłek fizyczny czy stres (West i in. 2007). Pomiary i ich rejestracja, prowadzone w warunkach laboratoryjnych umożliwiają badanie wpływu samej hipoksji przy jednoczesnym zminimalizowaniu wpływu i kontrolowaniu pozostałych zmiennych. Aktualnie trwają dyskusje na temat realizacji eksperymentów hybrydowych, polegających na zdobyciu pełnej aklimatyzacji w warunkach terenowych, a następnie przetransportowaniu badanych do komory hipoksyjnej w celu podjęcia wysiłku w warunkach symulowanej wysokości powyżej 8000 m n.p.m. Takie obserwacje mogłyby przyczynić się do znalezienia odpowiedzi na niektóre, nierozwiązane dotychczas wątpliwości związane ze zdobywaniem szczytów w górach wysokich (West 1998).

W badaniach, których wyniki opisano w niniejszej pracy oceniano strukturę aktywności fizycznej uczestników trekkingu do bazy pod Everestem oraz różnice w reakcji układu krwionośnego w warunkach hipoksji normobarycznej w porównaniu do warunków wysokogórskich środowiska naturalnego. Jedną z głównych zmiennych, będącym przedmiotem niniejszych badań była częstość i zmienność skurczów serca w grupie badanej. Redukcję HR na dużych wysokościach po raz pierwszy opisano już w 1937 roku (Christensen, Forbes), jednak mechanizm leżący u podstaw tej reakcji pozostawał nierozpoznany do końca ubiegłego wieku. W prezentowanych badaniach wykazano związek pomiędzy wzmożoną aktywnością układu przywspółczulnego (wskaźnik PNS Index) a obniżeniem maksymalnej częstości skurczów serca (HRmax), podczas przebywania i aktywności w warunkach wysokogórskich. Jest to zgodne z dotychczasowymi pomiarami i obserwacjami przeprowadzonymi przez Boushel i in. (2001), którzy stwierdzili, że w przewlekłym niedotlenieniu zarówno tętno (HR), jak i objętość wyrzutowa serca są obniżone podczas podejmowania wysiłku. Podobne doniesienia prezentują Hainsworth i in. (2007), wskazując na wzrost aktywności współczulnej części autonomicznego układu nerwowego w wyniku niedotlenienia organizmu. Ponadto większość zmian adaptacyjnych pojawia się w pierwszych dniach po przybyciu na wysokość, czyli w okresie kiedy może wystąpić ostra choroba górską i wysokościowy obrzęk płuc. Hipoksja hipobaryczna powoduje wzrost spoczynkowego HR, co uwidacznia się zarówno podczas ekspozycji na wysokość, jak i podczas symulacji w komorze hipobarycznej (Vogel i in. 1967). Taka zależność stanowi swoistą odpowiedź organizmu na warunki hipoksji, która jest silnym aktywatorem czynności układu współczulnego (Marshall 1994, Hansen, Sander 2003). Badania przeprowadzone przez Ghaleb i in. (2020) pokazują,



że czas (dni spędzone na wysokości) ma istotny wpływ na HR. Według autorów artykułu na temat określania czasu potrzebnego pracownikom na aklimatyzację do hipoksji, niedotlenienie miało istotny wpływ na HR uczestników badania, co oznacza, że HR uczestników znacznie wzrosło już w pierwszym dniu ekspozycji na hipoksję. Następnie częstość skurczów serca zmniejszała się stopniowo, aż do dziesiątego dnia ekspozycji na hipoksję, a w ciągu ostatnich pięciu dni HR utrzymywało się na stałym poziomie (Ghaleb i in. 2020).

Występowanie ostrej choroby górskiej wśród osób badanych było kolejnym z obserwowanych parametrów podczas realizacji badań w terenie. AMS jest powszechnie znanym powikłaniem narażenia na hipoksję. Istnieje kilka sposobów, które pozwalają przewidzieć i zdiagnozować jej objawy. Wśród nich wyróżnia się kwestionariusz oceny Lake Louise oraz pomiary i obserwację poziomu nasycenia hemoglobiny tlenem (Brierley i in. 2012). Poszukując odpowiedzi na pytanie czy i w jakim stopniu poranne pomiary SpO<sub>2</sub> wyjaśniają występowanie symptomów ostrej choroby górskiej, przeprowadzono badania własne nieinwazyjną metodą monitorowania saturacji tlenowej krwi tętniczej. Pomiary wykazały, iż stopniowemu obniżeniu ulegają wartości nasycenia hemoglobiny tlenem w grupie badanej. Zakres SpO<sub>2</sub> pomiędzy pierwszym dniem przebywania na obszarach wysokogórskich, a osiągnięciem pułapu powyżej 5000 m n.p.m. wyniósł 99-65%. Tak wyraźny spadek jest potwierdzeniem znamienego wpływu hipoksji na organizm człowieka. Dodatkowo analizując wartości minimalne i maksymalne SpO<sub>2</sub>, zaobserwować można silne zróżnicowanie w grupie badanej, które uwidacznia się zwłaszcza w drugiej połowie trekkingu, co świadczyć może o znacznej indywidualizacji w procesie aklimatyzacji organizmu do dużych wysokości. Zgodnie z badaniami Brierley i in. (2012) szeroki zakres indywidualnych średnich wartości nasycenia hemoglobiny tlenem wykazuje zmienność w kompensacji oddechowej. Autorzy badań przeprowadzonych podczas 28-dniowej ekspedycji w peruwiańskich Andach, na pułapie wysokości zbliżonym do opisywanego trekkingu w Himalajach Nepalu, doszli do wniosku, iż możliwe jest by pomiary nasycenia hemoglobiny tlenem na poziomie morza umożliwiły przewidywanie reakcji na hipoksję hipobaryczną (Brierley i in. 2012). Dodatkowo, obniżanie SpO<sub>2</sub> w grupie badanej wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza było powiązane ze wskaźnikiem pobudzenia układu współczulnego podczas trwania trekkingu. W badaniach Leichtfried i in. (2016), obejmujących łącznie 1639 osób, biorących udział w zorganizowanych przez agencję wyjazdach trekkingowych w obszary wysokogórskie w różnych częściach świata stwierdzono, że SpO<sub>2</sub> ułatwia wykrycie wczesnego niedotlenienia organizmu, które jest jednym z głównych czynników wyzwalających AMS. Dlatego też pomiary pulsoksymetrem uznano za przydatne narzędzie do monitorowania prawidłowości przebiegu procesu aklimatyzacji

