

МЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 519.25:612 (045)

Висоцька Я.С.,  
Івапець О.Б.,  
Мойсеєнко В.С.

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ГОМЕОСТАЗУ

Національний авіаційний університет, e-mail: vysotskayayana23@gmail.com

*В роботі проведений аналіз методів оцінювання гомеостазу антарктичних зимівників, шляхом визначення показників системи дихання, крові та кровонаповненні судин. Запропонована багатопараметрична система оцінювання гомеостазу з використанням статистично-математичної обробки біомедичних показників зимівників для виявлення змін в їхньому організмі на протязі року при дії факторів Антарктиди.*

*Ключові слова: гомеостаз, реоенцефалографія, бодіплетизмографія, біохімічний аналіз крові, критерій Фішера.*

**Вступ**

Під час антарктичних експедицій та роботі в екстремальних умовах людина постійно перебуває під впливом кліматичних і специфічних факторів, які можуть провокувати розвиток патологічних змін в організмі. Для виявлення змін в системі гомеостазу використовують метод метаболічного моніторингу із застосуванням сучасних аналізаторів, за допомогою якого, можна точно оцінити кисневий стан організму, а також кислотно-основний стан крові, але підготовка зразків для дослідження вимагає великих затрат часу. Динамічне проведення клінічних і біохімічних аналізів важливо для підтримки показників в межах норми, що забезпечить стабільний стан гомеостазу.

Аналіз результатів медико-біологічних досліджень організму людини, що довгостроково працює в умовах Антарктиди свідчать про те, що процеси гомеостатичних систем не досягають оптимального фізіологічного рівня, в результаті цього з'являється стан незавершеної адаптації, який негативно позначається на фізичному, психофізіологічному здоров'ї.

Проблема вивчення адаптації людини, її стану до екстремальних умов та роботи в Антарктиді вивчені неповністю, тому це значно заважає розробці ефективних профілактичних і надійних методів корекції порушень гомеостазу. Оцінювання гомеостатичної системи організму зимівників за рахунок використання медичних методів, можуть дати напрямок для корекції гомеостазу та виявлення змін в показниках крові, системи дихання і кровонаповненні судин при дії факторів Антарктиди. Тому актуальною задачею є визначення методів та засобів оцінювання гомеостазу зимівників, які працюють на українській антарктичній станції «Академік Вернадський».

**Аналіз літературних джерел**

Проблема оцінки і збереження функціональних резервів організму, і гомеостатичної системи зокрема, особливо актуальна в сучасних умовах. Фізіологічні механізми адаптаційної перебудови організму у відповідь на вплив несприятливих факторів, призводять до реактивних зрушень, спрямованих на збереження гомеостазу [1], [4]. Для перебудови рівня функціонування життєво важливих систем в несприятливих клімато-екологічних умовах, потрібна активізація регуляторних механізмів. Результат може бути досягнутий ціною значної напруги механізмів імунної регуляції [8]. Резервні можливості підтримання імунного гомеостазу виявляються при патології, додаткової антигенної стимуляції в період адаптації до нових умов життя, під впливом чинників і засобів, стимулюючих той чи інший механізм імунної регуляції [2], [3]. Кліматичні умови, несприятлива екологічна обстановка, створюють реальність формування порушень різних систем [5], [6].

Проаналізувавши літературні джерела, можна виділити такі методи оцінювання гомеостазу:

- біологічну рідину (кров, лімфа, слина тощо) висушують на предметному склі та досліджують в поляризованому світлі, визначають її морфотипи та при наявності 1, 2, 3 і 4 морфотипів оцінюють гомеостаз компенсованим, а при появі 5 і 6 морфотипів – порушення гомеостазу. Спосіб дозволяє на ранньому етапі виявляти функціональні порушення гомеостазу [9].
- проводять вимірювання амплітуди, запис процесу зсідання крові на його початку, визначають показники початку і кінця процесу згортання електрокоагулограми крові та порівнюють їх з

однойменними показниками процесу згортання крові в нормі та при різноспрямованих відхиленнях діагностують порушення функціонального стану системи гемостазу [7].

