

**НАЦИОНАЛНА СПОРТНА АКАДЕМИЯ „ВАСИЛ ЛЕВСКИ“**

**Катедра „Спортна медицина“-**

---

**Д-р Любомир Величков Младенов**

**МОРФОЛОГИЧНИ И ФУНКЦИОНАЛНИ  
ПРОМЕНИ В ОРГАНИЗМА ПРИ ПРЕБИВАВАНЕ  
ВЪВ ВИСОЧИННИ УСЛОВИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен  
„ДОКТОР“**

по научна специалност „Теория и методика на физическото възпитание и  
спортната тренировка (включително МЛФ), професионално направление –  
7.4 Обществено здраве

Научен ръководител:  
**доц. Д-р Иван Мазнев, доктор**

Официални рецензенти:  
Проф. д-р Диана Димитрова, доктор  
Проф. д-р Мария Тотева, дмн

**София 2017**

Дисертационният труд съдържа 120 страници. Онагледен е с 27 фигури и 16 таблици. Библиографията включва 173 източника, от които 7 на кирилица и 166 на латиница.

Дисертационният труд е апробиран, обсъден и насочен за официална защита на заседание на Катедра „Спортна медицина“ при НСА „Васил Левски“

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 03.10.2017 год. от 15:30 часа в зала А3, НСА „Васил Левски“.

## СЪДЪРЖАНИЕ

УВОД.....	3
ЦЕЛ И ЗАДАЧИ.....	4
МЕТОДИ.....	8
РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ.....	11
- АНТРОПОМЕТРИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.....	11
- ФУНКЦИОНАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.....	23
- ЕХОКАРДИОГРАФСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.....	39
ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ.....	43

## УВОД

Интересът към влиянието на голямата надморска височина върху организма винаги е бил голям. Проблемите, пред които се изправя човек в тези условия са в много посоки, но най-същественото е недостига на кислород. Пропорционално на надморската височина намалява парциалното налягане на кислорода. Това става осезаемо на височина над 2500-3000 метра. Кислородът, който ни е нужен за произвеждане на енергия в клетките недостига. Организмът страда, но има механизми да се адаптира към хипоксията- дишането се увеличава, пулсът се учестява, концентрира се кръвта, стимулира се хемопоезата. Но за тези аклиматизационни процеси е нужно време. Неразбирането и подценяването им води до прояви на планинска болест, която потенциално може да бъде живота застрашаваща. Дълго време в миналото са говорили за „планинска пневмония“ и за съжаление много хора са загинали лекувани за инфекция, докато се разбере, че всъщност проблема е във височината, респективно степента на хипоксия и че решението е в правилната и постепенна аклиматизация. Колкото по-дълго е излагането на хипоксични условия и колкото по-голяма е височината, толкова по-силно изразени са измененията в организма, като във високата планина никога не може да се достигне до пълно компенсиране на функциите. Чувствително намалява максималната кислородна консумация ( $VO_{2max}$ ), също работоспособността и издръжливостта.

Промените във функциите водят и до промени и в структурата на организма. Теглото спада. Това се дължи на повишения енергоразход и обективното намаляване на желанието за хранене, но също и на неадекватния прием (анорексия, но и затруднено снабдяване с нужното количество на качествена храна в експедиционни условия). Стои въпросът за сметка на кои

точно компоненти на телесната маса е загубата на тегло – мазнини, мускулатура, течности.

По отношение на функционалните показатели, работоспособността и антропометричните показатели наличните проучвания се концентрират предимно върху краткосрочните промени, настъпили вследствие на престой на голяма надморска височина. Малко са данните за по-дългосрочния ефект на хипоксичния стрес. Ето защо предмет на изследванията от настоящия дисертационен труд са именно тези промени и показатели. Имайки предвид, че сърдечно-съдовата система понася в голяма степен ефектите от височината, от особен интерес представляват евентуалните изменения от страна на сърцето. Поради тази причина са извършени и анализирани ехокардоиграфски изследвания на български алпинисти. Съществено внимание в настоящата разработка е отделено върху показателя, който е най-чувствителен към хипоксия, а именно налягането в белодробната артерия.

# **ЦЕЛ, ЗАДАЧИ, ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО**

## **РАБОТНА ХИПОТЕЗА**

На базата на проучения научен материал и личния опит може да се предположи, че пребиваването на голяма надморска височина ще доведе до ясно установими промени в теглото и показателите от състава на телесната маса. Степента и пропорциите на тези изменения биха зависили от продължителността на престоя, достигнатата височина и извършваните дейности. Въздействието на хипобарната хипоксия и настъпващите аклиматизационни промени се очаква да имат и остатъчен ефект върху функционалните показатели и параметрите на сърдечната дейност дори след слизване на обичайна надморска височина.

## **ЦЕЛ И ЗАДАЧИ**

Целта на изследването е да се определи влиянието на голямата надморска височина върху антропометричните, функционалните и ехокардиографските показатели на български алпинисти.

Във връзка с целта се поставиха следните задачи:

1. Измерване на антропометричните показатели преди, по време и след експедиция с цел идентифициране на промени в тях при пребиваване на голяма надморска височина.
2. Определяне състава на телесната маса и оценка на въздействието на хипоксията върху нейните компоненти.

3. Изследване на промените във физическия работен капацитет чрез провеждане на спироергометрично изследване с максимален тест преди и след експедиция.
4. Оценяване на ехокардиографските изменения след пребиваване на голяма надморска височина.
5. Реакция на кислородната сатурация и пулса по време на степ-тест, проведен на 5100 м надморска височина.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО**

### **Изследвани лица (контингент)**

В изследването бяха включени 17 участници в три експедиции, преминали предварителен подбор и включени в националния отбор по алпинизъм, както следва:

- до връх Ленин (7134 м) -12 души;
- до връх Еверест (8848 м) - 3 човека;
- до връх К2 (8611 м) - 2 човека.

Участниците бяха мъже на възраст между 18 и 47 год., средна възраст  $31,4 \pm 8,5$  год.

### **Предмет на изследването**

- Антропометрични измервания на участниците в експедициите. Изследванията бяха извършени преди заминаването, по време на експедициите на базов лагер и след завръщането в София.
- Определяне показателите на състава на телесната маса въз основа на антропометричните измервания.

- Спироергометрични изследвания - максимални тестове с газов анализ на издишания въздух, проведени на велоергометър преди и след експедицията.
- Ехокардиографии - преди и след експедициите.
- Степ-тест, проведен на базов лагер (5100 м) на връх К2 .
- Лабораторни изследвания на хематологични показатели преди и след експедициите.

## **Организация**

Проучването беше разделено на 3 части, съответстващи на трите експедиции. При всяка експедиция изследванията имаха три етапа - начален преди заминаването, по време на експедицията и след завръщането в България.

1. Експедиция до връх Ленин (7134 м) в планината Памир през лятото на 2003 г. Първоначално бяха изследвани 21 мъже, на базов лагер - 17, а след завръщането - 12.

Престоят на базов лагер Лукова поляна (3820 м) и нагоре от 20.07.2003–08.08.2003 продължи общо 20 дена. Вторите функционални изследвания са направени на 13–15.08.2003 или 5 до 7 дена след слизането.

Бяха изследвани и 9 жени, но поради недостатъчното количество данни, те не са включени в крайните резултати.

2. Експедиция до връх Еверест (8848 м) през лятото на 2004 г., в която участват трима алпинисти.

3. Експедиция до връх К2 (8611 м) през лятото на 2005 г. Направени бяха общо по 6 антропометрии на 2 алпинисти и 8 степ теста на базов лагер (5100 м).



Общо при трите експедиции са направени 76 антропометрични изследвания, 54 спироергометрии, 24 ехокардиографии, 8 степ-теста, 30 хематологични изследвания.

## **МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ**

### **Антропометрични измервания.**

Всички измервания бяха направени от двама обучени и опитни изследователи, спазвайки стриктно изискванията на методиките (Wilmore & Behnke 1969, Lohman et al 1988). Бяха измерени следните показатели: ръст, телесна маса, 10 кожни гънки и 7 обиколки.

**Кожни гънки** - Гръдна, Аксиларна, Трицепс, Бицепс, Субскапуларна, Коремна, Супраилиачна, Бедрена, Подбедрица, Горно предно хълбочно бодило.

**Обиколки на тялото** - Шия, Мишница отпусната, Предмишница, Талия, Ханш, Бедро, Подбедрица.

### **Състава на телесната маса.**

На базата на антропометричните измервания бяха изчислени следните показатели:

**Процент телесни мазнини (%ТМ).** Изчислението се извършваше по формулата на Jackson & Pollock (1978) за мъже, използваща 7 кожни гънки.

**Абсолютно количество телесни мазнини (АКТМ).**

**Активна телесна маса (АТМ).**

**Абсолютно количество мускулна маса (АКММ).** Използвана беше формулата на Lee et al. (2000).

**Процент мускулна маса (%ММ).**

**Мускулни обиколки на мишница, бедро и подбедрица.**

**Индекс на телесната маса (ВМІ)**

### **Функционални изследвания**

**Максимален велоергометричен тест (спироергометрия).** По методиката на проф. Илчо Илиев (1974).

**Степ-тест.** Проведе се на надморска височина 5100 м – базовия лагер на връх К2. Височината на стъпалото беше 30 cm. Продължителността на натоварването беше 10 min, първите пет с темпо 60 удара в минута (15 качвания в минута), вторите пет минути с темпо 120 удара в минута (30 качвания в минута), без почивка. През цялото време се регистрираше пулсовата честота и кислородната сатурация чрез портативен пулсоксиметър от пръст на ръката. Отчетени бяха данните изходно, в края на 5-та и 10-та минута, във възстановителния период на всяка минута до 15-та.

Беше проведен и пробен Харвардски степ тест по стандартната методика с отчитане на пулс и сатурация.

### **Ехокардиографско изследване**

Ехокардиографиите се извършиха на апарат Hewlett Packard-Sonos 1500. Те включваха едноразмерни, двуразмерни и доплерови изследвания. Чрез едноразмерната ехокардиография бяха измерени следните показатели: теледиастолен размер на лявата камера (ТДРЛК), телесистолен размер на лявата камера (ТСРЛК), дебелина на междукामерната преграда в теледиастола (МП), дебелина на задната стена на лявата камера в

теледиастола (ЗСЛК), напречен размер на лявото предсърдие (ЛП), диаметър на аортния корен (Ао), теледиастолен размер на дясната камера (ДК)

На базата на изброените размери бяха изчислени и следните производни показатели по методиката на Teichholz: теледиастолен обем на лявата камера (ТДОЛК), телесистолен обем на лявата камера (ТСОЛК), ударен обем (УО), фракция на скъсяване (ФС), фракция на изтласкване (ФИ).

Чрез пулсов доплер бяха измерени скоростите на кръвотока през митралната клапа - в ранната диастола (Е-вълна) и в късната диастола (А-вълна), изчисли се и тяхото съотношение (Е/А вълна).

### **Математико-статистически методи**

Проверка за силно отклоняващи се стойности при въвеждането на данните се направи чрез бокс-плот диаграми. Извършен беше вариационен анализ и чрез критерия на Колмогоров-Смирнов беше установено, че разпределението на извадките е нормално. За проверка на статистическата значимост на разликите беше използван t-критерия на Стюдънт за зависими извадки, при сравнение на две измервания, а Repeated Measurement ANOVA при сравнение на три измервания. За практическа оценка на промените беше използван показателя „стандартизирана разлика“ (прираст) – “Cohen’s d”. Като за стойности под 0,2 тя се приемаше за малка; 0,2-0,5 умерена; 0,5-0,8 значителна и над 0,8 голяма.

## РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

### АНТРОПОМЕТРИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За оценка на ефекта от пребиваването на голяма надморска височина върху показателите, характеризиращи телесния състав, бяха проведени 3 антропометрични измервания – в София преди началото на експедицията, по време на експедицията при престоя на базовия лагер (3820 метра надморска височина) и след завръщането отново в София.

Директният остър ефект от надморската височина може да се оцени при второто изследване, което е направено след 19 дни пребиваване на височина над 3000 метра. Третото изследване (след завръщането) е извършено на 5-6 ден след слизване от планината и дава информация за обратимостта на измененията. Обобщените резултати от антропометричните изследвания са представени на Таблица 1.

#### **Телесна маса.**

Преди тръгването от София средното тегло на изследваните лица е  $72,9 \pm 7,3$  kg, а при измерването в базов лагер то е вече  $69,3 \pm 7,3$  kg. По време на експедицията то намалява, като разликите в средните стойности са сигнификантни. При третото изследване след връщането в София теглото има тенденция да се възстановява, но не до изходните стойности (Фигура 1).