do dużych wysokości. Z wyników badań Leichtfried i in. (2016) wynika, że związek pomiędzy spadkiem SpO<sub>2</sub> a częstością występowania AMS ocenianą w skali Lake Louise jest słaby do umiarkowanego. Mogło to być jednak spowodowane niejednorodnością turystów trekkingowych pod względem wieku czy stanu zdrowia. Osoby cierpiące na choroby w obrębie układu oddechowego czy sercowo-naczyniowego wykazują niższe wartości SpO<sub>2</sub> już na niskich wysokościach (Leichtfried i in. 2016). Niemniej jednak dotychczasowe badania sugerują, że pulsoksymetria ma znaczący potencjał w poprawie bezpieczeństwa uczestników trekkingów wysokogórskich (Major i in. 2012). Dlatego też regularna obserwacja SpO<sub>2</sub> powinna stać się standardem stosowanym przez organizatorów, liderów i przewodników wszystkich grup trekkingowych.

Zgodnie z wynikami dotychczas przeprowadzonych badań, wydajność organizmu zmniejsza się proporcjonalnie do wzrostu wysokości nad poziomem morza i czasu trwania ekspozycji na warunki wysokogórskie (Żoczek i in. 2016). Przykładowo zaaklimatyzowany alpinista, który znajdzie się na wysokości Mount Blanc (4810 m n.p.m.) będzie w stanie wykorzystać ok. 70% swoich faktycznych możliwości fizycznych (Żoczek i in. 2016). Dlatego też nigdy nie należy lekceważyć wcześniejszego treningu kondycyjnego przed wyjazdem w góry wysokie. Kompleksowe przygotowanie organizmu oraz znajomość zagrożeń i wiedza oraz respektowanie zasad prawidłowej aklimatyzacji podnosi poziom bezpieczeństwa i zwiększa prawdopodobieństwo osiągnięcia założonego celu wyprawy.

Średnie szczytowe wartości częstości skurczów serca w grupie badanej podczas trwania aktywności (marszu) w warunkach wysokogórskich mieściły się w zakresie 149-156 uderzeń na minutę, z największym zróżnicowaniem w dniu ostatnim (min-max=137-189), podczas gdy w pomiarach laboratoryjnych wartości te wynosiły odpowiednio 170-198 ud/min, co znajduje potwierdzenie we wcześniej prowadzonych badaniach (Boushel i in. 2001), na podstawie których stwierdzono, że w porównaniu z poziomem morza szczytowe wartości częstości skurczów serca w warunkach wysokogórskich zmniejszają się o ok. 20%.

Z niewyjaśnionych jak dotychczas powodów wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza, zmniejsza się maksymalna (szczytowa) częstość skurczów serca. Już na poziomie ok. 2000 m n.p.m. jest ona niższa mniej więcej o 5-8 skurczów na minutę w porównaniu do częstości HR osób przebywających na nizinach. Na wysokości ok. 5000 m n.p.m. obserwuje się dalszy spadek maksymalnych wartości HR o ok. 30-40 skurczów na minutę (Górski 2008).

Wcześniej przeprowadzone pomiary Boushel i in. (2001) wykazały, że obniżenie maksymalnej częstości skurczów serca podczas przebywania w warunkach wysokogórskich

jest spowodowane wzmożoną aktywnością układu przywspółczulnego i stanowi naturalną odpowiedź organizmu na warunki hipoksji i znajduje odzwierciedlenie w niniejszych badaniach. Natomiast analiza korelacji pomiędzy występowaniem ostrej choroby górskiej a średnią częstością skurczów serca w grupie badanej wykazała znamiennej związek pomiędzy podwyższonym HR a objawami AMS. Jak stwierdzili Ghaleb i in. (2020), wzrost HR rekompensuje deficyt tlenu. Gdy dana osoba pozostaje w miejscach wysoko położonych przez kilka dni, pojemność minutowa serca w spoczynku zostaje znormalizowana (Siebenmann i in. 2013). Jednak wyniki tego badania wydają się nie zgadzać z wynikami Latshang'eta in. (2013), który donosi, że po aklimatyzacji HR i wentylacja nadal rosną z utrzymującą się odpowiedzią współczulną wywołaną przez obwodowe chemoreceptory poprzez utrzymującą się hipoksemię.

Kolejnym parametrem związanym ze strukturą aktywności fizycznej podczas trekkingu wysokogórskiego był średni wydatek energetyczny, wyrażony w kilokaloriach (kcal) oraz wartości TRIMPE<sub>exp</sub>, będące ilościowym określeniem tlenowego obciążenia wysiłkiem. Opisywane zmienne były najwyższe w pierwszym i ostatnim dniu trekkingu. W pierwszym dniu uczestnicy mieli do pokonania największą różnicę wysokości ( $\pm 840$  m) i dominowały podejścia ( $\pm 1100$  m), natomiast dzień ostatni związany był z dotarciem do celu trekkingu, a część osób z grupy badanej dodatkowo zdobywała punkt widokowy Kala Pattar.

W subiektywnej ocenie postrzeganego wysiłku szacowanej przez badanych w skali Borga uwidacznia się wyraźna tendencja wzrostowa wraz ze zdobywaniem wysokości. Najwyższe wartości RPE i ich zróżnicowanie wystąpiło w dwóch ostatnich dniach trekkingu, osiągając wartości maksymalne powyżej 15 punktów, tj. „ciężko”. Skalą tą posłużono się również we wcześniejszych badaniach (MacNutt i in. 2012) dotyczących aklimatyzacji uczestników trekkingu w rejonie Gokyo w Himalajach Nepalu.