Загальним недоліком розглянутих методів є відсутність системного підходу до оцінювання гомеостазу і його корекції, дослідження кожної підсистеми організму як окремої складової без урахування складних взаємозв'язків між ними, а також відсутність аналізу біологічного зворотного зв'язку, який є головним фактором при адаптації до складних умов.

#### Мета статті

Провести комплексну обробку фізіологічних показників антарктичних зимівників для розробки методу оцінювання гомеостазу.

#### Методи досліджень

Основні методи, які застосовувалися при діагностиці стану гомеостазу зимівників: біохімічний аналіз крові, полягає у визначенні низки важливих показників, що характеризують функціональний стан всього організму і відхилення в ньому; реоенцефалографія є методом дослідження кровообігу головного мозку людини, який заснований на реєстрації змін пасивних електричних характеристик між електродами, зафіксованих на шкірних покриттях голови; для визначення внутрішньогрудинного обсягу газу використовують бодіплетизмографію. Бодіплетизмографія дозволяє визначити: залишковий об'єм легень, загальну ємність легень, функціональну життєву ємність легень, бронхіальний опір, дифузійну здатність легень.

В роботі були оброблені результати всіх 3 зазначених методів. Для кожного з них було висунуто 2 гіпотези, а саме:

- Нульова гіпотеза ( $H_0$ ) визначає, що фактори Антарктиди не впливають на показники зимівників.
- Альтернативна гіпотеза ( $H_1$ ) визначає, що відбувається вплив факторів Антарктиди на показники зимівників.

За параметричним методом статистики – критерієм Фішера, перевіряють зазначені гіпотези на значущість і надійність. Якщо  $F_p < F_{кр}$ , то приймається гіпотеза  $H_0$ , а якщо  $F_p > F_{кр}$ , то приймається гіпотеза  $H_1$ . Для перевірки гіпотези  $H_0$  застосовують критерій Фішера, який визначається за формулою 1:

$$F_p = \frac{s_2^2}{s_1^2} \quad (1)$$

де  $s_1^2, s_2^2$  – вибіркові дисперсії першої і другої вибірки [4].

#### Обробка експериментальних даних

Дослідження виконувалися на основі біологічних показників, що були зібрані впродовж 22-ї експедиції на антарктичній станції «Академік Вернадський» у період з 2017-2018 рр. Під час експедиції кожного місяця проводився збір біологічних показників складу команди із 12 осіб чоловічої статі.

При цьому виконувалося комплексне біомедичне та психологічне обстеження зимівників антарктичної станції (у віці 25-60 років) під час експедиції, а також до і після експедиції. Використовувалися методи, які дозволяють прогнозувати поведінку організму на вплив різних факторів зовнішнього середовища і своєчасно попереджати порушення гомеостазу.

Для проведення порівняльного аналізу і виявлення змін в системі крові, дихання та кровонаповнення судин, здійснювалася статистична обробка даних із застосуванням обчислювальної техніки. Достовірність змін і відмінностей між величинами, що порівнювалися, оцінювалися за критерієм Фішера з використанням таблиці вірогідності 0,05. На основі цього висувається одна з гіпотез про вплив або не вплив факторів Антарктиди на організм зимівників.

#### Модель оцінювання гомеостазу

В роботі була запропонована модель оцінювання гомеостазу (рис.1). Особливістю даної моделі є визначення складних взаємозв'язків між основними підсистемами людського організму та сформульована гіпотеза про біологічний зворотний зв'язок між зазначеними підсистемами на основі біохімічного аналізу крові.