**Таблица 1. Антропометрични показатели на изследваните лица ( ср. стойност  $\pm$  стандартно откл.)**

Показатели	1 изслед- ване	2 изслед- ване	3 изслед- ване	1-2 изсл. разлика	Cohen's d	2-3 изсл. разлика	Cohen's d	1-3 изсл. разлика	Cohen's d
Телесна маса [kg]	72,9 $\pm$ 7,3	69,3 $\pm$ 7,3	71,9 $\pm$ 7,0	-3,6* $\pm$ 2,0	1,78	2,5* $\pm$ 1,5	1,68	-1,0* $\pm$ 1,4	0,75
Сума 7КГ [mm]	81,1 $\pm$ 25,9	65,4 $\pm$ 19,1	69,5 $\pm$ 22,3	-15,7* $\pm$ 17,3	1,75	4,1 $\pm$ 12,2	0,33	-11,6* $\pm$ 11,9	0,71
%ТМазнини	12,0 $\pm$ 4,5	9,6 $\pm$ 3,7	10,2 $\pm$ 4,1	-2,3* $\pm$ 2,6	0,91	0,6 $\pm$ 1,8	0,34	-1,7* $\pm$ 1,8	0,98
ТМазнини [kg]	8,9 $\pm$ 4,0	6,8 $\pm$ 3,	7,5 $\pm$ 3,5	-2,1* $\pm$ 2,0	0,92	0,7 $\pm$ 1,4	0,33	-1,4* $\pm$ 1,3	0,97
Мускулна маса [kg]	32,3 $\pm$ 2,6	30,8 $\pm$ 1,8	32,7 $\pm$ 2,7	-1,6* $\pm$ 1,7	1,08	1,9* $\pm$ 1,4	0,51	0,4 $\pm$ 1,5	1,07
% муск. маса	44,6 $\pm$ 3,6	44,7 $\pm$ 3,6	45,6 $\pm$ 2,6	0,1 $\pm$ 2,1	0,91	1,0 $\pm$ 2,3	1,44	1,1 $\pm$ 2,2	0,24
МО мишница [cm]	27,5 $\pm$ 1,6	26,4 $\pm$ 1,2	28,0 $\pm$ 1,5	-1,1* $\pm$ 1,1	0,04	1,6* $\pm$ 0,9	0,44	0,5 $\pm$ 1,5	0,49
МО бедро [cm]	50,2 $\pm$ 2,0	49,7 $\pm$ 2,6	50,4 $\pm$ 2,3	-0,4 $\pm$ 1,6	0,97	0,7 $\pm$ 1,6	1,70	0,3 $\pm$ 1,5	0,33
АТМ [kg]	64,0 $\pm$ 4,9	62,5 $\pm$ 5,6	64,4 $\pm$ 5,2	-1,5 $\pm$ 2,4	0,25	1,8* $\pm$ 1,9	0,41	0,4 $\pm$ 1,5	0,17
ВМІ	23,7 $\pm$ 1,6	22,5 $\pm$ 1,7	23,3 $\pm$ 1,5	-1,2* $\pm$ 0,7	0,60	0,8* $\pm$ 0,4	0,95	-0,4* $\pm$ 0,5	0,27
Ханш [cm]	94,5 $\pm$ 5,5	92,0 $\pm$ 2,9	94,0 $\pm$ 3,4	-2,5* $\pm$ 3,5	0,70	2,0* $\pm$ 1,8	1,11	-0,5 $\pm$ 3,7	0,13
Талия [cm]	80,0 $\pm$ 5,5	77,9 $\pm$ 5,3	79,8 $\pm$ 5,1	-2,1* $\pm$ 2,2	0,95	2,0* $\pm$ 1,8	1,11	-0,2 $\pm$ 2,2	0,07

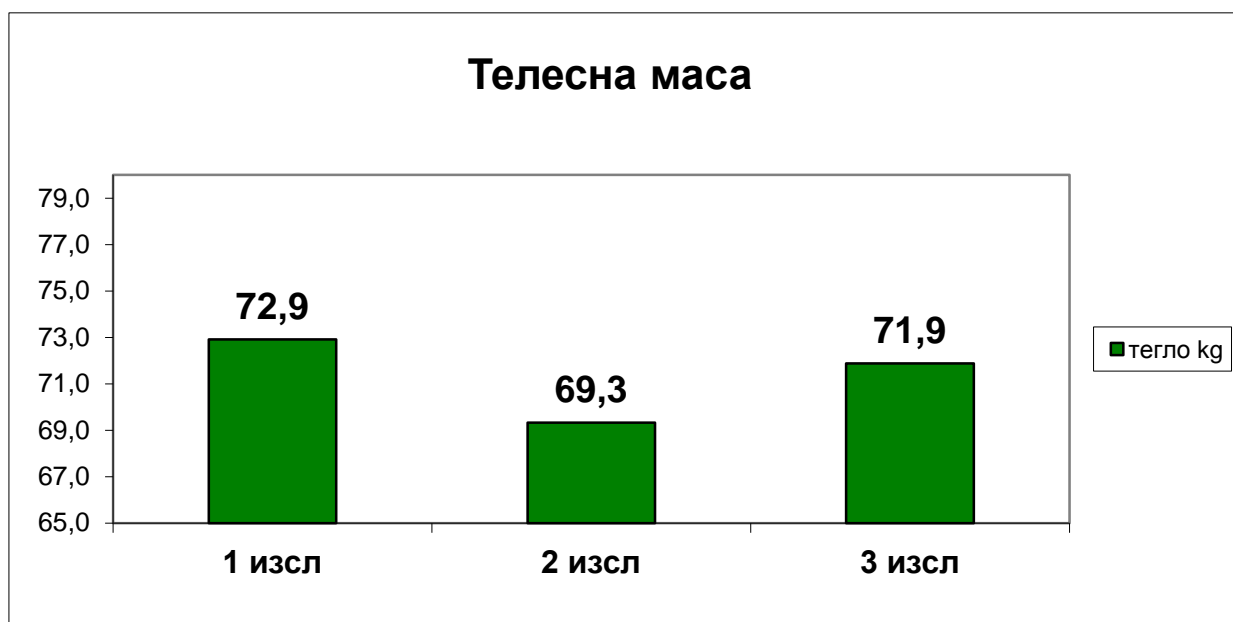
1 изследване – в София преди експедицията

2 изследване – по време на експедицията на базов лагер (3820 метра надморска височина)

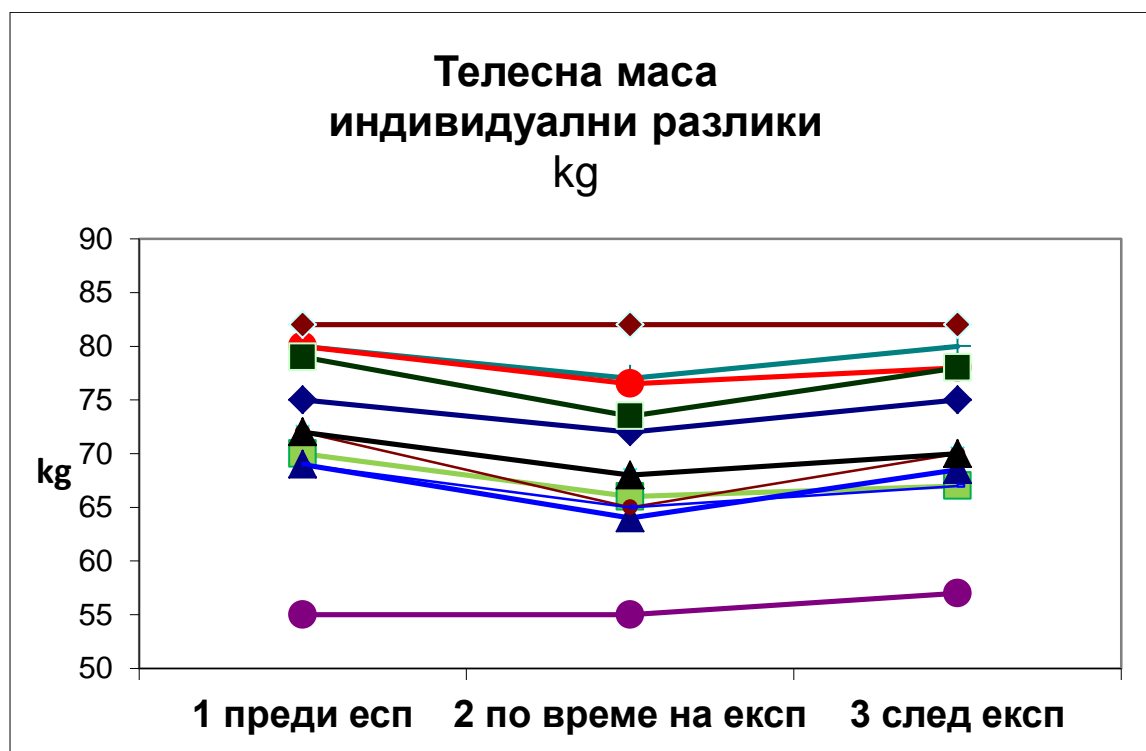
3 изследване – в София след експедицията

\*  $p < 0,05$

Cohen's d - стандартизирана разлика (прираст). Служи за практическа оценка на промените (effect size), като за стойности под 0,2 тя се приема за малка; 0,2-0,5 умерена; 0,5-0,8 значителна и над 0,8 голяма.



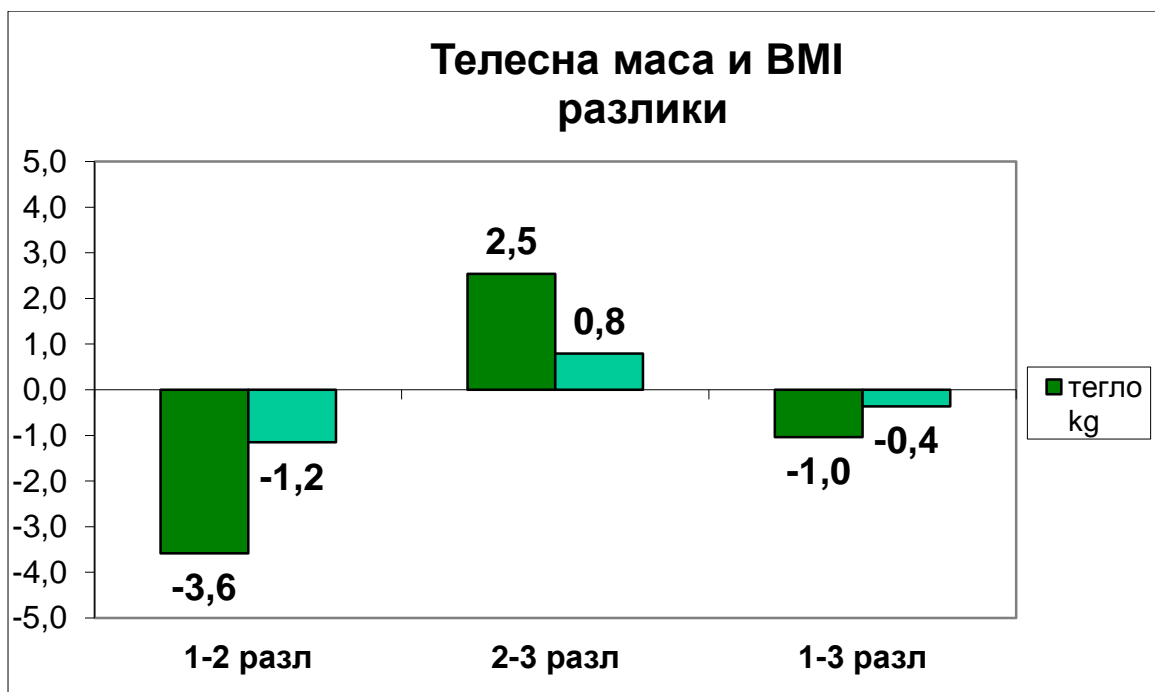
Фигура 1. Промени в телесната маса при височинни условия



Фигура 2. Индивидуални различия в телесната маса на участниците в експедицията

Разликата между първото и второто изследване, когато е острият ефект от височината, е  $-3,6 \pm 2$  kg. Както се вижда от Фигура 2, която демонстрира индивидуалните промени в теглото, този спад в телесната маса се наблюдава при всички изследвани лица с изключение на двама, при които няма промяна. Разликата в килограмите преди и след експедицията е  $-1,04 \pm 1,4$  kg и те са статистически значими (Фигура 3). Тези резултати съвпадат с литературните данни на редица автори, които на практика при почти всички изследвания установяват спад в килограмите.

Аналогични са промените и при индекса на телесната маса (BMI), който е произведен на теглото и ръста. И по отношение на този показател се наблюдава спадане с 1,2 единици по време на експедицията и след нея - покачване с 0,8, като промените са също статистически значими (Фигура 3).



