

Медико-фізіологічні дослідження дії на людину екстремальних факторів, асоційованих з травматичним стресовим впливом

Є.В. Моїсєєнко

Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Київ; e-mail: moiseyenkoev@gmail.com

Акцентується увага на актуальності започаткованих у Інституті фізіології ім. О.О. Богомольця наукових досліджень з вивчення гіпоксії та фізіології екстремальної дії на організм надзвичайних факторів середовища. Продовження розробки таких напрямів здійснюється за участю у дослідженнях фахівців екстремальних видів діяльності (водолази, антарктичні зимівники). Результати досліджень поглиблюють уявлення про роль гіпоксії у патогенезі дизадаптаційних розладів внаслідок негативного впливу екстремальних факторів у гіпербаричних та антарктичних умовах. Внаслідок стресової дії комплексу факторів середовища відбуваються зміни на всіх рівнях функціональної організації організму, включаючи психологічну та психоемоційну складові. Наслідки дії гіпербаричного стресу та екстремальних антарктичних умов певним чином моделюють посттравматичні стресові розлади (стресові, неврологічні та метаболічні порушення), що відкриває додаткову можливість вивчати механізми розвитку патології та розробляти технології біорегуляційної корекції порушень психофізіологічного стану.

Ключові слова: гіпоксія; гіпербарія; екстремальні фактори; антарктичні умови; посттравматичні стресові розлади; кисневі режими організму; біорегуляція.

ВСТУП

Сучасне розмаїття екстремальних впливів соціо-еколого-техногенних факторів на людину створює стресові умови життєдіяльності із надлишковим напруженням процесів реалізації адаптаційних резервів організму та наступним розвитком посттравматичних розладів і патологічних станів, лікування і профілактика котрих потребує вирішення проблем визначення патогенетичних механізмів порушень та застосування методів терапії. За визначенням академіка М.М. Сиротиніна (1973) екстремальними називаються умови середовища, в якому діють надзвичайні неадекватні подразники, що здійснюють шкідливий вплив на організм. Зокрема такі умови створюються стресовими факторами воєнного стану,

гіпербаричними чинниками діяльності водолазів, екстремальним середовищем антарктичної зимівлі, штормовим кінетозом на морському транспорті, а також у космічному польоті тощо [1]. Наразі відомо, що провідні патогенетичні механізми розвитку посттравматичного стресового стану внаслідок комплексного впливу екстремальних факторів середовища приховуються у психоемоційній сфері людини і проявляються різними дизадаптаційними порушеннями психологічних та психофізіологічних функцій. Посттравматичні наслідки характеризуються стійкістю до традиційних методів лікування, тривалим перебігом та розвитком ускладнень і інвалідизацією. Дослідження дії екстремальних факторів на людину, що викликають стресові, неврологічні та метаболічні порушення можуть виконуватись

на моделях антарктичного впливу комплексу екстремальних факторів, водолазного гіпербаричного стресу, дії суднових чинників штормовій хитавиці, специфічних аерокосмічних умов, де проявляються ознаки порушень психофізіологічних функцій. Насамперед дизадаптаційні розлади стосуються порушень кисневого забезпечення організму, оскільки стресові стани є киснезалежними, а розвиток гіпоксії ускладнює діяльність функціональних систем і створює умови для різноманітної патології.

Українські науковці вважаються одними із родоначальників вчення про гіпоксію. Великою заслугою засновника української гіпоксичної школи М.М. Сиротиніна було створення класифікації гіпоксичних станів, побудованої за етіопатогенетичним принципом та прийнятою на I Вітчизняній науковій конференції з гіпоксії (Київ, 1948) [2]. А.З. Колчинська запропонувала нову класифікацію, що базується на системному підході до забезпечення кисневого режиму організму (Київ, 1979). До самостійних типів гіпоксії віднесено гіпербаричну, гіпероксичну, гіперметаболічну (гіпоксія фізичного навантаження), а також описано латентну (приховану), компенсовану, субкомпенсовану, декомпенсовану. Механізми розвитку гіпербаричної гіпоксії детально досліджувалися у відділі гіпоксії у 70–80-х роках за участю когорт професійних водолазів та акванавтів. Результати досліджень у галузі гіпербаричної фізіології мали фундаментальне значення для поглибленого вивчення механізмів адаптації до гіпербарії і використовувалися для розробки загальних правил безпеки робіт водолазів [3]. Специфіка фахової діяльності яких полягає у екстремальній дії на організм комплексу стресових факторів середовища підводної гіпербарії: автономна ізоляція, дихання газовими сумішами під високим барометричним тиском, надзвичайні шумові ефекти, фізична дія води, наркотична дія інертних газів тощо.

Такі умови комплексного впливу екстремальних гіпербаричних факторів здатні викликати у людини психоемоційний стрес з наступними порушеннями, котрі можуть бути асоційованими з посттравматичними стресовими розладами, включаючи гіпоксичні стани. Отже, використання гіпербаричного стресу як своєрідної моделі для дослідження механізмів розвитку посттравматичних стресових розладів здатне доповнити можливості у вирішенні проблем подолання негативних наслідків.