Kolejnym analizowanym parametrem związanym z występowaniem ostrej choroby górskiej podczas trekkingu w Parku Narodowym Sagarmatha był czas trwania i jakość snu. U przeciętnego człowieka minimalny czas snu, dla zachowania niezaburzonej sprawności fizycznej i psychicznej, wynosi 4-5 godzin na dobę (Żoczek 2016). Zmniejszenie tego czasu spowoduje spadek koncentracji i ogólnej sprawności psychofizycznej natomiast całkowita bezsenność wywołuje szereg poważnych konsekwencji dla prawidłowego funkcjonowania organizmu (Konturek 2013, Żoczek 2016). Na dużych wysokościach śpi się znacznie trudniej, dlatego też wiele osób przebywających na obszarach wysokogórskich cierpi na bezsenność, sen przerywany lub w ogóle nie zapada w sen głęboki. Ponadto po zaśnięciu często pojawia się nieregularny rytm oddechu, spowodowany niską zawartością dwutlenku węgla we krwi (Graydon, Hanson 2008). Tak zwane oddychanie okresowe może wystąpić równoległe z ostrą

chorobą górską i jednocześnie nasilić jej objawy (Nussbaumer-Ochsner, Bloch 2014).

Stopniowe zwiększanie wysokości nad poziomem morza w kolejnych dniach analizowanego trekkingu przełożyło się na skrócenie czasu snu w grupie badanej oraz spadek udziału procentowego snu głębokiego, który osiągnął najwyższe wartości pierwszej nocy. Dalsza tendencja spadkowa prawdopodobnie powiązana była z adaptacją organizmu do warunków środowiskowych gór wysokich. Czas i jakość snu w pewnym stopniu wyjaśniają zmienność występowania objawów ostrej choroby górskiej w grupie badanej. Natomiast tendencja pogorszenia jakości snu na wysokości okazuje się być spójna z wcześniejszymi badaniami (Nussbaumer-Ochsner, Bloch 2014). Badanie metodą aktygrafii wykazało zmniejszony udział procentowy snu głębokiego w grupie badanej wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza.

W badaniach innych autorów (Boushel i in. 2001, Hainsworth i in. 2007, Drinkhill i in. 2014, Bärtsch, Bailey 2014) dowiedziono, że reakcje adaptacyjne w obrębie układu sercowo-naczyniowego na dużych wysokościach są zdominowane przez podwyższoną aktywność neuronów współczulnych. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że zarówno część współczulna, jak i przywspółczulna autonomicznego układu nerwowego są powiązane z podwyższoną częstością skurczów serca we wczesnej fazie aklimatyzacji do warunków wysokogórskich. Przeprowadzone analizy wykazały wyższe wartości HR w trzech pierwszych dniach trekkingu, co może stanowić potwierdzenie powyższej hipotezy.

Według Frühauf i in. (2016) ostra choroba górską występuje powszechnie po każdym szybkim zdobyciu wysokości na obszarach przekraczających 2500 m n.p.m. Natomiast częstość występowania AMS zwiększa się wraz ze wzrostem wysokości, przy czym u osób bardzo podatnych choroba może rozwinąć się już podczas przebywania na wysokości 2000-2500 m n.p.m. Dodatkowo ostra choroba górską może też być wyzwalana, gdy proces aklimatyzacji jest zakłócony przez czynniki takie jak infekcja, nieprawidłowe nawodnienie organizmu czy podejmowanie intensywnych ćwiczeń (Burtscher i in. 2008). Z wieloletnich badań oraz obserwacji wynika, że naturalnym sposobem zminimalizowania ryzyka zapadnięcia na ostrą chorobę górską jest stopniowe zdobywanie wysokości, które w największym stopniu umożliwia adaptację organizmu do specyficznych warunków środowiskowych na obszarach wysokogórskich (Ryn 2018). Szesnaście osób z grupy badanej (64%) w co najmniej w jednym dniu trekkingu uzyskało rezultat  $\geq 3$  w Kwestionariuszu Oceny Lake Louise, co równoznaczne jest z występowaniem ostrej choroby górskiej. W grupie przypadków kiedy występowały objawy AMS, w porannym teście ortostatycznym odnotowywano wyższy poziom częstości skurczów serca w pozycji stojącej, większe pobudzenie układu współczulnego

i mocniejszą redukcję pobudzenia układu przywspółczulnego. W doniesieniach Bärtscha i Bailey'a (2014) u osób, wśród których wystąpiła ostra choroba górską, zaobserwowano wyższą aktywność współczulną, w tym bez ustalenia związku przyczynowo-skutkowego takiego pobudzenia. Dodatkowo aktywacja układu współczulnego może przyczyniać się do zapadalności na AMS poprzez zwiększenie metabolizmu, a tym samym zapotrzebowanie na tlen, niemniej jednak część współczulna autonomicznego układu nerwowego może być również aktywowana poprzez stres z powodu wystąpienia choroby (Bärtsch, Bailey 2014). Aktywacja współczulna w ostrym niedotlenieniu może zatem potęgować rozwój AMS, a dodatkowe parametry takie jak zmienność rytmu serca lub wartości stężenia mleczanu we krwi powinny być brane pod uwagę w przyszłych badaniach (Burtscher i in. 2008). Podsumowując, osoby podatne na AMS mogą wykazywać wyższą aktywność w obrębie części współczulnej autonomicznego układu nerwowego w niedotlenieniu niż osoby bez AMS, co może okazać się istotne dla patofizjologii chorób wysokościowych.