**Фигура 3. Абсолютна стойност на разликите в телесната маса и BMI при трите измервания**

## **Телесни мазнини.**

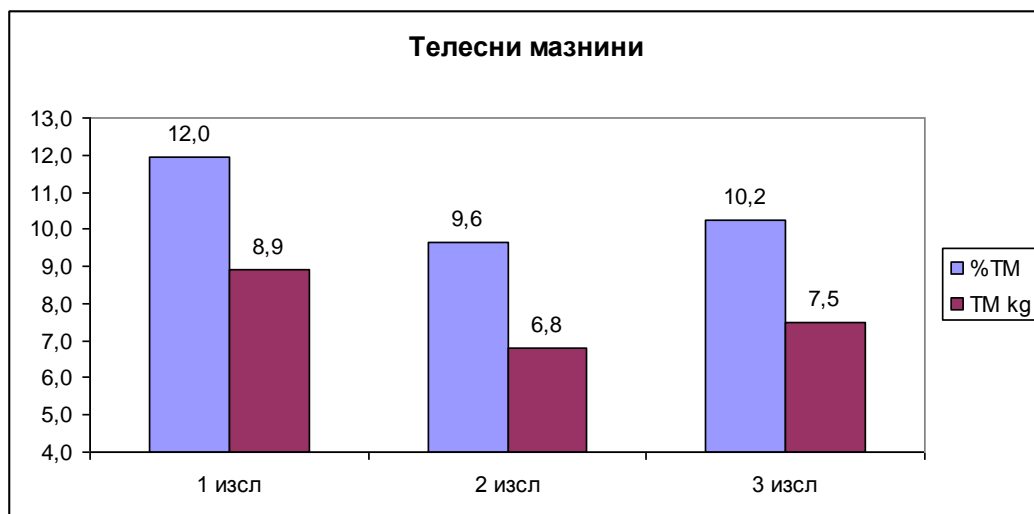
Промените в телесните мазнини бяха оценени чрез 3 показателя - сумата от 7 кожни гънки, чрез определяне на процента на телесните мазнини (%ТМ) въз основа на регресионни уравнения и чрез абсолютното им количество (ТМ), измерено в килограми.

Сумата от 7 кожни гънки, въз основа на които се изчислява процента мазнини, намалява след изкачването в базовия лагер намалява с 15,7 mm (от 81,1 mm преди изкачването до 65,4 mm при 2-то изследване) и се увеличава при 3-то измерване със само 4,1 mm. Разлика между 1 и 3 измерване се запазва и е в размер на 11,6 mm. Анализът на промените в отделните кожни гънки сочи, че при второто измерване най-голям е спадът на супраилиачната кожна гънка - 4,5 mm, следвана от тази на корема - 3,9 mm и бедрото - 3,8 mm.

Процентът мастна тъкан намалява от 12% на 9,6% при 2-то измерване, което се наблюдава при всички изследвани лица с изключение на трима. При 3-то измерване процентът мазнини се повишава несигнификантно с 0,6% и достига до 10,2 %. Разликата между 1 и 3 измерване е 1,7% и статистически значима (Фигура 4). Количеството мазнини, изразени като абсолютна стойност в килограми, при трите измервания са съответно 8,9 kg, 6,8 kg и 7,5 kg. Редукцията при 2-то измерване е 2,1 kg. Запазва се намалението на мазнините между 1 и 3 измерване – 1,4 kg. Анализът на индивидуалните промени в количеството на телесните мазнини показва един интересен факт, а именно че алпинистите с най-високи изходни мазнини, губят най-много от тях по време на експедицията.

Като цяло резултатите и от трите измервания показват, че изкачването на голяма надморска височина е свързано със статистически значимо намаление на телесните мазнини, което персистира 5-6 дни след завръщането в София.





**Фигура 4. Промени в телесните мазнини при височинни условия**

### **Мускулна маса и активна телесна маса.**

Промените в количеството на мускулната маса бяха изследвани чрез няколко показателя – процент мускулна маса, абсолютно количество мускулна маса (ММ), активна телесна маса (АТМ) и мускулни обиколки на мишницата и бедрото.

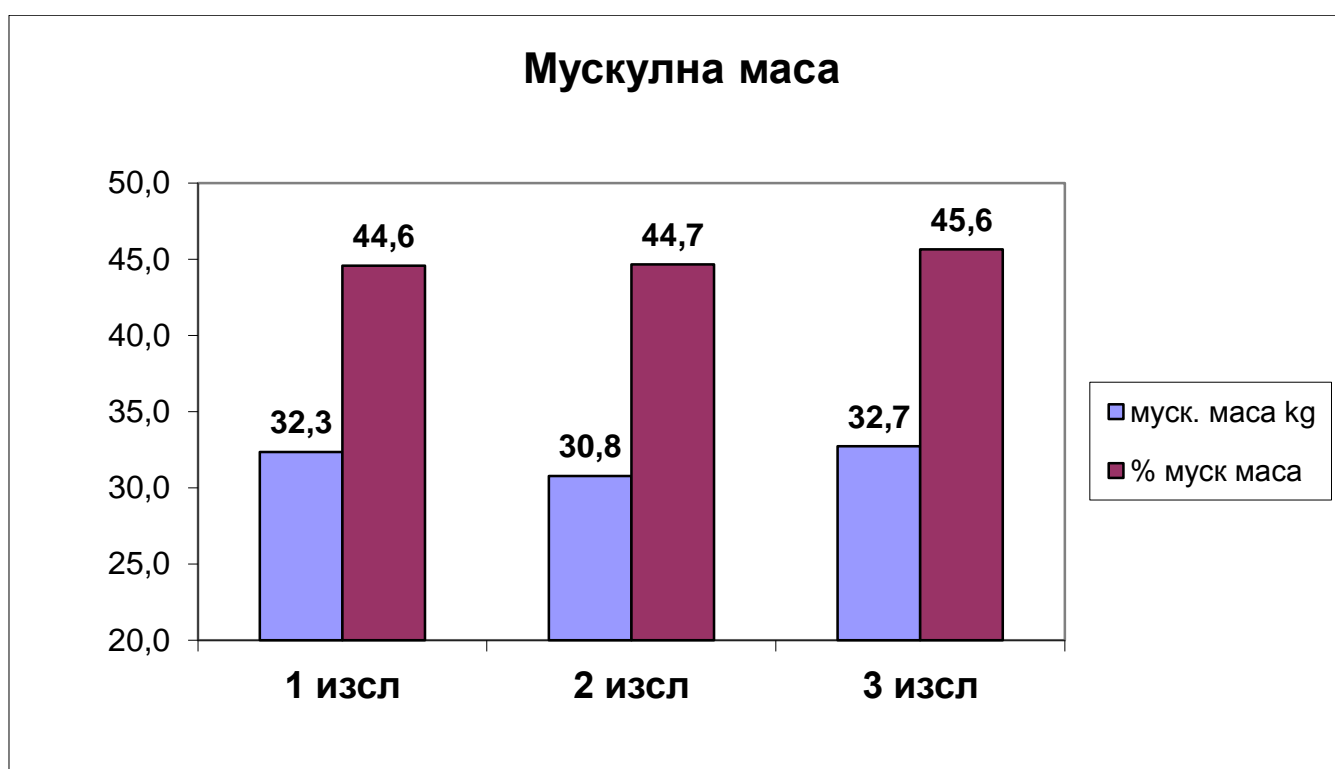
Мускулната маса изразена като процент от теглото не търпи значима динамика и остава около 45% от теглото в рамките на изследвания период. Между първото и второто изследване разликата е незначителна  $0,1\% \pm 2,1$ , между второто и третото - леко се повишава до  $1,0\% \pm 2,3$ , но остава несигнификантна (фигура 5).

Абсолютното количество на мускулите обаче намалява статистически значимо при 2-то измерване на базов лагер с 1,6 kg (от 32,3 на 30,8 kg), след което се възвръща към изходните стойности преди експедицията. Редукцията варира от 0,6 до 4,3 kg, като се наблюдава при всички с изключение на 2-ма. Третото измерване показва мускулна маса с

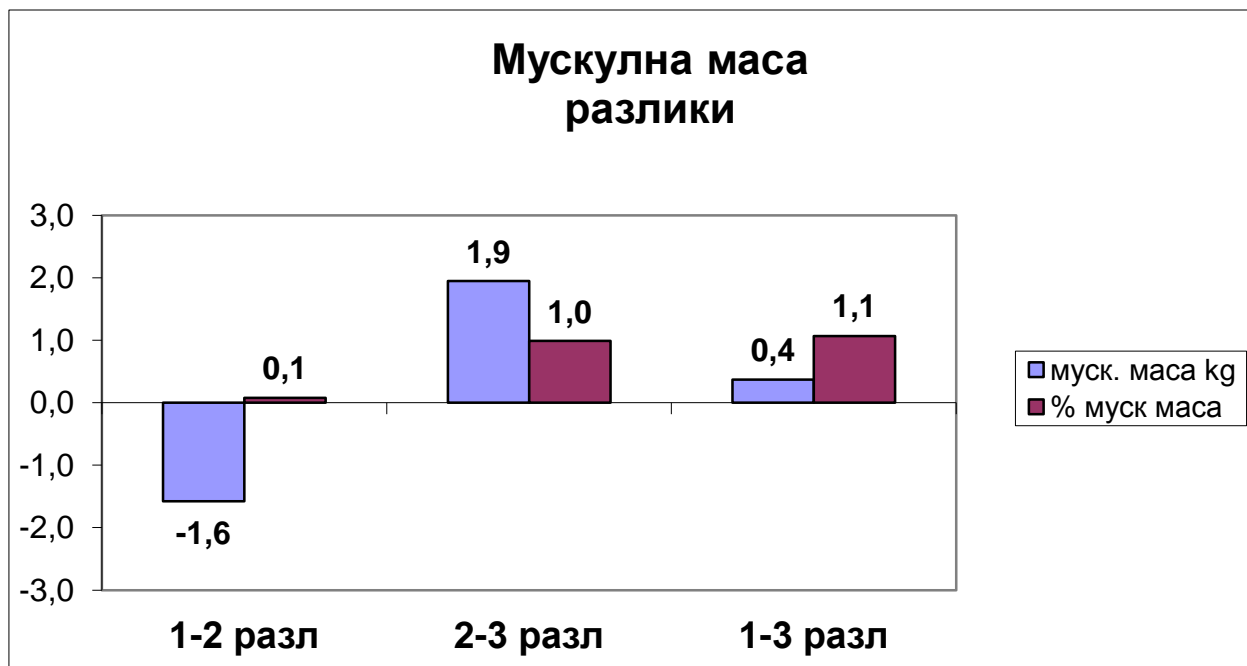
0,4 kg повече от преди експедицията, но тази разлика е статистически недостоверна (Фигура 5 и Фигура 6).

Промяната в активната телесна маса на практика следва измененията на мускулната маса, което е доказателство за коректността на измерванията, защото двата показателя – ММ и АТМ, се определят по различен начин.

Интересно е да се анализира за сметка на кои области на тялото е редуцирането на мускулатурата, т.е. промените в регионалното разпределение на мускулната маса.



**Фигура 5. Промени в мускулната маса при височинни условия**



**Фигура 6. Абсолютна стойност на разликите в мускулната маса при трите измервания**

Мускулната обиколка на мишницата намалява сигнификантно с 1,1 cm (от 27,5 cm на 26,4 cm), след което се увеличава отново до 28 cm. Мускулната обиколка на бедрото обаче, почти не се променя, като динамиката е в рамките на статистическата грешка (-0,4 cm, +0,7 cm) .

Обяснение за тази проява може да се търси в това, че мускулатурата се редуцира в тези части на тялото, които не се натоварват интензивно в този момент. В този случай това са ръцете. При тази експедиция основното натоварване понасят краката, свързано с продължително ходене пеша. Няма катерене, при което се натоварват интензивно и ръцете.

### **Обиколки на тялото.**

Обиколките на талията и ханша дават представа за регионалните промени в телесния състав. И двата параметъра търпят сходни промени. Преди тръгването талията и ханша са съответно  $80,0 \pm 5,5$  cm и  $94,5 \pm 5,5$  cm . При 2-то измерване, в условията на голяма надморска височина, талията намалява с  $2,1 \pm 2,2$  cm, а ханша с  $2,5 \pm 3,5$  cm. При измерването след връщането в София се отчитат стойности близки до първоначалните.

Разликата с изходните стойности при талията е  $-0,2 \pm 2,2$  cm, а при ханша -  $-0,5 \pm 3,7$  cm. Останалите измерени обиколки на тялото – мишница отпусната, бедро и хоризонтална на нивото на пъпа претърпяват аналогични промени.

Резултатите от антропометричното изследване на алпинистите от Памирската експедиция показват, загуба на телесна маса е 3,6 kg, което представлява 4,9% от изходното тегло на изследваните лица. От тях 2,1 kg (58,3%) са за сметка на мазнините, а около 1,6 kg са за сметка на мускулната маса. Намалението в теглото, мазнините и мускулната маса закономерно водят и до намаление на обиколките на талията и ханша, както и на мускулните обиколки на мишницата и бедрото. Хората с най-високи изходно количество мазнини свалят в най-голяма степен. В телесния състав настъпват и регионални промени като мазнини се свалят най-много в областта на корема и ханша, а мускулите - в областта на горните крайници. След завръщането на нормална надморска височина, в рамките на 5-6 ден, промените в теглото и мазнините все още не са отзвучали.