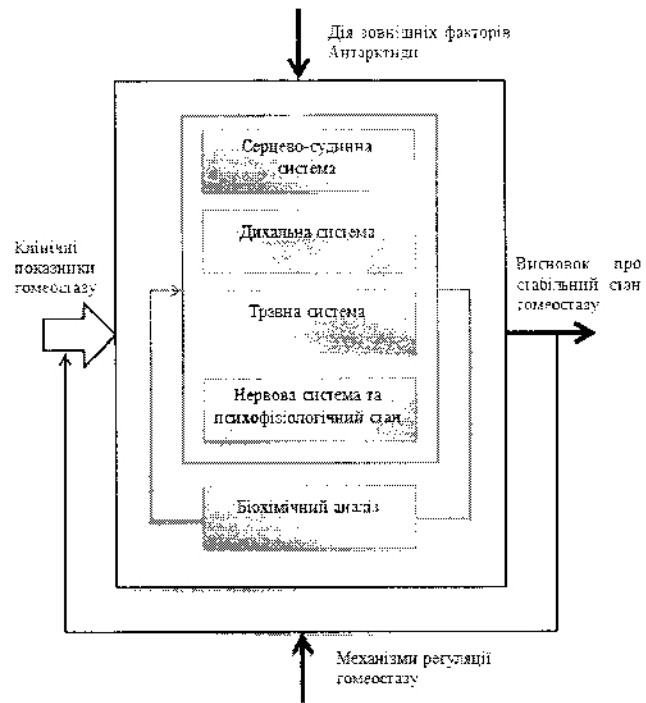


Рис.1 – Модель оцінювання гомеостазу

Для визначення стану зимівників були використані методи оцінювання показників наступних підсистем: дихальної, кровотворної підсистем та нервової підсистеми через стан кровонаповнення судин мозку. Методами опіювання стану організму є: біохімічний аналіз крові, реоенцефалографія і бодіплетизмографія.

В роботі були висунуті припущення, що стан всіх розглянутих підсистем організму можна визначити за біохімічним аналізом крові. Тому першим етапом оцінювання гомеостазу на основі запропонованої моделі є аналіз біохімічних особливостей крові.

#### Статистична обробка біохімічних показників крові

Результати обробки основних показників крові подані на рис.2. Дані характеризують зміни біохімічних показників перед відправленням до антарктичної експедиції та після її завершення.

Біохімічний аналіз крові		До	Після	СКВ		Еритроцити	Гематокрит	Шпигуль
Білірубін загальний	5-21 мкмоль/л	27,08333333	31,075	15,92162227	5,706301341	2,790182521	2,94	0,95
Сечовина	2,1-7,1 ммоль/л	4,758333333	3,791666667	1,472785532	6,842207384	2,293517011	2,94	0,95
Креатинін	40-115 мкмоль/л	75,19166667	76,93333333	9,773151393	5,33861773	1,330934119	2,94	0,95
АЛТ	<45 Од/л	18,78333333	34,58333333	5,913786549	23,11657984	4,810661168	2,94	0,95
АСТ	<40 Од/л	23,875	40,20833333	4,761324221	23,69718043	5,186622311	2,94	0,95
Холестерин	3,87-6,71 ммоль/л	4,651666667	4,551666667	0,552552159	0,332773271	1,085281132	2,94	0,95
Глюкоза	3,8-6,4 ммоль/л	4,920833333	4,920833333	0,313247994	0,516688172	1,649434848	2,94	0,95

Рис. 2 – Отримання емпіричних значень.

За біохімічним аналізом крові були досліджені такі показники: білірубін (5-21 мкмоль/л); сечовина (2,1-7,1 ммоль/л); креатинін (40-115 мкмоль/л); аланінамінотрансфераза (АЛТ) (<45/л); аспартатамінотрансфераза (АСТ) (<40/л); холестерин (3,87-6,71 ммоль/л); глюкоза (3,8-6,4 ммоль/л). За даними результатами можна зробити висновки про вихід системи організму зі стійкого стану та необхідність проведення моніторингу діагностичних, лікувальних та профілактичних заходів.

Одержані розрахункові значення порівнюються із критичними значеннями (табличними), на основі цього робиться висновок про справедливість однієї зі статистичних гіпотез.

Висуваємо альтернативну ( $H_1$ ) гіпотезу за представленим рис. 3 про те, що на показники аланінамінотрансферази (АЛТ) та аспартатамінотрансферази (АСТ) існує дестабілізуючий вплив зовнішнього середовища Антарктиди, протягом всього року перебування, в той час як інші показники не зазнають ніякого суттєвого впливу даного середовища. Таким чином, показники АЛТ та АСТ є більш чутливими до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів Антарктиди та можуть бути використані в якості надійного індикатора стану гомеостазу.