Poszukując czynników ryzyka AMS, Richalet (1991) przeprowadził trzyletnie badania, obejmujące grupę 128 alpinistów, spośród których 37% mężczyzn i 65% kobiet ujawniało objawy ostrej choroby górskiej, natomiast trzy osoby zmarły. Za główne czynniki ryzyka uznano wcześniejsze wystąpienie choroby, bóle głowy odczuwane na poziomie morza oraz niską odpowiedź oddechową i sercową na hipoksję. Natomiast intensywny trening kondycyjny i regularne wspinanie się w Alpach nie miały znaczącego wpływu na wystąpienie choroby. Podobne doniesienia opublikowali Honigman i in. (1995) oraz Schneider i in. (2002), stwierdzając że nie ma związku pomiędzy poziomem sprawności fizycznej a podatnością na AMS. Wynika z tego, że nawet osoby doświadczone w górach wysokich, za każdym razem muszą liczyć się z możliwością wystąpienia objawów ostrej choroby górskiej o różnym nasileniu. Ryn (2018) dodatkowo zaleca, aby każde przejawy gorszego samopoczucia podczas przebywania na dużych wysokościach traktować jako potencjalne symptomy rozwoju chorób wysokościowych, a nie szukać wyjaśnienia w innych czynnikach ani jednostkach chorobowych.

Ograniczeniem w realizacji niniejszych badań było wykorzystanie pomiarów zmienności pracy serca (HRV), jako pośredniej metody oceny reakcji autonomicznego układu nerwowego uczestników projektu. Niemniej jednak, jak wykazują badania innych autorów, rejestrowanie parametrów HR przy wykorzystaniu monitorów pracy serca, takich producentów jak Polar czy Suunto, charakteryzuje się dużą dokładnością w porównaniu do badań elektrokardiogramem (EKG) (Bouillod i in. 2015, Schäfer i in. 2017).

Informacje uzyskane dzięki przeprowadzonym badaniom i zawarte w pracy, mogą być w przyszłości wykorzystane zarówno przez osoby decydujące się na odwiedzenie regionów wysokogórskich w ramach zorganizowanych trekkingów czy indywidualnych wypraw oraz przez organizatorów tego typu wyjazdów, których celem powinna być szeroko pojęta i możliwie jak największa ochrona przed negatywnymi skutkami ekspozycji na warunki wysokogórskie. Ponadto zważywszy na dalszą potrzebę zgłębiania tematyki wpływu wysokości na organizm człowieka, praca posłużyć może jako punkt wyjścia do kolejnych rozważań i wieloaspektowych badań dla osób zainteresowanych tym zagadnieniem.

Jak zauważył Houston (1976) częstość występowania ostrej choroby górskiej z roku na rok wzrasta, ponieważ zbyt wiele osób wspina się za wysoko i za szybko. Wraz ze wzrostem zainteresowania turystów aktywnym wypoczynkiem na obszarach wysokogórskich i tym samym zwiększeniem liczby osób biorących udział w zorganizowanych trekkingach czy wyprawach, rośnie liczba przypadków zachorowania na choroby wysokościowe. Według Shlima i Gallie'go (1992) aż 77% zgonów, będących wynikiem wysokościowego obrzęku płuc lub mózgu, dotyczyło właśnie uczestników komercyjnych grup trekkingowych. Wprawdzie zdaniem Komisji Medycznej Międzynarodowej Unii Związków Alpinistycznych (UIAA) sytuacja ulega stopniowej poprawie, niemniej jednak stosunkowo łatwe technicznie szczyty oraz trekking do bazy pod Everestem w dalszym ciągu są potencjalnie niebezpieczne dla uczestników z powodu profilu wysokościowego zakładanego przez organizatorów takich wyjazdów (Küpper i in. 2012). Co więcej, nadal nie potrafimy precyzyjnie określić, które osoby mają większe predyspozycje w zapadalności na AMS, a które są bardziej odporne i dlaczego.

W aspekcie praktycznego niesienia pomocy ofiarom wypadków czy chorych na AMS również w górach najwyższych, medycyna i ratownictwo górskie osiągnęły wręcz spektakularny poziom, niemniej jednak w działaniach profilaktycznych pozostaje jeszcze sporo do zrobienia. Szereg działań zapobiegawczych, należy koncentrować na edukacji dotyczącej niebezpieczeństw związanych z przebywaniem na obszarach wysokogórskich. Podniesienie świadomości na temat zagrożeń i ryzyka towarzyszącego wyprawom w rejony wysokogórskie powinna skutkować uwzględnianiem tych aspektów już na etapie przygotowania przedsięwzięć komercyjnych, skierowanych do coraz szerszego grona zainteresowanych klientów.

## 4.1. 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.

## 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 hipotezy 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, SpO<sub>2</sub>) 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.



## Streszczenie

Projekt badawczy *Wpływ wybranych czynników egzogenicznych i endogenicznych na uczestników zorganizowanego trekkingu w Parku Narodowym Sagarmatha*, przeprowadzony podczas trekkingu do bazy pod Everestem, organizowanego przez „Polskie Himalaje 2018”, którego częściowe wyniki przedstawiono w prezentowanej pracy, to głos w dyskusji na temat wpływu przebywania w warunkach wysokogórskich na organizm człowieka.

Grupa badana składała się z 25 uczestników trekkingu (11 kobiet oraz 14 mężczyzn), w wieku od 25 do 54 lat ( $\bar{x}=41,9$ ,  $SD=6,5$ ). Badania odbywały się w trzech etapach: pierwszym było poznanie stanu wyjściowego uczestników projektu, drugi etap realizowany był podczas trekkingu i obejmował analizę zachowania i reakcji organizmu, natomiast w trzecim etapie uzyskane dane poddano analizom w celu poszukiwania związków pomiędzy danymi zebranymi podczas badań laboratoryjnych oraz w warunkach terenowych. Analizom poddano pomiary częstości i zmienności pracy serca, pomiary biochemiczne, fizjologiczne, psychologiczne oraz pomiary struktury aktywności fizycznej. Wszyscy uczestnicy badań zgłosili się do nich dobrowolnie, potwierdzając to pisemną zgodą. Projekt badań został pozytywnie zaopiniowany przez Uczelnianą Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach.