**Резултати от антропометричните изследвания от експедиция до връх К2.** Тук са представени данните от изследването на 2-ма високо тренирани алпинисти по време на експедиция за изкачването на връх К2. Престоят на голяма надморска височина при този случай е продължителен - около 2 месеца и височината е значително по-голяма – базовият лагер (БЛ) е на 5100 м надморска височина, а максимално достигната височина е 8200 м. Направени са 6-кратни измервания, 3 от тях са на базов лагер с 1 седмица интервал между измерванията. Резултатите са представени в Таблица 2.

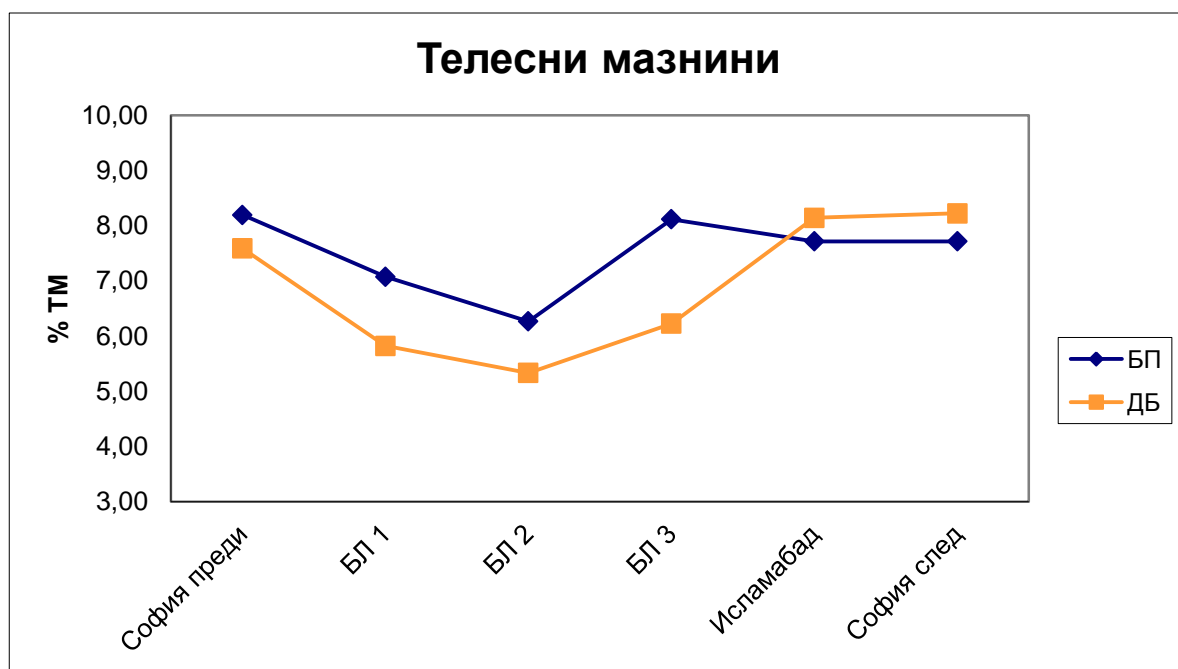
Както се вижда, всички показатели намаляват по време на изкачването, като най-изразени са промените при изкачването до базовия лагер. Между първото и второто измерване спадът продължава, но промените са по-малки. След 2 седмици престой на голяма надморска

височина, вероятно в резултат на настъпващите в организма адаптационни промени, при третото измерване (БЛ 3) се наблюдава постепенно покачване в стойностите на изследваните показатели (Фигури 7 и 8).

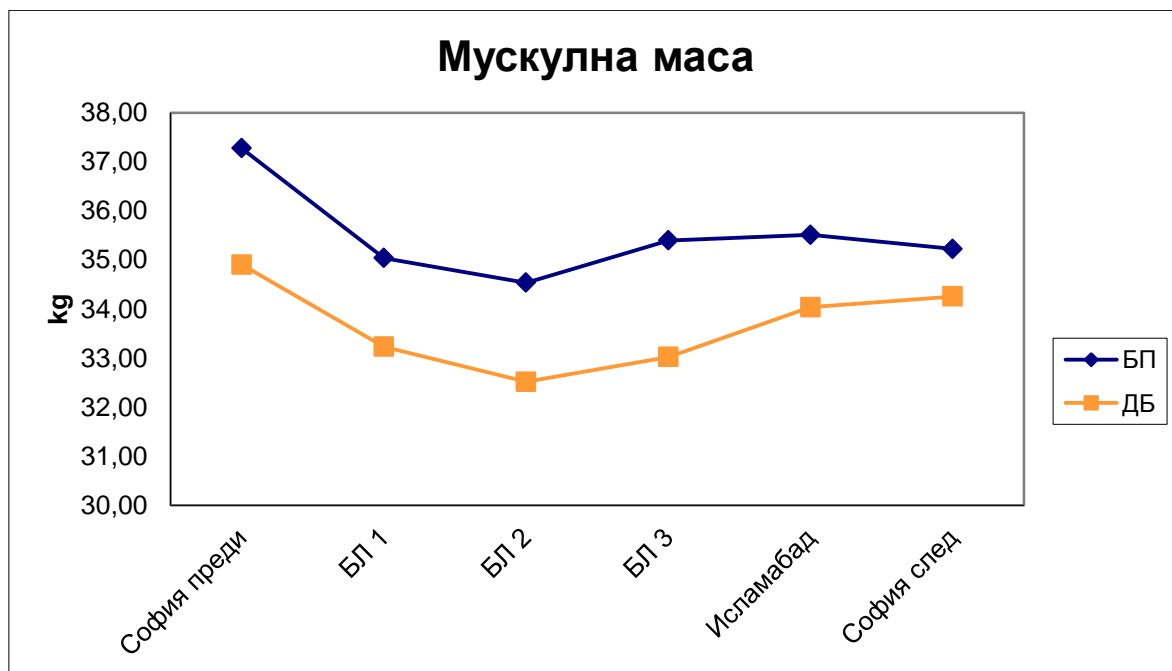
Наблюдаваната редукция в компонентите на телесната маса е преди всичко за сметка на АТМ. Мускулната маса спада максимално с 2,4 и 2,8 kg, съответно при двамата алпиниста. Мазнините също намаляват, но в по-малка степен – с 1,9 % и 2,4 %. Тези наши наблюдения съвпадат с литературните данни, които сочат, че до 5000 м загубите са предимно от мазнини, докато над 5000 м доминира редукцията главно на АТМ. Вижда се, че след връщането от планината мазнините възвръщат пред експедиционните си нива, докато мускулната маса остава намалена. При единия алпинист остатъчната редукция на мускулна маса е 2,1 kg, а при другия 0,6 kg (Таблица 2).

**Таблица 2. Промени в състава на телесната маса на 2-ма алпинисти при експедиция до К2.**

<b>Алпинист БП</b>						
<b>Показател</b>	<b>София - преди</b>	<b>БЛ 1</b>	<b>БЛ 2</b>	<b>БЛ 3</b>	<b>Исламабад след</b>	<b>София - след</b>
<b>Теледна маса</b>	76,1					73,5
<b>Сума 7 КГ</b>	55,5	48,5	43,5	55	52,5	52,5
<b>%ТМ</b>	8,2	7,1	6,3	8,1	7,7	7,7
<b>Муск. маса kg</b>	37,3	35,0	34,5	35,4	35,5	35,2
<b>МО мишница</b>	30,2	28,5	27,9	29,6	28,9	29,2
<b>МО бедро</b>	54,0	52,4	53,4	51,1	53,7	53,2
<b>МО подбедрица</b>	38,2	37,2	36,8	36,7	37,1	36,3
<b>Талия</b>	79,2	78,5	75	80,8	80,3	78
<b>Ханш</b>	95,7	94,1	93,3	93	92,5	95,5
<b>Алпинист ДБ</b>						
<b>Показател</b>	<b>София - преди</b>	<b>БЛ 1</b>	<b>БЛ 2</b>	<b>БЛ 3</b>	<b>Исламабад след</b>	<b>София - след</b>
<b>Телесна маса</b>	70,7					70,8
<b>Сума 7 КГ</b>	54	43	40	45,5	57,5	58
<b>%ТМ</b>	7,6	5,8	5,3	6,2	8,1	8,2
<b>Муск. маса kg</b>	34,9	33,2	32,5	33,0	34,0	34,3
<b>МО мишница</b>	29,3	27,9	27,9	28,1	29,1	29,3
<b>МО бедро</b>	51,0	49,4	47,7	48,9	50,7	49,5
<b>МО подбедрица</b>	35,6	34,9	34,1	34,4	34,4	34,9
<b>Талия</b>	75,2	73	72,8	74,5	76,5	77,2
<b>Ханш</b>	93,7	90,7	90,7	90,7	92,8	93,1



**Фигура 7. Промени в процента на телесните мазнини по време на експедиция до К2**



**Фигура 8. Промени в количеството на мускулната маса по време на експедиция до К2**

## ФУНКЦИОНАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Престоят на голяма надморска височина води до височинна адаптация. От друга страна експедиционната дейност е свързана с продължителни и често интензивните аеробни натоварвания. Като резултат от тях може да се очаква аеробния капацитет на алпинистите да бъде висок. Oelz et al. (1986) правят физиологичен профил на 6-ма от най-елитните алпинисти. Те провеждат тест на тредмил и установяват средна стойност на максималната кислородна консумация ( $VO_{2max}$ ) при изследваните лица  $59,5 (\pm 6,2)$  ml/kg/min. Намереният аеробен капацитет на алпинистите е по-висок от този при нетрениращи, но е далеч от нивата на елитните бегачи на дълги разстояния и се равнява на аматьори маратонци на същата възраст. Те не установяват връзка между индивидуалните катерачни способности и  $VO_{2max}$  на включените в проучването алпинисти. Например, най-успешния алпинист Райнхолд Меснер е бил с най-ниската  $VO_{2max}$ .

Richalet et al. (1988) аналогично установяват средна  $VO_{2max}$   $55.8 \pm 6.4$  ml/kg/min при 22 елитни алпинисти. Но пък тези автори намират тясна връзка между аеробните възможности измерени на морското равнище и достигнатата надморска височина по време на експедиция. Правят заключение, че алпинистите нямат физиологични характеристики много над средните нива, като добрите аеробни възможности позволяват по-добри и безопасни постижения на големи надморски височини.

Има множество проучвания за бързите, директни ефекти на голямата надморска височина върху организма при спортисти от различни спортни дисциплини ( Wilber et al., 2007; Saunders et al., 2013; Chapman, 2013; Дашева, 2007).

Такива данни съществуват за алпинисти (Ward et al., 2000), включително и от български учени. През 1983 година д-р Стайко Кулаксьзов и колеги (Кулаксьзов и кол., 1986) изследват влиянието на дозирано физическо натоварване върху сърдечно-съдовата система на алпинисти. Те провеждат степ тестове на височина 2200 м и 3600 м, като



проследяват аклиматизационните промени на пулса, артериалното налягане, ударния и минутния обем на сърцето. Авторите установяват, че след 10 дневна аклиматизация (на 2200 м) и системни тренировки, след едно и също дозирано физическо натоварване, пулсът и минутният сърдечен обем намаляват. Правят заключение, че в резултат на подобрената степен на тренираност едно и също по обем физическо обременяване се извършва с по-малко усилия.

Прави впечатление, че няма много данни за дългосрочното влияние на голямата надморска височина върху функционалните показатели при алпинисти. Kuřach et al. (2011) проследяват ефекта на 32 дневен престой на височина над 2500 м при 8 алпинисти. Авторите провеждат максимални и субмаксимални велоергометрични тестове на морското равнище преди и след експедицията. Наблюдават несигнификантно намаляване на  $VO_{2max}$ ., а при субмаксимално натоварване отчитат статистически значимо увеличение на сърдечната честота и минутната вентилация.

При нашето изследване бяха включени 12 клинично здрави мъже на средна възраст  $31,4 (\pm 8,5)$  год. (от 18 до 47 год.), участници в експедиция до връх Ленин (7134 м). Всеки участник беше изследван преди експедицията и след завръщането в България в една и съща лаборатория, намираща се на 550 м надморска височина. Престоят на алпинистите на височина над 3000 м е общо 20 дни, като по-голяма част от престоя е над 4300 м (преден базов лагер), а 7 от участниците достигат максимална височина 7134 м (върха). Второто изследване е проведено от 5 до 7 дни след слизането.