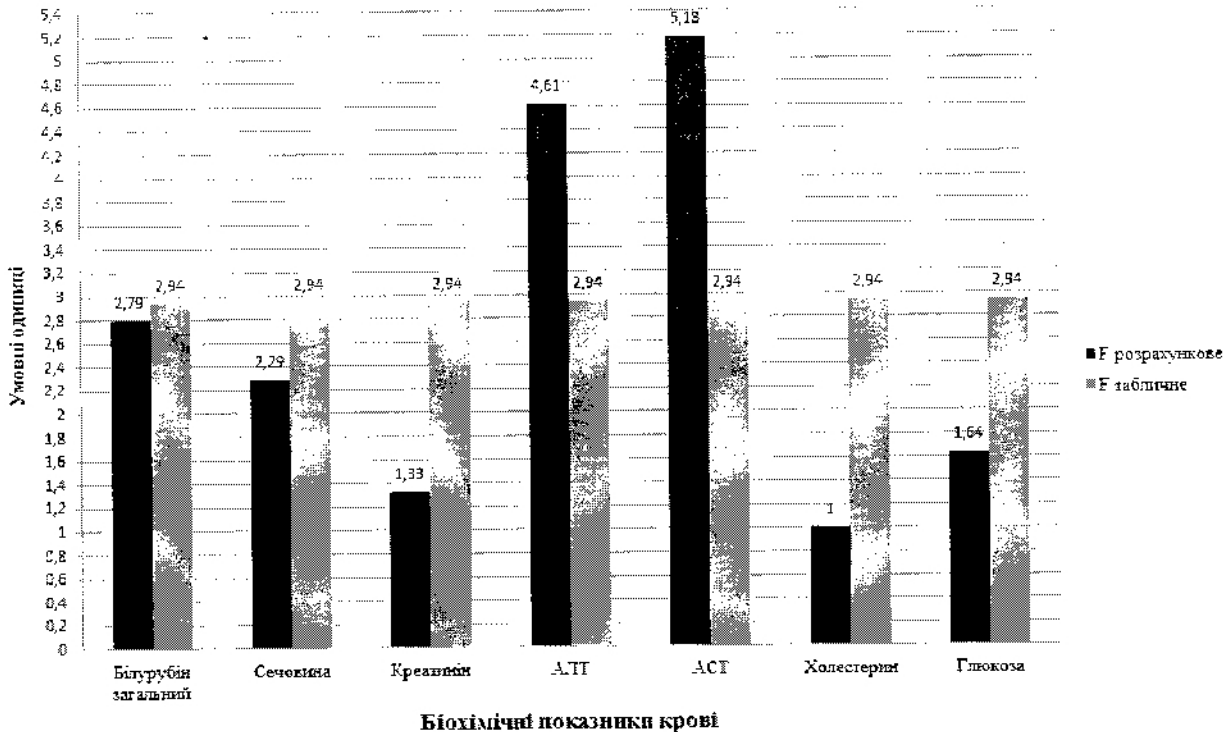


Рис. 3 – Біохімічні показники крові за 22 експедицію

**Статистична обробка даних показників кровонаповнення в судинах мозку**

За зазначеною вище методикою були оброблені показники кровонаповнення судин мозку, що здійснювалося за допомогою реоенцефалографії. Результати обробки подані на рис.4.