Wyniki przedstawionej pracy są dowodem na to, iż wysokości przekraczające 2500 m n.p.m. mogą negatywnie wpływać na samopoczucie i prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka. Indywidualne różnice w reakcji układu krwionośnego (HR, HRV, SpO<sub>2</sub>) w warunkach hipoksji, w spoczynku i podczas wysiłku przyjmują wyższe wartości bazowe w warunkach laboratoryjnych aniżeli w środowisku naturalnym gór wysokich, podczas trwania trekkingu do bazy pod Everestem. W grupie przypadków kiedy występowały objawy ostrej choroby górskiej, w porannym teście ortostatycznym odnotowywano wyższy poziom częstości skurczów serca w pozycji stojącej, co świadczyć może o większym pobudzeniu układu współczulnego i mocniejszej redukcji pobudzenia układu przywspółczulnego. Struktura aktywności fizycznej w warunkach wysokogórskich podczas trekkingu w Parku Narodowym Sagarmatha, przyjmowała formę długotrwałych wysiłków tlenowych o umiarkowanej intensywności oraz zróżnicowanej sumie podejść i zejść.

Góry wysokie bez wątpienia stanowią nieprzychylnie środowisko dla prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka, stwarzając jednocześnie realne zagrożenia dla zdrowia

i życia, a udział w aktywnościach na obszarach wysokogórskich zawsze wymaga odpowiedniego, wcześniejszego przygotowania psychofizycznego oraz stosownej wiedzy. Treść pracy oraz prezentowane wyniki badań mogą stanowić użyteczne źródło informacji dla osób coraz liczniej odwiedzających tereny wysokogórskie oraz przewodników, liderów i organizatorów tego typu wyjazdów turystycznych.

## Summary

Research project *The impact of selected exogenous and endogenous factors on participants of organized trekking in the Sagarmatha National Park*, carried out during the trek to the Everest Base Camp, organized by the “Polish Himalayas 2018”, whose partial results are presented in this paper, is a voice in the discussion on the impact of staying in high-altitude mountain conditions on the human body.

The study group consisted of 25 trekking participants (11 women and 14 men), aged 25 to 54 ( $\bar{x} = 41.9$ ,  $SD = 6.5$ ). The research was carried out in three stages: the first was to get to know the baseline status of the project participants, the second stage was carried out during trekking and included the analysis of the behaviour and reaction of the organism, while the third stage was analysed in order to find relationships between the data collected during laboratory tests and under conditions. The measurements of heart rate and variability, as well as biochemical, physiological and psychological measurements were analysed and measurements of the structure of physical activity. All study participants volunteered to do so, confirming it with a written consent. The research project received a positive opinion from the University Bioethics Committee for Scientific Research at the Academy of Physical Education in Katowice.

The results of the presented work prove that altitudes exceeding 2,500 m above sea level, can negatively affect the well-being and proper functioning of the human body. Individual differences in the reaction of the circulatory system (HR, HRV, SpO<sub>2</sub>) under hypoxic conditions, at rest and during exercise, assume higher baseline values in laboratory conditions than in the natural environment of high mountains, during trekking. In the group of cases with symptoms of acute mountain sickness, a higher rate of heart contractions was recorded in the morning orthostatic test in a standing position, which may indicate a greater stimulation of the sympathetic system and a stronger reduction of the stimulation of the parasympathetic system. The structure of physical activity in high mountain conditions during trekking in the Sagarmatha National Park took the form of long-term aerobic training of moderate intensity (building oxygen capacity) and a varied sum of ascents and descents.

High mountains undoubtedly constitute an unfavourable environment for the proper functioning of the human body, at the same time creating real threats to health and life. The participation in activities in high-mountain areas always requires appropriate, prior psychophysical preparation and appropriate knowledge. The content of the work

and the presented research results may constitute useful information for people visiting high mountain areas and guides, leaders and organizers of this type of tourist trips.

## 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 Medicinæ 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](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. *Geoekologia turystyki i wypoczynku*. PWN Warszawa. 1997.
54. Kujach S., Grzywacz T., Ziemann M., Szymczak R., Łuszczak 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](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. Łobozewicz 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 Bärtsch 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., Boullosa 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., Loeppky 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](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](https://support.polar.com/en/support/Polar_Sleep_Plus) [dostęp: 15.03.2021]
132. <https://fellrnr.com/wiki/TRIMP> [dostęp: 07.05.2021]

## Załącznik nr 1.

## Kwestionariusz Oceny Lake Louise (Lake Louise Scoring System, LLSS)

Objawy	Stopień nasilenia	Punkty
Ból głowy	brak bólu głowy	0
	niewielki ból głowy	1
	umiarkowany ból głowy	2
	znaczny ból głowy, uniemożliwiający funkcjonowanie	3
Zaburzenia żołądkowo-jelitowe	brak objawów żołądkowo-jelitowych	0
	spadek apetytu lub nudności	1
	umiarkowane nudności lub wymioty	2
	znaczne nudności lub wymioty, uniemożliwiające funkcjonowanie	3
Zmęczenie	brak zmęczenia i osłabienia	0
	niewielkie zmęczenie/osłabienie	1
	umiarkowane zmęczenie/osłabienie	2
	znaczne zmęczenie/osłabienie, uniemożliwiające funkcjonowanie	3
Zawroty głowy, zaburzenia równowagi	brak zawrotów głowy	0
	niewielkie zawroty głowy	1
	umiarkowane zawroty głowy	2
	znaczne zawroty głowy, uniemożliwiające funkcjonowanie	3
Zaburzenia snu	sen niezaburzony	0
	sen gorszy niż zazwyczaj	1
	wielokrotne przebudzenia, nocny spoczynek nieefektywny	2
	Bezsenna	3
Suma		

Kod		Data	
-----	--	------	--

## Skala subiektywnej oceny ciężkości wykonywanej pracy (RPE)

### Instrukcja

Chcemy poznać Twoje odczucie ciężkości wykonywanego ćwiczenia. Odczucie to zależy głównie od obciążenia i zmęczenia Twoich mięśni oraz trudnościami z oddychaniem lub bólem w piersiach.

Spójrz na skalę: zakres skali jest od 6 do 20, gdzie 6 znaczy „bez wysiłku” a 20 znaczy „maksymalny wysiłek”.