Обобщените резултати от функционалните тестове са представени на Таблицы 3 и 4. Може да се твърди, че тестовете са проведени при достигнат реален отказ и измерените показатели са максимални за моментното състояние на алпинистите. За това говори високия RER при отказа (1,29), както и достигнатия максимален пулс (184 уд/мин). Само ще обърнем внимание, че този максимален пулс отговаря на около 97% от теоретичния максимален пулс средно за групата. И накрая ще отбележим практически липсата на разлика в тези показатели между двете изследвания, като и ниската стандартизирана разлика (Cohen's d).

**Таблица 3. Данни от функционалните тестове на велоергометър**

Показател	Преди експедицията	След експедицията	Разлика	Разлика в проценти	Cohen's d
	Средна стойност $\pm$ SD	Средна стойност $\pm$ SD			
Максимална работоспособност (W)	307,5 $\pm$ 31,66	293,3 $\pm$ 32,84	<b>-14,17*</b>	-4,61	0,94
Макс. работоспособност на кг (W/kg)	4,24 $\pm$ 0,48	4,09 $\pm$ 0,39	-0,15	-3,52	0,57
Макс.сърдечна честота (уд./min)	184,33 $\pm$ 8,21	183,75 $\pm$ 9,83	-0,58	-0,32	0,12
Макс. кислородна консумация (ml/min)	3713,8 $\pm$ 369	3588,3 $\pm$ 448	-125,5	-3,38	0,51
Макс. кислородна консумация на кг (ml/kg/min)	51,13 $\pm$ 4,57	50,06 $\pm$ 5,44	-1,07	-2,09	0,32
Макс. минутна вентилация (l/min)	142,63 $\pm$ 20,73	142,8 $\pm$ 25,5	0,19	0,13	0,01
Дихателен обем (l)	2,85 $\pm$ 0,45	3,05 $\pm$ 0,50	<b>0,20*</b>	7,00	0,94
Дихателна честота (бр/min)	51,08 $\pm$ 9,03	47,58 $\pm$ 9,41	-3,5	-6,85	0,53
Икономичност VO <sub>2</sub> /W (ml/W)	10,61 $\pm$ 0,90	10,63 $\pm$ 1,03	0,01	0,11	0,02
RER при отказа	1,29 $\pm$ 0,06	1,29 $\pm$ 0,08	0	0	0,06
Макс. кислороден пулс (уд/ml/min)	20,15 $\pm$ 1,88	19,50 $\pm$ 1,87	-0,66	-3,26	0,56

\* p<0,05

Cohen's d - стандартизирана разлика (прираст). Служи за практическа оценка на промените, като за стойности под 0,2 тя се приема за малка; 0,2-0,5 умерена; 0,5-0,8 значителна и над 0,8 голяма.

**Таблица 4. Данни от функционалните тестове на велоергометър-продължение**

Показател	Преди експедицията	След експедицията	Разлика	Разлика в проценти	Cohen's d
	Средна стойност $\pm$ SD	Средна стойност $\pm$ SD			
Сърдечна честота при RER=1 (уд/min)	129,8 $\pm$ 17,2	116,9 $\pm$ 13,3	<b>-12,9*</b>	9,95	0,72
Кисл. консумация при RER=1 (ml/min)	1975,8 $\pm$ 551,2	1623,4 $\pm$ 410,6	-352,42	-17,84	0,60
% от макс. кисл. конс. при RER=1 (%)	52,64 $\pm$ 11,77	45,26 $\pm$ 9,99	-7,38	-14,01	0,51
Мощност при RER=1 (W)	152,5 $\pm$ 46,93	117,3 $\pm$ 41,25	<b>-35,2*</b>	-23,10	0,76
Систолочно налягане (mmHg)	189,5 $\pm$ 22,3	184,3 $\pm$ 17,6	-5,17	-2,73	0,26
Диастолочно налягане (mmHg)	77,5 $\pm$ 21,2	79,6 $\pm$ 22,3	2,08	2,69	0,09
HR 2 min (уд/min)	130 $\pm$ 11,3	125,3 $\pm$ 7,6	-4,75	-3,65	0,50
HR 4 min (уд/min)	110,6 $\pm$ 9,7	111,9 $\pm$ 8,3	1,33	1,21	0,17
HR 6 min (уд/min)	103,3 $\pm$ 7,5	108,8 $\pm$ 7,9	<b>5,5*</b>	5,33	0,79
%HRmax 2 min (%)	70,5 $\pm$ 5,1	68,2 $\pm$ 3,7	-2,28	-3,24	0,52
%HRmax 4 min (%)	59,9 $\pm$ 3,8	61 $\pm$ 4	1,01	1,69	0,28
%HRmax 6 min (%)	56,01 $\pm$ 3,2	59,3 $\pm$ 4,1	<b>3,23*</b>	5,77	0,96
Телесна маса (kg)	72,9 $\pm$ 7,3	71,88 $\pm$ 7,03	<b>-1,02*</b>	-1,43	0,69
Хемоглобин (g/l)	157,9 $\pm$ 7,9	162,9 $\pm$ 10,2	<b>5,0*</b>	3,17	0,77
Еритроцити ( $\times 10^{12}/l$ )	5,281 $\pm$ 0,343	5,466 $\pm$ 0,236	<b>0,185*</b>	3,50	0,78

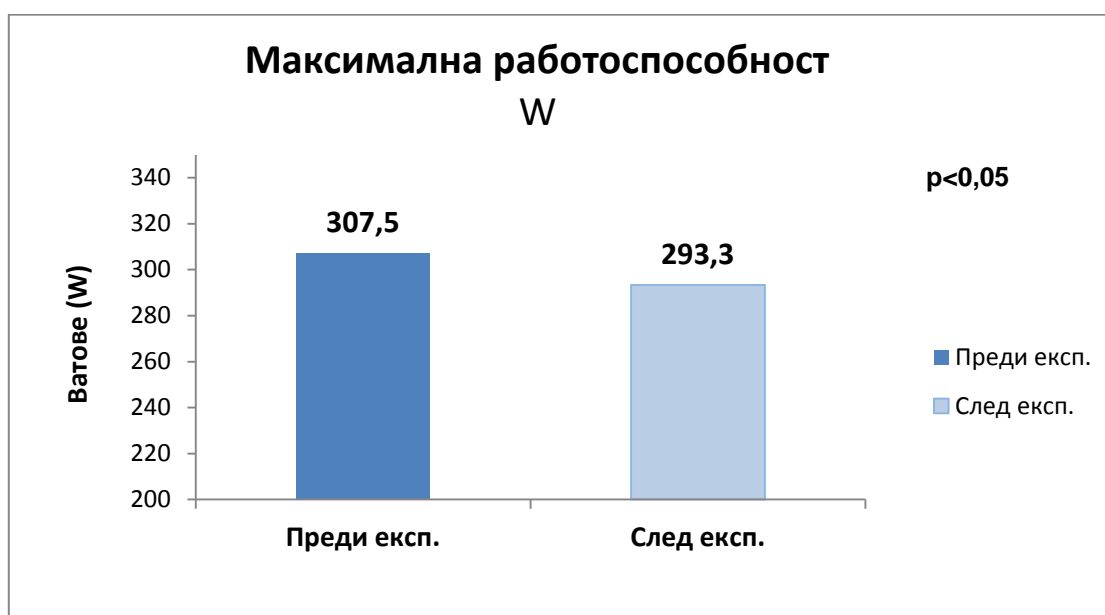
HR 2, 4, 6 min – сърдечна честота във възстановителния период съответно на 2, 4 и 6 минута.

%HRmax 2, 4, 6 min - сърдечна честота във възстановителния период изразена като процент от максимално достигнатия пулс, съответно на 2, 4 и 6 минута

\*  $p < 0,05$

### Максимална работоспособност ( $W_{\max}$ ).

Работоспособността е изразена в абсолютни стойности във ватове и като относителна стойност – ватове на килограм телесна маса. При първия тест преди експедицията средното максимално натоварване достигнато от групата е 307,5 W, а при втория тест след експедицията е 293,3 W (Фигура 9).



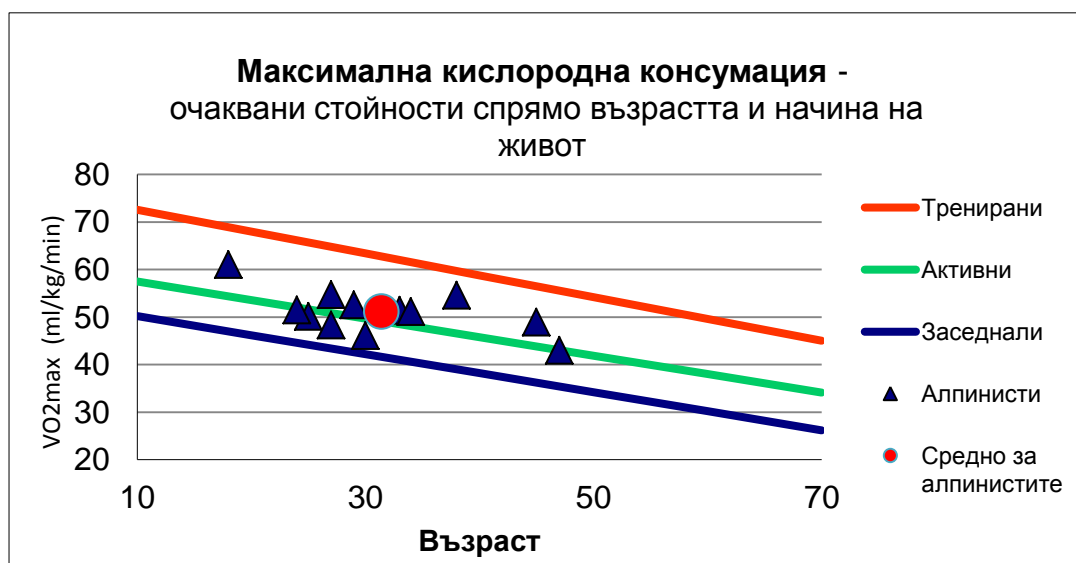
Фигура 9. Промени в максималната работоспособност

Наблюдаваното намаляване в работоспособността е 14,2 W, като то е статистически значимо ( $p=0.008$ ) и се дължи на това, че при половината от изследваните лица има редукция с 30 W (1 стъпало), а при останалите е без промяна. Сигнификантността на тази промяна се губи, когато е изразена на килограм телесна маса – от 4,2 на 4,1 W/kg. Това се обяснява с наблюдаваната редукция на теглото с 1,02 kg.

### Максимална кислородна консумация ( $VO_{2\max}$ ).

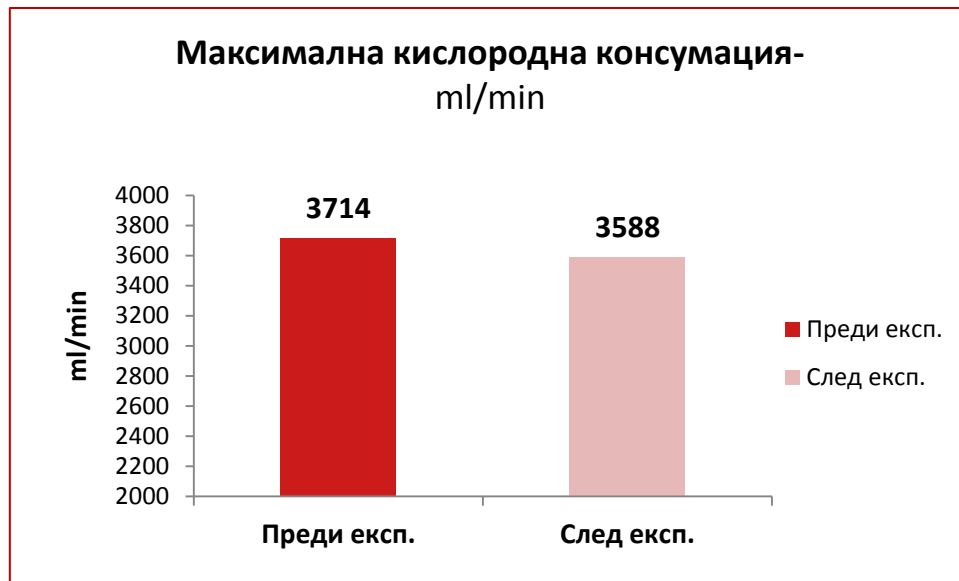
Максималната кислородна консумация е основен показател говорещ за аеробните възможности на човека. При изследваните от нас алпинисти, след максимален спироергометричен тест на велоергометър, тя е 3714 ml/min или като относителна стойност 51,1 ml/kg/min (Таблица 2).

Българските алпинисти макар и активно спортуващи, не са професионални атлети. За да оценим тяхната максимална кислородна консумация сме използвали регресионни уравнения даващи очакваната  $VO_{2max}$  съответно на възрастта и начина на живот (Wilson et al., 2000). Както се вижда на Фигура 10, нашите алпинисти са на ниво по-високо спрямо хора водещи заседнал начин на живот на същата възраст, но и доста по-ниско от елитни спортисти.