Показники	Фронтально-мастоїдальне відведення									
	Ліва півкуля		СКВ		Право півкуля		СКВ		F розрахункове	
	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після
Час розповсюдження пульсової хвилі від серця (Qa)	0,22444444	0,32111111	0,07193568	0,138784405	1,928719026	0,2106667	0,324444444	0,0934	0,13611678	1,457232336
Час швидкого кровонаповнення (α1)	0,04444444	0,04555556	0,0181046	0,008819171	2,052872552	0,0566667	0,043333333	0,04659	0,008660754	3,066228051
Час повільного кровонаповнення (α2)	0,05333333	0,05333333	0,044441	0,032787193	1,355436941	0,0438833	0,055555556	0,0141	0,032829256	2,321388046
Час спуску низхідної частини (β)	0,54555556	0,54555556	0,1558527	0,150692564	1,037045029	0,4488889	0,545555556	0,2488	0,128463136	1,935502538
Швидкість швидкого кровонаповнення (Vш)	1,57222222	1,12	0,8917648	0,327681248	2,72143981	1,3811111	1,063333333	0,7843	0,544127742	1,441871455
Швидкість повільного кровонаповнення (Vп)	1,25111111	1,1877778	0,5387125	0,792461005	1,471027807	1,21	1,268888889	0,5724	0,066754161	1,164889348
Реографічний індекс (РІ)	1,03	0,5311111	0,3345146	0,28457722	1,1718533	1,0688889	0,778888889	0,4135	0,264454865	1,563728764
Дикротичний індекс (ДІ)	29,8577778	28,648889	13,018283	28,35735418	2,178271435	37,294444	17,45111111	21,308	13,03732185	1,634413706
Діастолічний індекс (ДІС)	31,1966667	30,895667	15,592865	27,8043779	1,783144957	37,387778	29,35888889	23,815	13,61934511	1,748592017
Співвідношення "приплив-відтік" (α/Т)	0,28333333	0,1848889	0,2222448	0,065721847	3,361596976	0,186	0,156272722	0,1029	0,057529944	1,788028913

Показники	Окципітно-мастоїдальне відведення									
	Ліва півкуля		СКВ		Право півкуля		СКВ		F розрахункове	
	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після
Час розповсюдження пульсової хвилі від серця (Qa)	0,22444444	0,3177778	0,0750306	0,138724347	1,887313892	0,2577778	0,345555556	0,1049	0,146978834	1,401742221
Час швидкого кровонаповнення (α1)	0,04555556	0,0466667	0,0113029	0,015811888	1,398757212	0,0522222	0,042222222	0,0307	0,012018504	2,55704156
Час повільного кровонаповнення (α2)	0,05333333	0,0755556	0,02	0,042459131	2,122956534	0,1266667	0,062222222	0,2978	0,042360884	5,613727094
Час спуску низхідної частини (β)	0,55	0,5022222	0,2144178	0,105330169	2,03567334	0,4775	0,511111111	0,213	0,166241123	1,2810091
Швидкість швидкого кровонаповнення (Vш)	1,59888889	1,0211111	1,0731897	0,862778136	1,243876781	2,77	1,498888889	3,738	1,657720155	2,254892497
Швидкість повільного кровонаповнення (Vп)	1,47888889	0,79	0,7053801	0,740155123	1,049771513	2,8588889	0,784444444	5,094	0,799921286	16,98434188
Реографічний індекс (РІ)	1,13222222	0,7922222	0,4823841	0,403548326	1,189461514	0,9122222	0,815555556	0,3405	0,397583962	1,167769869
Дикротичний індекс (ДІ)	25,2977778	19,823333	20,764625	17,35409605	1,196484535	26,448889	35,9977778	14,098	23,41207686	1,660718593
Діастолічний індекс (ДІС)	34,9266667	28,567778	23,180775	13,2159011	1,754059473	34,448889	39,35	15,23	31,98253115	2,100379424
Співвідношення "приплив-відтік" (α/Т)	0,16922222	0,1957778	0,0487026	0,053008909	1,088420243	0,1966667	0,176555556	0,1238	0,06385748	1,938901554

Рис. 4 – Статистична обробка даних показників

Реоенцефалографією досліджувалися такі показники: час розповсюдження пульсової хвилі від серця (Qa); час швидкого кровонаповнення (α1); час спуску низхідної частини (β); час повільного кровонаповнення (α2); час швидкого кровонаповнення (Vш); час повільного кровонаповнення (Vп); час швидкого кровонаповнення (Vш); реографічний індекс; дикротичний індекс; діастолічний індекс; співвідношення "приплив-відтік" (α/Т).