Spróbuj określić Twoje odczucie ciężkości wykonanej pracy najdokładniej jak to możliwe, bez myślenia o aktualnym wyniku Twojej pracy. Staraj się unikać niedoszacowania lub przeszacowania tego wysiłku. Ważne są Twoje własne odczucia, bez porównywania ich do innych ludzi. Popatrz na skalę i wyrażenia i podaj odpowiedni numer.

Charakterystyka	Skala
Bez wysiłku	6
Wyjątkowo lekki	7
	8
Bardzo Lekki	9
	10
Lekki	11
	12
Nieco ciężko	13
	14
Ciężko	15
	16
Bardzo ciężko	17
	18
Wyjątkowo ciężko	19
Maksymalny	20



## INFORMACJA DLA BADANEGO

Zakład Turystyki Aktywnej i Przygodowej w Katedrze Turystyki  
i Prozdrowotnej Aktywności Fizycznej  
Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

### Wpływ wybranych czynników egzogenicznych i endogenicznych na uczestników zorganizowanego trekkingu w Parku Narodowym Sagarmatha

kierownik badań: dr Artur Magiera  
telefon kontaktowy: 604 717 221

Imię i nazwisko osoby badanej:  
wiek :

#### Wstęp

Dziękujemy Panu/Pani za zainteresowanie naszym projektem badawczym. Udział Pana/Pani w badaniu jest dobrowolny i nie ma Pan/Pani obowiązku w nim uczestniczyć. Po wyrażeniu zgody może Pan/Pani wycofać się z udziału w badaniu w każdej chwili bez żadnych konsekwencji. Zanim podejmie Pan/Pani decyzję, dotyczącą udziału w projekcie badawczym, prosimy dokładnie przeczytać poniższą informację. Wszelkie wątpliwości dotyczące badania prosimy zgłosić kierownikowi badań.

#### Wiadomości podstawowe

Trasa do bazy pod Everestem w Parku Narodowym Sagarmatha w Nepalu jest jedną z najbardziej znanych destynacji turystycznych dla trekkingu. Popularność tego miejsca wśród zagranicznych turystów wzrasta z roku na rok (od przekroczenia 5 000 osób w 1980, 10 tys. w 1990, 25 tys. w 2000, do 34 412 w 2015 roku (Nepal Tourism Statistic 2015)). Najwyższa góra świata – Mount Everest przyciąga zainteresowanie nie tylko himalaistów, turystów ale też naukowców z całego świata. Głównym zagadnieniem różnych badań jest szybko rozwijający się przemysł turystyczny w tym regionie i jego negatywny wpływ na środowisko naturalne. W odróżnieniu od powyższych studiów w naszym projekcie zamierzamy skupić się na osobach uczestniczących w klasycznym trekkingu na tym obszarze, na ich reakcjach fizjologicznych i psychologicznych powiązanych ze specyficznym wysiłkiem fizycznym, dużą wysokością i odwiedzanymi atrakcjami turystycznymi.

#### Cel badań

Głównym celem badań jest znalezienie powiązań między trzema aspektami: człowiekiem, miejscem i aktywnością.

Poznanie profilu uczestnika trekkingu, jego motywy uczestnictwa w wyjeździe, temperament, poziom kondycji fizycznej i jego reakcja na hipoksję będą stanowiły podstawowy cel poznawczy. Miejsce realizacji trekkingu, czyli obszar Parku Narodowego Sagarmatha

jest jedną z najpopularniejszych destynacji trekkingowych na świecie. Będziemy analizować wpływ środowiska naturalnego (warunki wysokogórskie, warunki atmosferyczne) i atrakcji turystycznych szlaku na grupę badaną. Ponadto celem jest poznanie struktury zorganizowanego trekkingu pod względem wysiłku fizycznego i zachowań czasowo-przestrzennych jego uczestników.

Finalnie celem jest wieloaspektowa analiza wpływu wybranych czynników egzogenicznych i endogenicznych na uczestników zorganizowanego trekkingu w Himalajach.

### **Opis badania**

Badania będą składać się z dwóch etapów- pierwszy zrealizowany zostanie przed wyjazdem do Nepalu, w laboratorium badań czynnościowych w AWF Katowice oraz indywidualnie w domu, natomiast drugi etap odbędzie się podczas wyjazdu i realizacji trekkingu, na trasie pomiędzy Phakding a Gorak Shep.

### **Pierwszy etap**

Poznanie wartości bazowych przed wyjazdem:

Trzydniowe pomiary poranne w domu badanych (13-minutowy test ortostatyczny), pobranie próbek śliny (do określenia poziomu stężenia kortyzolu i testosteronu)- samodzielnie wykonywane przez badanego;

Ocena wydolności tlenowej w normoksji - pomiar poboru tlenu, mleczanu z krwi, wentylacji, częstości i zmienności pracy serca w teście progresywnym na bieżni pozwoli określić indywidualne wartości maksymalne i na progach: mleczanowym i wentylacyjnym; test temperamentu, skład ciała - pierwsza wizyta w laboratorium AWF Katowice;

Ocena wydolności w hipoksji- powtórzenie testu progresywnego w komorze hiperbarycznej - druga wizyta w laboratorium.

### **Drugi etap**

Pomiary podczas wyjazdu w miejscu noclegu i na trasie trekkingu z Phakding do Everest Base Camp:

Określenie długości i jakości snu metodą akcelerometrii (Polar V800);

Poranny 13-minutowy test ortostatyczny, pobranie próbki śliny (kortyzol i testosteron), określenie poziomu wysycenia krwi tlenem (pulsoksymetr), określenie nastroju (test SUPIN), stopień AMS;

W trakcie marszu na szlaku będzie prowadzony ciągły monitoring pracy serca (HR), zmiany przemieszczeń i prędkości marszu (GPS), zmiany wysokości (barometr)- pomiary za pomocą V800;

Dodatkowy 5-krotny pomiar przepływu, poziomu odczucia atrakcyjności miejsca i HRV w trakcie odpoczynków na szlaku;

W trakcie całości dnia będzie rejestrowana aktywność fizyczna (wbudowany akcelerometr w Polarze V800).