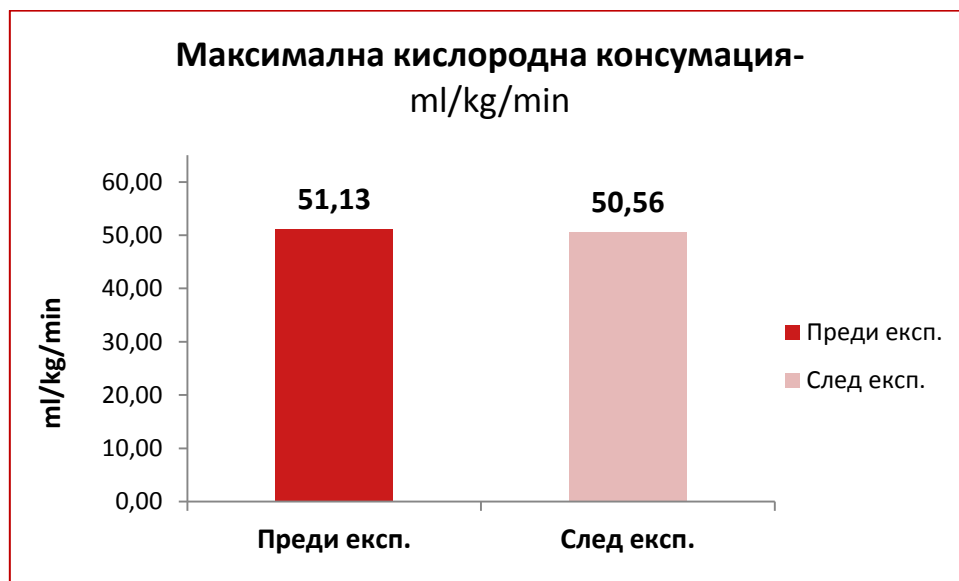


**Фигура 10.** Максимална кислородна консумация на алпинистите отнесена към възрастта и начина на живот

Сравнявайки максималната кислородна консумация преди и след експедицията се вижда, че тя намалява с 125,5 ml/min и 1,07 ml/kg/min, но статистически недостоверно. Индивидуалните разлики са в широк диапазон от -414 до +300 ml/min и от -5,6 до +5,9 ml/kg/min респективно. Може да заключим, че на практика максималната кислородна консумация не се е променила.



**Фигура 11. Промени в максималната кислородна консумация ( $VO_{2max}$ )**

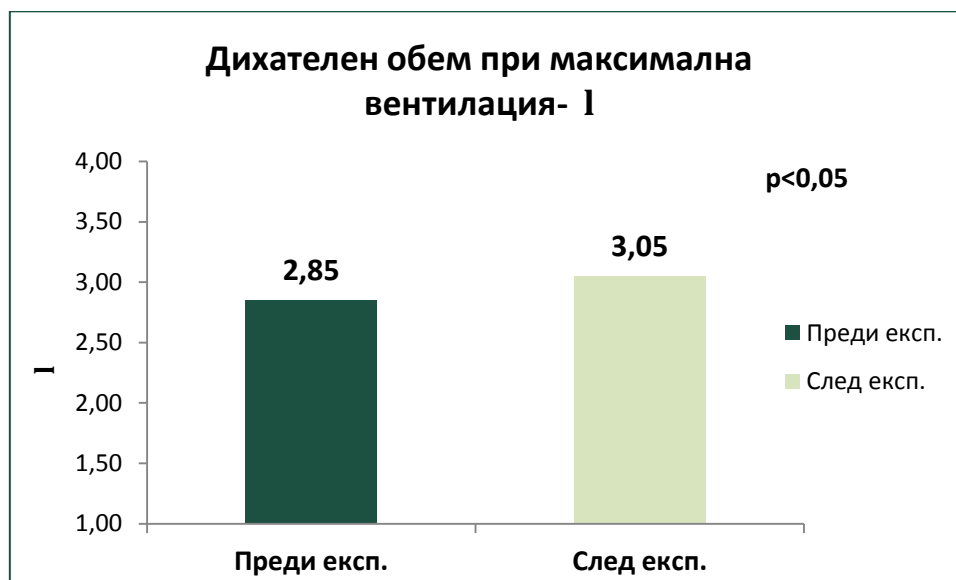


**Фигура 12. Промени в максималната кислородна консумация отнесена към теглото ( $VO_{2max/kg}$ )**

### **Показатели на дишането.**

Ако се обърне внимание на дишането, максималната белодробна вентилация не се променя при двете изследвания и остава около 143 l/min. В същото време обаче, се открива повишение на дихателния обем с 200 ml, при на практика същия минутен дихателен обем. Тази промяна е статистически значима ( $p < 0,05$ ) и е с голямо Cohen's d – 0,96 (Фигура 13 ).

Тази промяна се наблюдава при всички лица с изключение на един и е свързана с редукция на дихателната честота.



**Фигура 13. Промени в дихателния обем при достигната максималната белодробна вентилация**

Обяснение за повишаването на дихателният обем при запазване на същата белодробна вентилация може да търсим като вероятно продължаващ ефект върху механиката на дишането, в следствие от височинната хипервентилация (Ward et al., 2000). Може да се отбележи фактът, че при 38% от спироергометричните изследвания (9 от общо 24) максималната кислородна консумация не е достигната по време на максималната белодробна вентилация.

### **Субмаксимални показатели.**

На Таблица 5 са представени стойностите на пулса, кислородната консумация и минутния белодробен обем при субмаксимално натоварване от 90 и 210 W. Също така е демонстриран и основния показател за субмаксимална мощ- PWC170, който се определя като нивото на усилието при достигане на пулс 170 уд/min.

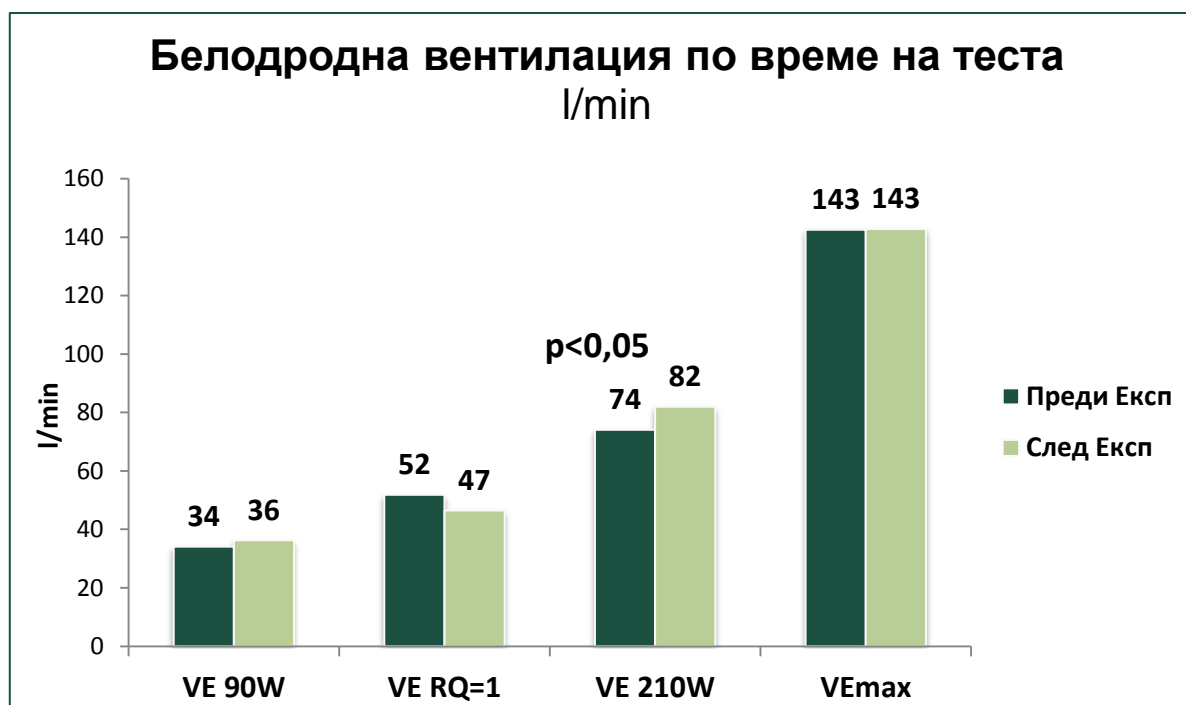
**Таблица 5. Субмаксимални показатели**

		Преди експ.	След експ.			
Показатели		Средна стойност ±SD	Средна стойност ±SD	разлика	Разлика в %	Cohen's d
<b>90 W</b>	VO2	1357,00 ±138,26	1335,58 ±99,40	-21,42	-1,58	0,12
	HR	111,67 ±12,24	109,9 ±8,92	-1,76	1,57	0,1
	VE	34,09 ±8,39	36,32 ±2,19	2,23	6,53	0,45
<b>210 W</b>	VO2	2717,83 ±112,03	2702 ±146,82	-15,83	-0,58	0,15
	HR	155,33 ±8,39	154,73 ±12,97	-0,61	-0,39	0,05
	VE	74,14 ±6,73	81,95 ±9,76	7,81*	10,53	0,85
<b>PWC170</b>	W	266,43 ±26,25	261,43 ±41,4	-5	-1,88	0,15
	VO2	3174,57 ±320,60	3119,57 ±396,51	-55	-1,73	0,23
	VE	93,64 ±11,26	107,57 ±22,07	13,93	14,87	0,45
VO2-Кислородна консумация (ml/min); HR-сърдечна честота (уд/min), VE- белодробна вентилация (l/min), W- мощност (W), SD- стандартно отклонение, *- p<0,05						

Като се разглежда динамиката на показателите по време на натоварването се вижда, че при натоварване от 90 W и 210 W кислородната консумация и пулса не се променят, но има сигнификантно повишаване на белодробната вентилация с 7,81 l/min при натоварване 210 W (от 74,14 l/min на 81,95 l/min) (Фигура 14).

Също при показателят PWC170 (работоспособност при достигнат пулс 170 уд/min) изразен като ватове, кислородна консумация и вентилация има тенденция към повишаване на белодробната вентилация, но статистически недостоверно.





**Фигура 14.** Динамика на белодробната вентилация по време на велоергометричния тест

Като обобщение може да се посочи, че при не максимални натоварвания се наблюдава тенденция към намаляване на кислородната консумация и пулса и повишаване на вентилацията.

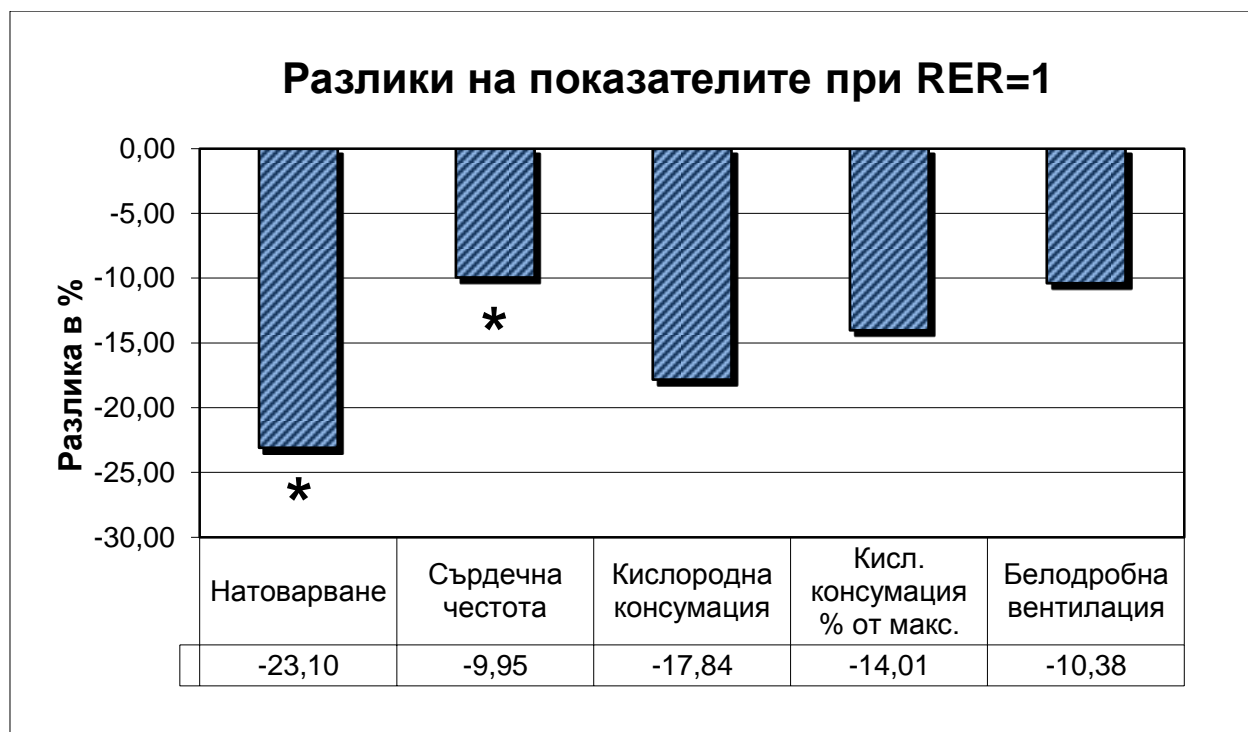
Показателят икономичност на аеробната работа-  $VO_2/W$ , който дава представа за ефективността на аеробния метаболизъм в хода на натоварването на практика остава не променен – 10,6 ml/W (Таблица 3).