На рис. 5 представлені результати обробки, на основі яких можна зробити висновок, що фактори Антарктиди діють на такі показники: час швидкого кровонаповнення в правій півкулі фронтально-мастоїдального відведення (ФМВ), час повільного кровонаповнення в правій півкулі окципітно-мастоїдального відведення (ОМВ) та швидкість повільного кровонаповнення правої півкулі ОМВ. Таким чином, на основі цього, приймається альтернативна (H1) гіпотеза, що дає змогу визначити вплив

антарктичного середовища на психофізіологічні показники зимівників, які можна оцінити за даними кровоповнення судин мозку.

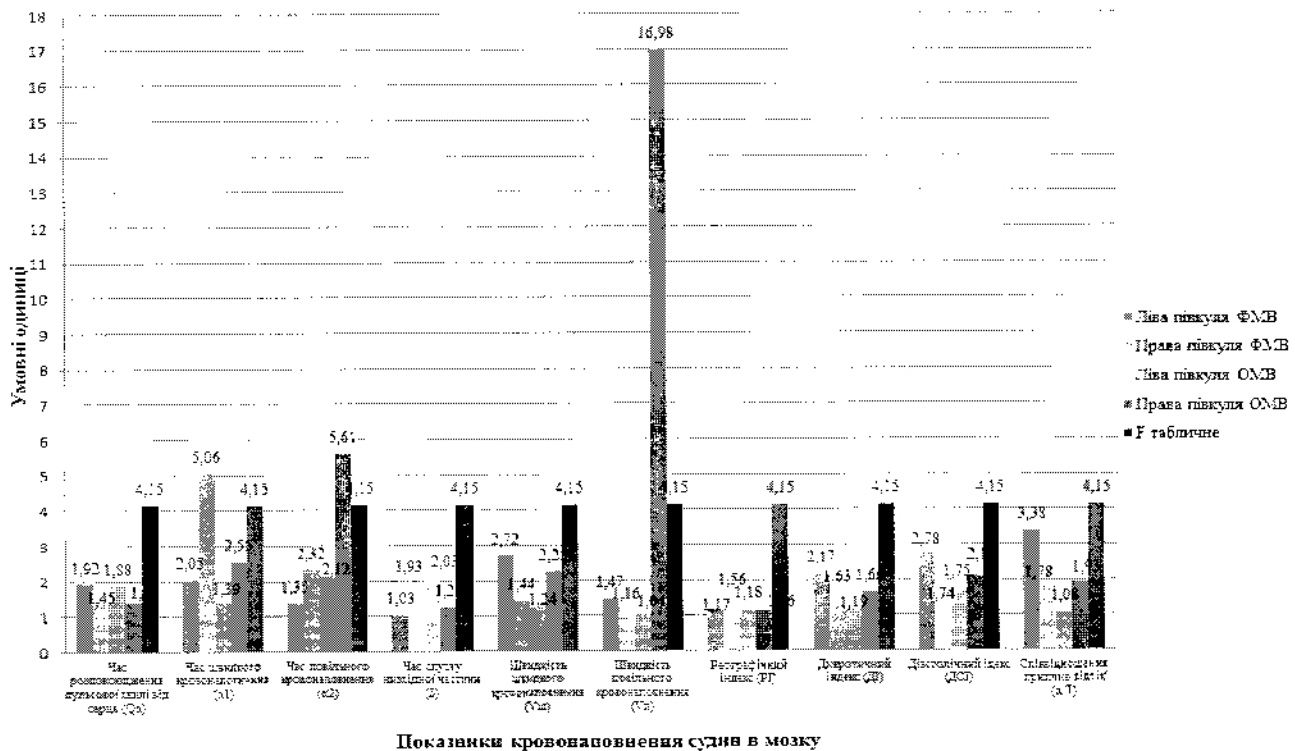


Рис. 5 – Графік кровоповнення судин мозку учасників 22 експедиції

**Статистична обробка даних показників системи дихання**

Результати дослідження показників дихання антарктичних зимівників представлені на рис. 6. Представлені статистичні розрахункові значення, порівнюються із критичними значеннями і на основі цього висувається нульова або альтернативна гіпотеза.