Wszystkie pomiary będą nieinwazyjne (zegarek V800 i opaska piersiowa z nadajnikiem, pulsoksymetr, pomiar hormonów ze śliny, kwestionariusze ankiet) i zajmować będą od kilku do kilkunastu minut.

### **Niepożądane efekty**

Aktywność fizyczna na obszarach wysokogórskich związana jest z pewnym stałym ryzykiem, które zależy od wielu czynników. Średnia śmiertelność podczas uprawiania trekkingu w rejonie Everestu w latach 1999 - 2006 to 7,7 osób na 100 000 uczestników, co czyni tę aktywność względnie bezpieczną (Leshem i in. 2008). Wzrastający jednak trend popularności tej formy turystyki aktywnej, powoduje, że wypadków podczas trekkingów odnotowuje się coraz więcej. Udział w niniejszym projekcie badawczym w żaden sposób nie przyczyni się do podniesienia realnie występującego ryzyka.

Monitory pracy serca używane podczas badań są komercyjnie sprzedawanymi produktami. Producent ostrzega jednak o możliwości wystąpienia alergii u osób, które są uczulone na którąś z substancji tworzących produkt (poliamid, poliuretan, elastan, poliester, ABS + GF, tworzywo sztuczne PC/ABS, stop aluminium, stal nierdzewna). Pobór krwi kapilarnej do badań będzie wykonywany z opuszka małego palca w ilości 20 µl jednorazowo. Liczba pobrań będzie zależna od wydolności zawodnika podczas próby do odmowy w testach laboratoryjnych (średnio ok. 9 próbek). Czynności te będą dokonywane przez kompetentny personel (pracownicy laboratorium AWF Katowice) z zachowaniem podstawowych środków ostrożności (sterylność, jednorazowy sprzęt, itp.). Krew żylna będzie również pobierana w laboratorium AWF Katowice lub w renomowanych punktach diagnostycznych. Do reszty analiz biochemicznych (kortyzol i testosteron) zostanie użyta metoda nieinwazyjna z zastosowaniem śliny.

W razie jakichkolwiek niepożądanych objawów czy niespodziewanych okoliczności, prosimy niezwłocznie zgłaszać je członkom zespołu badawczego w celu możliwie jak najszybszej interwencji.

### **Ubezpieczenie**

W trakcie badań nie będzie Pani/Pan objęta/objęty dodatkową ochroną ubezpieczeniową, z uwagi na fakt objęcia uczestników trekkingu ubezpieczeniem NNW przez organizatora projektu „Polskie Himalaje 2018”.

### **Poufność danych**

Dane Pani/Pana będą traktowane jako poufne i nie będą do zidentyfikowania w żadnej publikacji, która pojawi się w związku z tymi badaniami. Wyniki wszelkich badań mogą być udostępnione jedynie osobie, której te wyniki dotyczą.

**Jeżeli pragnie Pani/Pan dodatkowych informacji związanych z badaniem prosimy o kontakt z:**

<b>Imię i nazwisko badacza</b>	<b>Funkcja</b>	<b>Telefon</b>	<b>Miejsce</b>
dr Artur Magiera	Kierownik badań, kierownik Zakładu Turystyki Aktywnej i Przygodowej	32 207 51 56 604 717 221	AWF Katowice, ul. Mikołowska 72A, budynek A, p. 115
mgr Katarzyna Jakubik-Bińczak	Członek zespołu badawczego, asystent w Zakładzie Turystyki Aktywnej i Przygodowej	32 207 51 56 513242123	AWF Katowice, ul. Mikołowska 72A, budynek A, p. 115
mgr Oskar Placek	Członek zespołu badawczego, asystent w Zakładzie Turystyki Aktywnej i Przygodowej	32 207 51 56 728218636	AWF Katowice, ul. Mikołowska 72A, budynek A, p. 115
Iwona Łukasik-Górna	Psycholog, wykładowca AWF Katowice	32 207 53 15	j. w., budynek B, p.109

**Potwierdzenie przekazania i otrzymania informacji.**

Informacji udzielił/a	<i>Imię i nazwisko:</i>	<i>Data:</i>	<i>Podpis:</i>
Kierownik badania	<i>Imię i nazwisko:</i>	<i>Data:</i>	<i>Podpis:</i>
Uczestnik badania	<i>Imię i nazwisko:</i>	<i>Data:</i>	<i>Jeden egz. nin. informacji otrzymałam/em.</i> <i>Podpis:</i>
Inne osoby obecne, np. opiekun	<i>Imię i nazwisko:</i>	<i>Data:</i>	<i>Podpis:</i>

Załącznik nr 4.

**Uchwała Nr 5/2018**  
**Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii**  
**Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach**  
**z dnia 15 listopada 2018 roku**  
**ws. opinii o projekcie eksperymentu medycznego.**

Działając na podstawie §6 ust. 5 Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych z dnia 11.05.1999r. (Dz. U. 1999 Nr 47, poz. 480) ustala się, co następuje:

§ 1.

Uczelniana Komisja Bioetyczna ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach po przeanalizowaniu wniosku zgłoszonego przez dr Artura Magierę nt. „Wpływ wybranych czynników egzogennych i endogennych na uczestników turystyki i aktywnej” oraz wysłuchaniu dodatkowych informacji i w wyniku przeprowadzonej dyskusji oraz głosowania

**podjęła uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu wniosku**

§ 2.

Wydana opinia dotyczy tylko rozpatrywanego wniosku z uwzględnieniem przedstawionego projektu; każda zmiana i modyfikacja wymaga uzyskania odrębnej opinii. Wnioskodawca zobowiązany jest do informowania o wszelkich poprawkach, które mogłyby mieć wpływ na opinie Komisji, o ciężkich lub niespodziewanych zdarzeniach niepożądanych i nieprzewidzianych okolicznościach i decyzjach innych komisji bioetycznych.

§ 3.