Аналогично на наблюдаваното от нас повишаване на белодробната вентилация при субмаксимални натоварвания и едно проучване на полски автори (Kujach et al.,2011) дава повишаване на вентилацията с 10 l/min. Те изследват 7 мъже и 1 жена на средна възраст 26 ( $\pm 4,2$ ) год., пребивавали 32 дни на височина над 2500 м. Лицата са били участници в две експедиции, едната, от които е на същия връх Ленин (7134 м) като и при нашето изследване. При тестове преди и след експедицията те намират липса на редукция на теглото, несигнификантно намаляване на  $VO_{2max}$  от 49,9 на 46,1 ml/kg/min (стъпаловиден тест до отказ на велоергометър), а при субмаксимално натоварване от 1,5 W/kg установяват сигнификантно повишаване на сърдечната честота (от 124 на 130 уд/min) и минутната

белодробна вентилация (от 38 на 48 l/min) при това без значима промяна на субмаксималната кислородна консумация.

### Анаеробен праг.

По отношение на анаеробния праг, при нашето изследване преценихме, че най-удачно е да го определяме по метода RER=1 (Цветков, 2009). Представяме го като натоварване, кислородна консумация и сърдечна честота - Таблица 4. При всички показатели наблюдавахме изместване на нивото му към по-ниски стойности (Фигура 15). Но статистически значимо е намалението му изразен като натоварване (от 152,5 на 117,3 W,  $p=0,03$ ) и сърдечна честота (от 130 на 117 уд/min,  $p=0,04$ ). Изразен като кислородна консумация също има спадане с 352 ml/min, но несигнификантно ( $p=0,06$ ), въпреки че тази тенденция е с значително Cohen's d (0,6-0,7) и се наблюдава при 67% от случаите (8 от 12).



**Фигура 15. Разлики на основните показатели при RER=1. \*-равнище на значимост  $p<0,05$**

## **Възстановяване.**

Във възстановителния период беше регистрирано статистически значимо повишаване на пулса на 6 мин. с 5,5 уд/мин. (Таблица 4), което говори за известно забавяне на възстановителните процеси.

Кръвното налягане измерено в първата минута след настъпването на отказа показва умерено повишени стойности за систоличното налягане 189,5 и 184,3 mmHg, съответно за първото и второто тестиране, което е обичайна реакция за максимално натоварване. Не се наблюдава съществена разлика в систоличното и диастоличното налягане при тестовете преди и след експедицията (Таблица 4).

Трябва да се отбележи статистически значимото повишаване на концентрацията на хемоглобина с 5 g/l (от 157,9 на 162,9 g/l) и броя на еритроцитите с  $0,185 \times 10^{12}/l$  (от 5,281 на  $5,466 \times 10^{12}/l$ ), (Таблица 4). Това е напълно обясним ефект от престоя на голяма надморска височина. Увеличението на кислородотранспортния капацитет на кръвта във връзка с хипоксичния стимул е факт. Логично е на тази база да очакваме повишаване и на максималната кислородна консумация измерена на ниско, но на практика не става така. Нашите резултати показват по-скоро тенденцията към намаляване (макар и статистически недостоверно) на абсолютните и относителни стойности на максималната кислородна консумация (Фигури 11 и 12). Такива резултатите получават и други изследователи (Kujach et al., 2011). Обяснение за това неочаквано явление може да търсим в намаляване на използването на кислорода от работещите мускули. Като е важно да отбележим, че не се наблюдава значима промяна в мускулната маса на алпинистите, както се е вижда от нашите резултати от антропометричните измервания (Фигура 6). Също така няма основание да се предполага намаляване на другите детерминанти на кислородотранспортния капацитет на организма, които са свързани със сърдечносъдовата и дихателната функция. Хипобарната хипоксия, която е ефект от голямата надморска височина, води до обективно намаляване на работоспособността независимо от аклиматизацията, т. е. не могат да се понесат големи натоварвания, като лимитиращ фактор е недостигът на

кислород (Ward et al., 2000). Това в крайна сметка води до значителното намаляване на обема и интензивността на извършваната работа във височинни условия, от там се стига до спадане на тренираността (Levine, 2002). Намалената тренираност от своя страна води до това мускулатурата да черпи по-малко кислород от кръвта, от където и максималната кислородна консумация е по-ниска. Казаното не противоречи на общоприетото градивно въздействие върху аеробния капацитет на планинските тренировъчни лагери, тъй като те се провеждат на много по-малка надморска височина (около 2000 м), където спадането на работоспособността е много по-малко.

### **Степ тест.**

Степ теста беше проведен при 7 добре аклиматизирани мъже на надморска височина 5100 m (Базов лагер на връх K2). Натоварването се състоеше в изкачване на стъпало с височина 30 cm в продължение на 10 min - 5 min с темпо 15 изкачвания в минута и 5 min с темпо 30 изкачвания в минута, без почивка между тях. Поради естеството на двигателната дейност при усилието извършената работа е различна при всеки тестиран и зависи от теглото му. По време на теста се регистрираше пулса и кислородната сатурация (SpO<sub>2</sub>). Всички изследвани лица понесоха добре натоварването, без оплаквания от недостиг на въздух или други симптоми.

Резултатите на всеки участник и средните стойности са представени в Таблица 6 и таблица 7. Изходният пулс беше 77 уд/min, покачи се до средно 110 уд/min при първото натоварване и съответно до 140 уд/min при второто натоварване. Във възстановителния период постепенно намаляваше, но не възвърна изходните стойности. Дори на 15 минута от възстановяването остана с почти 12 уд/min по-висок от този в покой, като тази разлика е статистически значима ( $p=0,002$ ).

**Таблица 6. Данни за пулса (уд./min) от степ теста- индивидуално**

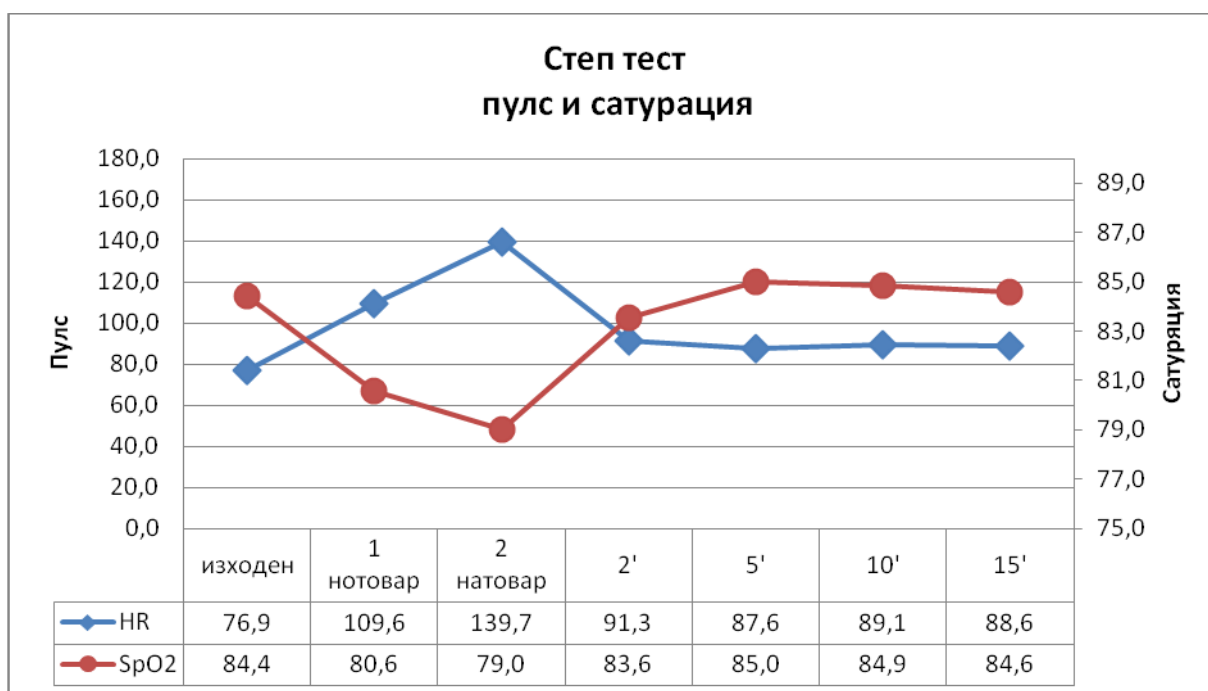
Изсл. лица	Покой	Натоварване		Възстановяване			
	пулс	1	2	2min	5min	10min	15min
1	75	106	140	90	86	92	90
2	80	110	141	106	97	94	93
3	70	95	116	72	71	72	80
4	68	99	133	74	76	83	85
5	81	114	154	105	102	103	99
6	86	115	132	96	93	94	90
7	78	128	162	96	88	86	83
Средна ст.	<b>76,9</b>	<b>109,6</b>	<b>139,7</b>	<b>91,3</b>	<b>87,6</b>	<b>89,1</b>	<b>88,6</b>
SD	6,3	11,0	15,1	13,7	11,1	9,9	6,5

**Таблица 7. Данни за кислородната сатурация (в %) от степ теста- индивидуално**

Изсл. лица	Покой	Натоварване		Възстановяване			
	SpO2	1	2	2min	5min	10min	15min
1	86	83	78	86	87	88	88
2	85	75	81	88	91	84	85
3	84	84	82	84	85	84	84
4	86	86	82	85	85	87	86
5	82	77	75,5	82	82	82	80
6	85	83	81	82	83	85	85
7	83	76	73,5	78	82	84	84
Средна ст.	<b>84,4</b>	<b>80,6</b>	<b>79,0</b>	<b>83,6</b>	<b>85,0</b>	<b>84,9</b>	<b>84,6</b>
SD	1,5	4,4	3,4	3,3	3,2	2,0	2,4

Кислородната сатурация изходно беше средно 84,4 %. Тази ниска сатурация е обичайна за тези условия и съответства на надморската височина на провеждане на теста. Всички участници в изследването бяха много добре аклиматизирани, с престой на базов лагер (5100 m) и по-високо минимум 25 дни. При първото натоварване сатурацията спада до 80,6 %, а при второто до 79 % (Фигура 16). Този спад със съответно 3,8% и 5,4 % е сигнификантен и при двете стъпала ( $p<0,05$ ). Въпреки чувствителното намаление, алпинистите не даваха оплаквания от диспнея

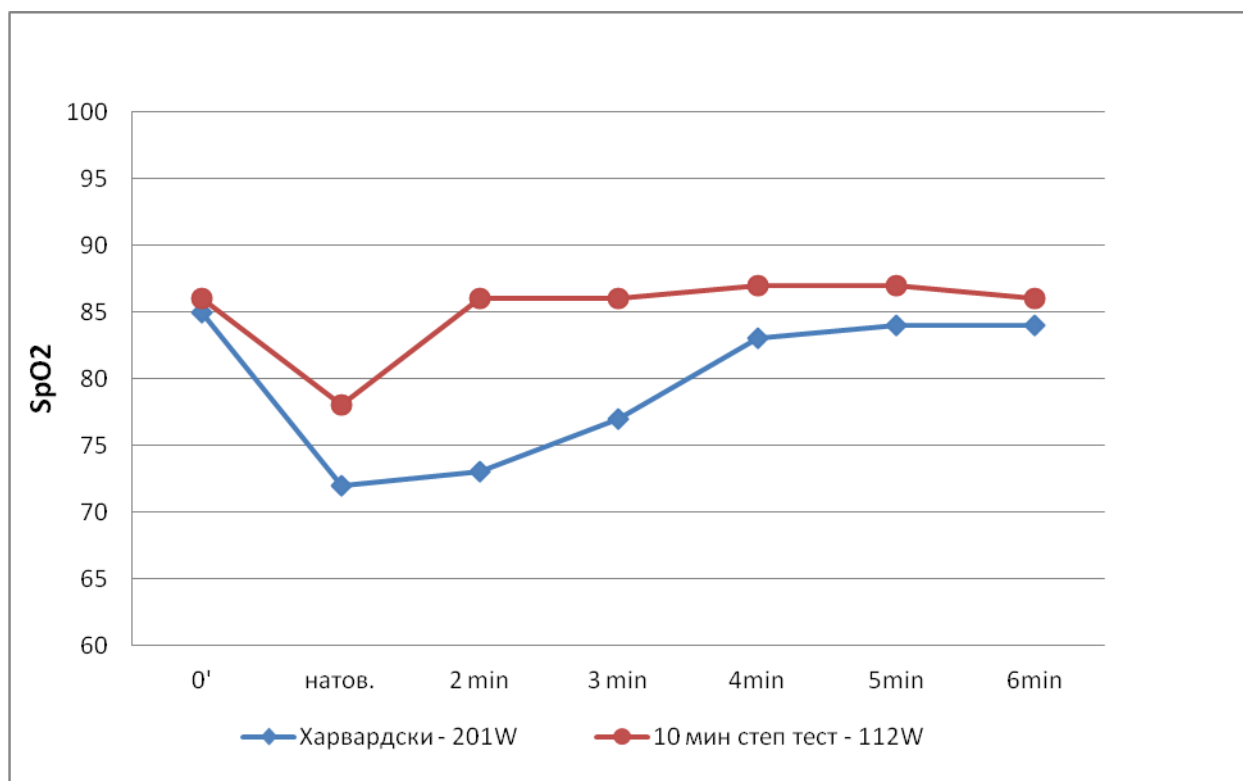
или силна умора. Във възстановителния период се наблюдаваше бързо възвръщане към изходните стойности. На практика, за разлика от пулса, сатурацията още на 3 минути възстанови обичайните си стойности за покой.