Показник	Критичні значення		СКВ		F-розподілення		Дирекційні відхилення		СКВ		F-розподілення		F-таблиця		
	Др	Пісок	Др	Пісок	Др	Пісок	Др	Пісок	Др	Пісок	Др	Пісок			
Життєва ємність легень	5,1459337	4,918353	0,3346616	0,4396038	3,021363231	5,2205333	5,1941667	0,475059	0,6479963	1,363674283	5,275	5,1983333	0,4934203	0,6342617	1,2851385
Форсована життєва ємність легень	4,8766667	4,7115	0,4068567	0,4156845	1,015963876	3,25	5,17	0,4626799	0,6343644	1,371660258	5,2675	5,1983333	0,4911781	0,6392645	1,26172926
Об'єм форсованого виходу за першу секунду	4,065	3,806667	0,3816166	0,3871663	1,026542856	4,3175	4,1641667	0,3731667	0,5721663	1,354798428	4,32383	4,1941667	0,3916186	0,5872038	1,431809124
Пікова об'ємна швидкість	7,2573333	6,724167	0,8823667	0,5634662	1,582075973	9,8341667	6,5491667	1,1871697	1,5691668	1,270930487	9,455	9,63	1,316641	1,4127526	1,05694308
Максимальна об'ємна швидкість в момент видиху за 75%	3,6841667	3,8475	2,2275167	0,4261482	4,215407127	3,6625	3,7581333	2,4922247	1,2512927	1,99172698	3,88417	3,8683333	2,6346994	1,2495125	2,174128374
Максимальна об'ємна швидкість в момент видиху за 50%	4,2133333	5,033333	1,4227112	0,3907443	4,717833395	3,6716667	4,5641667	1,793349	1,1485867	1,65471634	3,98417	4,3516667	1,7894912	1,12544	1,36962773
Максимальна об'ємна швидкість в момент видиху за 25%	6,674	2,2275	2,0281945	0,3164375	6,909265994	6,9933333	1,8225	2,2944333	2,700779	3,277486471	6,59417	1,8856667	2,3258192	0,780659	0,74829591

Рис. 6 – Статистичний розрахунок даних

Були досліджені такі показники: життєва ємність легень (VC MAX); ємність вдиху (IC); резервний об'єм видиху (ERV); форсована життєва ємність легень (FVC); об'єм форсованого виходу за першу секунду (FEV 1); індекс Генслера (FEV 1)%M; пікова об'ємна швидкість (PEF), l/s; максимальна об'ємна швидкість в момент видиху (MEF 75%); максимальна об'ємна швидкість в момент видиху (MEF 50 %); максимальна об'ємна швидкість в момент видиху (MEF 25 %).

На максимальну об'ємну швидкість в момент видиху 75%, 50%, 25% належних величин та максимальну об'ємну швидкість в момент видиху 25%, отриманих від пацієнта в 2 акті, відбувається дія зовнішніх факторів Антарктиди, тому приймається альтернативна (H<sub>1</sub>) гіпотеза, тобто існує негативний вплив антарктичних умов на дихальну систему учасників експедиції. Результати представлені на рис. 7.