Komisja oczekuje raportu z badania po jego zakończeniu

**Do wiadomości:**

1. dr Artur Magiera
2. a/a

Zgodnie z § 8 Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych z dnia 11.05.1999r. (Dz. U. 1999 Nr 47, poz. 480) od uchwały komisji bioetycznej służy odwołanie do Odwoławczej Komisji Bioetycznej przy Ministrze Zdrowia, za pośrednictwem Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, w terminie 14 dni od daty otrzymania niniejszego pisma.

## Spis tabel

Tabela 1. Zmienne somatyczne w grupie badanej- kobiety (n=11) i mężczyźni (n=14).....	27
Tabela 2. Zmienne dot. wydolności układu krążenia w grupie badanej- kobiety (n=11) i mężczyźni (n=14).....	27
Tabela 3. Wartości maksymalne stężenia mleczanu w teście progresywnym w grupie badanej.....	31
Tabela 4. Średnie wartości częstości skurczów serca z testów ortostatycznych w warunkach normoksji (N) i hipoksji (H) w grupie badanej.....	34
Tabela 5. Średnie wartości częstości skurczów serca z testów ortostatycznych podczas trwania trekkingu w grupie badanej.....	35
Tabela 6. %HRR i wartości szczytowe częstości skurczów serca (ud/min) w grupie badanej...	36
Tabela 7. Wydatek energetyczny (kcal) i TRIMP <sub>exp</sub> w poszczególnych dniach trekkingu.....	37
Tabela 8. Występowanie objawów ostrej choroby górskiej (AMS) w grupie badanej (n=197).....	48
Tabela 9. Poziom nasycenia hemoglobiny tlenem (SpO <sub>2</sub> ) a wysokość nad poziomem morza.....	52
Tabela 10. Suma podejść i zejść (m) w poszczególnych dniach trekkingu.....	75

## Spis rycin

Rycina 1. Schemat trasy trekkingu do Everest Base Camp .....	25
Rycina 2. Indywidualne różnice w stężeniu mleczanu podczas testu progresywnego do odmowy na bieżni mechanicznej.....	31
Rycina 3. Rozkład HR i obciążenia (Energy) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej.....	39
Rycina 4. Rozkład T-HRR% i wydatku energetycznego (Energy/kg) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej.....	40
Rycina 5. T-HRR% w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej.....	41
Rycina 6. Wydatek energetyczny (Energy/kg) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w próbach laboratoryjnych w grupie badanej .....	42
Rycina 7. Rozkład T-HRR% i wydatku energetycznego (Energy/kg) w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej.....	43
Rycina 8. Rozkład HRR/Energia/kg i wydatku energetycznego (Energy/kg) w grupie badanej.....	44
Rycina 9. HRR/Energia/kg w drugim i trzecim dniu trekkingu oraz w laboratorium normoksji i hipoksji w grupie badanej.....	44
Rycina 10. Ocena postrzeganego wysiłku (RPE) w poszczególnych dniach trekkingu w grupie badanej.....	47
Rycina 11. Średnie i odchylenia standardowe poziomu nasycenia hemoglobiny tlenem (%) w poszczególnych dniach trekkingu (pomiar poranny) w grupie badanej.....	50
Rycina 12. Poziom nasycenia hemoglobiny tlenem (%) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej.....	51
Rycina 13. Wskaźnik pobudzenia przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej.....	53
Rycina 14. Wskaźnik pobudzenia współczulnego układu nerwowego (SNS) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej.....	54
Rycina 15. Średnia częstość skurczów serca (HRave) w grupach z objawami i bez objawów ostrej choroby górskiej.....	54
Rycina 16. Czas trwania (hh:mm) snu w grupie badanej.....	56
Rycina 17. Udział procentowy snu głębokiego w grupie badanej.....	57

Rycina 18. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z poziomem nasycenia hemoglobiny tlenem (pomiar poranne) w grupie badanej.....	60
Rycina 19. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z poziomem nasycenia hemoglobiny tlenem (pomiar poranne) w grupie badanej.....	61
Rycina 20. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z wysokością nad poziomem morza w grupie badanej.....	62
Rycina 21. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z wysokością nad poziomem morza w grupie badanej.....	63
Rycina 22. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z występowaniem ostrej choroby górskiej (AMS) w grupie badanej .....	64
Rycina 23. Korelacje występowania ostrej choroby górskiej (AMS) z średnimi wartościami częstości skurczów serca (HRave) w grupie badanej.....	65
Rycina 24. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z wysiłkiem z dnia poprzedniego (TRIMPexp) w grupie badanej.....	67
Rycina 25. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (PNS) z wysiłkiem z dnia poprzedniego (TRIMPexp) w grupie badanej .....	68
Rycina 26. Korelacje wskaźnika reakcji przywspółczulnego układu nerwowego (PNS) z wysiłkiem z dnia poprzedniego (energia-kcal) w grupie badanej.....	69
Rycina 27. Korelacje wskaźnika reakcji współczulnego układu nerwowego (SNS) z wysiłkiem z dnia poprzedniego (energia-kcal) w grupie badanej.....	70
Rycina 28. Czas trwania (hh:mm:ss) poszczególnych etapów trekkingu.....	72
Rycina 29. Średnia prędkość marszu (km/h) poszczególnych etapów trekkingu.....	73
Rycina 30. Czas ruchu i odpoczynku (hh:mm:ss) w poszczególnych dniach trekkingu.....	74
Rycina 31. Wysokość początkowa, minimalna, średnia i maksymalna (m n.p.m.) poszczególnych etapów trekkingu.....	76



## **Spis fotografii**

Fotografia 1. Na szlaku do bazy pod Everestem, październik 2018.....	1
Fotografia 2. Pomiar wysokości podczas trekkingu przy użyciu Polar V800.....	71

## **Spis załączników**

Załącznik nr 1. Kwestionariusz Oceny Lake Louise (Lake Louise Scoring System, LLSS)....	102
Załącznik nr 2. Skala subiektywnej oceny ciężkości wykonywanej pracy (RPE).....	103
Załącznik nr 3. Informacja dla badanego.....	104
Załącznik nr 4. Uchwała Nr 5/2018 Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach z dnia 15 listopada 2018 roku ws. opinii o projekcie eksperymentu medycznego.....	108