**Фигура 16. Изменение на пулса и сатурацията по време на степ теста**

Направи се опит да се проведе и Харвардски степ с едно опитно лице. Но поради изява на тежки симптоми (недостиг на въздух, прилошаване) натоварването беше прекратено на 3-та минута. Усилието обективно е било доста сериозно, както се вижда от достигната сърдечна честота 156 уд/мин (86% от HRmax) и особено от сериозният спад на сатурацията- до 72%! За дадения човек усилието да се качва стъпало с височина 52 cm 30 пъти в минута отговаря на мощност 201 W, а очакваното кислородно потребление е 48,3 ml/kg/min. (ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 2000). Тази предвидена кислородна консумация се доближава до VO2max на лицето измерена на морското равнище. А както беше посочено в литературния обзор, на височината, на която е проведен степ теста- 5100 m , може да се очаква максимална кислородна консумация едва около 50% от тази на морското равнище.

Следователно, толкова продължително усилие на тази височина надвишава обективните възможности на изследваното лице. Поради тези причини не се направиха последващи опити за провеждане на Харвардски степ тест при други алпинисти.



**Фигура 17. Сравнение на кислородната сатурация (SpO2) между Харвардски степ тест и второто стъпало на 10 минутния степ тест**

Като се сравни динамиката в показатели между Харвардския тест и 10 минутния степ тест (Фигура 17), прави впечатление колко повече се вдига пулса и съответно намалява сатурацията при Харвардския тест и колко по-бавно се възстановяват след това. Това разбира се е обяснимо при единия тест еквивалента на натоварването е 112 W, а при другия 201 W.

За да обобщим данните от степ тестове трябва да кажем, че умерени и леки физически натоварвания, извършени на голяма надморска височина при добре аклиматизирани хора, водят до сигнификантно допълнително

спадане на кислородната сатурация, която вече е по-ниско от нормалното. Въпреки че тази допълнителна редукция може и да не доведе до сериозни симптоми, тя е свързана с намаление на работоспособността.

Така описаните явления ни дават обяснение за емпирично наблюдаваната промяна в модела на движение във високата планина. Алпинистът ходи или се катери, докато се появи задъхване, почива известно време, докато се нормализира дишането и продължава пак. С натрупване на опит вече може да предвиди дозата на натоварването (брой крачки) и да се спре за почивка, преди да настъпят изяви симптоми. Това прави усилието много по-комфортно.

## **ЕХОКАРДИОГРАФСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ**

Целта на ехокардиографските изследвания беше да се установи дали има промени в сърдечните показатели, които да се наблюдават и след престоя на голяма надморска височина. В литературата има обширно описани острите промени при хипоксично излагане и ефектите върху сърцето и пулмоналното налягане. По-малко са данните за наличие на по-трайни, остатъчни ефекти след прекратяване на хипоксичното въздействие.

В нашето изследване бяха включени 12 алпиниста от три експедиции- до връх Ленин , връх Еверест и връх К2, на средна възраст 33г. (от 24 до 47 г.). Бяха направени два ехокардиографски прегледа- преди заминаването и отново след завръщането. Участниците имаха престой над 3000м средно 24,5 дни (от 19 до 54 дни). Второто изследване беше извършено средно 16,5 дни (от 4 до 28) след слизането под 3000м.

От направената едно- и двуразмерна ехокардиография бяха измерените и изчислени 13 на брой параметри – Таблица 8. Всички изследвани лица бяха с нормална ехографска находка. Само при един се установи лека левокамерна хипертрофия.



**Таблица 8. Ехокардиографски показатели. (средна стойност  $\pm$  стандартно отклонение)**

Показатели	Преди експедицията	След експедицията	Разлика	Cohen's d
Ляво предсърдие (mm)	35,3 $\pm$ 2,2	35,7 $\pm$ 2,3	0,43	0,27
Аорта (mm)	31,7 $\pm$ 2,4	31,5 $\pm$ 2,8	-0,13	0,07
Теледиастолен размер на ЛК (mm)	50,5 $\pm$ 3,9	50,7 $\pm$ 4,1	0,13	0,08
Телесистолен размер на ЛК(mm)	31,6 $\pm$ 3,3	32,0 $\pm$ 2,8	0,40	0,12
Теледиастолен обем на ЛК (ml)	122,3 $\pm$ 21,9	122,9 $\pm$ 23,2	0,65	0,08
Телесистолен обем на ЛК (ml)	40,4 $\pm$ 10,2	42,0 $\pm$ 9,0	1,55	0,16
Ударен обем на ЛК (ml)	81,9 $\pm$ 14,9	81,0 $\pm$ 17,7	-0,88	0,10
Фракция на изтласкване (%)	67,2 $\pm$ 4,4	66,1 $\pm$ 5,1	-1,13	0,16
Фракция на скъсяване (%)	37,5 $\pm$ 3,6	36,7 $\pm$ 4,1	-0,77	0,14
Междукамерна преграда (mm)	9,9 $\pm$ 1,0	10,4 $\pm$ 0,7	0,48*	0,69
Задна стена на ЛК (mm)	9,5 $\pm$ 0,9	9,8 $\pm$ 0,9	0,36	0,51
Дясна камера (mm)	23,3 $\pm$ 3,7	23,5 $\pm$ 1,9	0,27	0,08
Пулмонално налягане (mmHg)	25,5 $\pm$ 2,9	31,2 $\pm$ 3,7	5,7	1,4

\*-p<0,05

Измерените размери и обеми на лявата камера са в референтните граници и няма значима промяна при второто изследване. Само диастоленият размер на междукамерната преграда нараства от 9,9 на 10,4 mm. Тази промяна от 0,5 mm е статистически значима (p<0,05) и при отделните лица варира от -0,8 до +1,6 mm. Макар и със значителна стандартизирана разлика (Cohen's d = 0,69), практически клинично е

несъществена. Контрактилната функция на лявата камера е добра при първото измерване (ФИ- 67,2 %) и се запазва такава и при второто (ФИ- 66,1 %). Спадането с 1,13 % е статистически и практически несигнификантно.

Интересно е да се обсъди налягането в белодробната артерия. Първо трябва да се отбележи, че за да може то да се измери трябва да се установи макар и минимална трикуспидална регургитация. Такава не винаги може да се открие. В нашия случай имаме само 6 лица с налична трикуспидална регургитация и при двата прегледа. Само те са включени в статистиката за пулмоналното налягане.

При първото измерване преди експедициите систоличното налягане в пулмоналната артерия е 25,5 mmHg. След слизането и прибирането се определят стойности от 31,2 mmHg. Установеното повишаване с 5,7 mmHg е сигнификантно ( $p < 0,05$ ), с голяма стандартизирана разлика (Cohen's  $d = 1,4$ ) и е налично при пет от шесте изследвани лица (Таблица 9).

**Таблица 9. Налягане в белодробната артерия в mmHg**

Изсл. лица	Преди експедицията	След експедицията	Разлика	Дни след слизането
1	20	29	9	5
2	26	32	6	12
3	25	31	6	5
4	28	37	9	9
5	26	32	6	19
6	28	26	-2	20
Средна ст.	25,5	31,2	5,7*	11,7
SD	2,9	3,7	4,0	

\*  $p < 0,05$

Отдавна е известно и в литературата е добре описано, че хипоксичния стрес води до повишаване на пулмоналното налягане вследствие на вазоконстрикцията на малките белодробни артерии. Нарастването е пропорционално на надморската височина, респективно хипоксията и продължителността на престоя. След преустановяване на хипоксичния стимул пулмоналното налягане се връща към нормалните си стойности. Забележителното при нашето изследване е, че установяваме продължаващо повишение на пулмоналното налягане със средно 5,7 mmHg след период от почти 12 дни на преустановяване на хипоксичното въздействие. Това наблюдение, за което не е съобщавано да сега отваря допълнителни въпроси относно механизмите свързани с регулацията на пулмоналното налягане. Трябва да отбележим също, че няма реакция от страна на дясната камера, размерът и остава непроменен.

Чрез доплер ехокардиография се измериха скоростите на диастолния кръвоток през митралната клапа. Стойностите на Е и А вълната, както и тяхното съотношение са нормални и не се променят при второто измерване. От тук може да заключим, че не се наблюдава нарушение на диастолната сърдечна функция при алпинистите в следствие на експедиционна дейност.

## ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

### Изводи

1. Пребиваването на голяма надморска височина очаквано води до намаление на теглото, телесните мазнини и мускулната маса.

2. При връщане в нормални условия мускулната маса се възстановява до пред експедиционните стойности, но теглото и мазнините остават редуцирани, като алпинистите с най-високи изходни мазнини, губят най-много от тях по време на експедицията. Редукцията на мускулна маса е преди всичко в областта на горните крайници.

3. Продължителното пребиваване на голяма надморска височина води до намаляване на максималната работоспособност, увеличение на дихателния обем по време на натоварване, при това без значима промяна в максималната кислородна консумация и максималната белодробна вентилация, измерени отново при обичайната надморска височина.

4. Не се наблюдават трайни промени в ехокардиографските показатели при алпинисти. Само систолното налягане в белодробната артерия остава повишено дори и след слизване на обичайна надморска височина, без да има промяна в размера на дясна камера.

5. Умереното физическо натоварване в условията на високата планина и при добре аклиматизирани хора, води до намаляване на кислородната сатурация. Дори и да не дава сериозни симптоми това явление променя начина на придвижване в такива условия и намалява физическия работен капацитет.

6. Наблюдаваното очаквано повишаване на концентрацията на хемоглобина и броя на еритроцитите не водят до повишаване на максималната кислородна консумация измерена на ниско.

## **Препоръки**

На хората, които им предстои пребиваване във високата планина, независимо дали с цел изкачване на връх или просто планинарство, трябва да държат сметка за промените, които настъпват в организма. Теглото спада, като загубите са както за сметка на мазнини, така и на мускулна маса. На относително по-ниски височини доминира загубата на мазнини, докато на екстремните височини взема превес загубата на мускулна маса.

## **Приноси на дисертационния труд:**

- Направен е антропометричен и функционален профил на българските алпинисти.
- Детайлно са описани промените в състава на телесната маса в резултат на пребиваване във височинни условия.
- Изследвани са ехографските промени в сърдечната функция при слизване от голяма надморска височина.
- Дадено е научно обосновано обяснение за специфичния начин на придвижване и извършване на физически натоварвания във високата планина.

### **Публикации във връзка със дисертацията**

1. Младенов Л, Михайлов М. Характеристики на участници във височинна експедиция и нейното влияние върху антропометричните показатели. Спорт и наука 2007, извънреден бр.; 4: 83-90.
2. Младенов Л. Влияние на голямата надморска височина върху функционалните показатели при алпинисти. Спорт и наука 2015, 3: 111- 120
3. Michailov M, Mladenov L. Athletic profile of high altitude climbers and influence of an expedition on anthropometric variables. Med Sport 2011; 15 (3): 177
4. Mladenov L. Echocardiographic changes, due to a high altitude exposure in alpinists. X. World Congress on High Altitude Medicine and Physiology & Mountain Emergency Medicine, Bolzano, Italy (25.– 31.05.2014).
5. Mladenov L. Changes of oxygensaturation during exercise at high altitude. 6th European Hypoxia Symposium. Hypoxia,High Altitude Physiology and Sport in Science and Practice 12-15.09.2013 Zakopane, Poland.