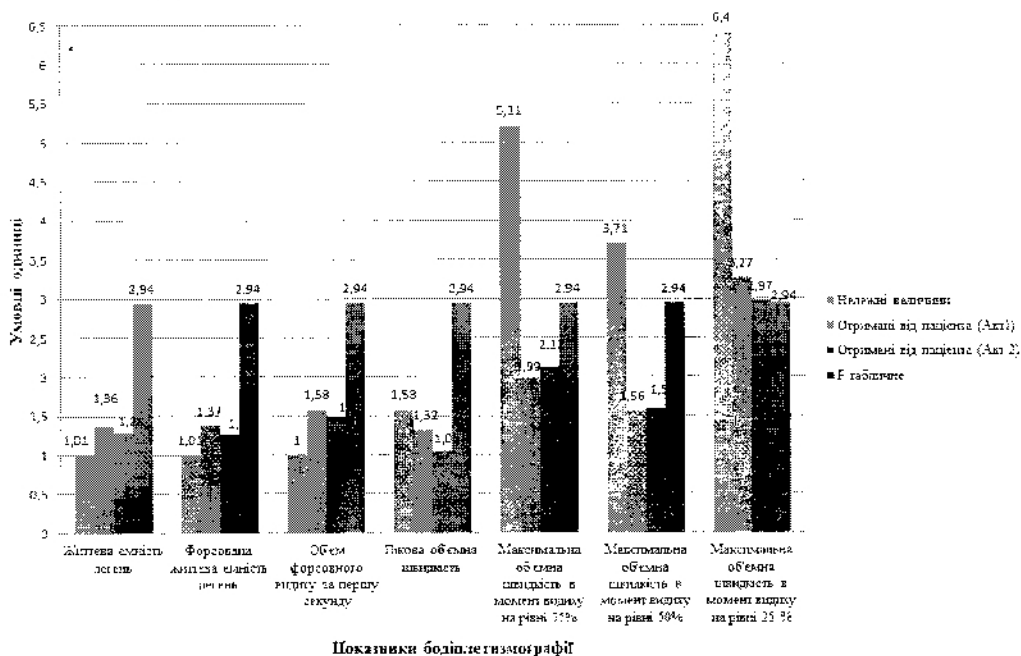


Рис. 7 – Результати обробки показників системи дихання

**Висновки**

В запропонованій роботі був проведений аналіз методів для прогнозування стану організму при дії дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища. У результаті обробки статистичних даних зібраних впродовж антарктичної експедиції встановлено, що стан зимівників нестійкий та рівновага гомеостазу порушується [10]. За математичною статистикою були проаналізовані зміни в показниках крові, системи дихання та кровонаповнення на протязі року перебування в екстремальних умовах професійної діяльності. На основі оброблених даних запропонована модель, що дозволяє оцінити стан зимівників в кожний конкретний момент часу та може бути використана для прогнозування змін рівноваги гомеостазу. Можна зробити висновок, що більшість оброблених результатів мають альтернативну гіпотезу, що свідчить про негативний вплив на гомеостаз зимівників через різні показники. Вихід гомеостазу зимівників зі стану рівноваги негативно позначається на їх працездатність впродовж антарктичної експедиції та потребує ретельної реабілітації та діагностики.

**Список літературних джерел**

1. Ананьев В.Н. Адаптация человека к условиям Крайнего Севера: эколого-физиологические механизмы / В.Н. Ананьев, Н.А. Агаджанян, Н.Ф. Жвавий. — М.: Крук, 1998.
2. Арушения Э.Б. Психоземональное состояние и иммунная система / Э.Б. Арушения., Э.В. Бейер, А.С. Куркина // Проблемы психофизиологии: Межвузовский сборник научных трудов / Ставроп. Гос. Ун-т. М., 2003. — с 151-166.
3. Барышников А.Ю. Иммунологические проблемы апоптоза / А.Ю. Барышников, Ю.В. Шишкин. М.: Эдиториал УРСС, 2002. - 320 с
4. Добродеева Л.К. Влияние природных факторов Севера на эндокринную и иммунную систему организма / Л.К. Добродеева, А.В. Ткачев // Материалы 18 съезда физиологов. Казань, 2001. - С. 509-510.
5. Казначеев В.П. Проблема адаптации человека / В.П. Казначеев, В.М. Стригин. — Новосибирск, 1978. 56 с.
6. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации / В.П. Казначеев. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.- 191 с.
7. Коршунов Г.В. и др. Способ определения функционального состояния системы. Патент РФ № 2109297 кл. О 01Ш 33/86, 1998.
8. Ткачев А.В. Влияние природных факторов Севера на эндокринную систему человека / А.В. Ткачев // Проблемы экологии человека: сб. науч. статей. - Архангельск, 2000. - С. 219-224.
9. Шабалин В.Н., Шатохина С.Н. Способ диагностики состояния гомеостаза организма: патент РФ № 2007716: G 01N 33/48, 1998.
10. Метод оцінювання адаптаційних можливостей організму антарктичних зимівників / М.В. Архирей, А.О. Гнатюк, О.Б. Іванець // Вісник інженерної академії України. – 2018.– №1.– С135-139.