Виокремлення латентних форм гіпоксії суттєво збільшило можливість визначення механізмів розвитку патологічних станів ще на доклінічному рівні. У 90-х роках розпочато дослідження латентних модифікацій гіпоксії за умов впливу на людину комплексу антарктичних факторів. Ключова увага була концентрована на виявленні ознак гіпоксичного стану в організмі антарктичних зимівників внаслідок тривалого перебування під дією змінюваних антарктичних чинників. Вирішували проблеми визначення механізмів адаптації людини до тривалого впливу екстремальних факторів антарктичного середовища з прицільним вивченням ролі кисневих режимів організму і розвитку ознак латентної гіпоксії.

Мета нашого дослідження полягала у встановленні проявів адаптаційної дисфункції психофізіологічного стану людини при дії екстремальних факторів, асоційованих з травматичним стресовим впливом, та визначенні напрямів розробки методів корекції порушень.

МЕТОДИКА

Дослідження виконували відповідно до завдань Державної цільової науково-технічної програми досліджень в Антарктиці (Постанова КМУ № 1002) за участю 20 екіпажів (197 чоловіків віком 22–50 років) зимівників на станції «Академік Вернадський». До та після цілорічної антарктичної зимівлі

проходили медичні огляди (терапевт, хірург, невропатолог, дерматолог, офтальмолог, стоматолог), здійснювали загальні аналізи крові, сечі, вивчали показники про- та антиоксидантного балансу, імунної системи, екскреції катехоламінів, ліпідного, протеїнового й вуглеводного метаболізму; електроенцефалографія (ЕЕГ) у фронтальних (F3, F4, F7, F8), центральних (C3, C4), тім'яних (P3, P4), скроневих (T3, T4, T5, T6) і потиличних (O1, O2) проєкціях кори головного мозку відповідно до системи «10–20» за допомогою електроенцефалографа «Expert TM» фірми «Tredex» (Україна); здійснювали психологічне та психофізіологічне тестування; електронно-мікроскопічні дослідження морфофункціональних характеристик мітохондрій за комп'ютерною програмою Image Tool Version 3 (США); метод полімеразно-ланцюгової реакції (ПЛР) на наявність поліморфізму гена гіпоксії індукцйбельного фактора 1 α (HIF-1 α); експрес-аналізи клітинного складу крові на автоматизованому аналізаторі RT-7600S («Auto Hematology Analyzer», Індія); реєстрація показників вентиляції легені та газообміну методом спірографії («BTL-08 Spiro unit Pro», Великобританія) та бодіплетизмографії (MasterScreen Body, «Jaeger», США); функції серцево-судинної системи («RADIOHOLTER», Україна); вимірювання артеріального тиску – automatic oscillometric device (Omron 705CP); газоаналіз крові (мікрогазоаналізатор типу Radelkis); біохімічні дослідження крові – методом “сухої хімії” (Reflotron); вміст у крові тиреотропного гормону, кортизолу та катехоламінів (адреналін, норадреналін) – імуноферментним методом (Фотометричний рідер SUNRISE – Tecan, Austria, автоматичний вошер Elx50 – BioTeck, США). Гіпоксію при фізичній роботі досягали за допомогою велоергометра («Tunturi», Фінляндія). Статистичні розрахунки виконували із залученням критеріїв дисперсійного аналізу (analysis of variance) [4].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У результаті дослідження впливу антарктичних екстремальних факторів на організм людини було помічено, що після перебування протягом року в Антарктиці у зимівників в артеріалізованій крові напруження кисню було дещо зниженим порівняно з вихідними значеннями (на 9%) при несуттєвих змінах киснетранспортних показників червоної крові. При цьому ознак тканинної гіпоксії за показниками кислотно-лужного стану, вмістом лактату, співвідношенням швидкості транспорту кисню артеріальною кров'ю і його споживанням тканинами не виявлено. Проте економічність кисневих режимів організму (КРО) у стані спокою характеризувалась зниженням у респіраторній та гемодинамічній ланках при деякому зростанні показників споживання кисню. Завдяки таким механізмам швидкість доставки кисню кров'ю до тканин не знижується, тканинна гіпоксія не розвивається, а швидкість споживання кисню навіть дещо збільшується, оскільки певна його частина витрачається на підсилення роботи вентиляції і кровотоку. Отже, в організмі зимівників у стані спокою є ознаки дисрегуляції киснетранспортних систем. Дослідження останніх років до і після експедиції при виконанні дозованого фізичного навантаження дало змогу оцінити індивідуальні особливості реакцій респіраторної, гемодинамічної та гемічної ланок регуляції кисневих режимів організму за умов розвитку гіпоксії, що виникає на фоні фізичної роботи. Результати засвідчили адекватність реакцій киснетранспортних систем організму зимівників на стандартизоване фізичне навантаження з характерними віковими зрушеннями. Однак після експедиції у переважної більшості зимівників реєстрували підвищені ступені гіпоксії, яка виникає при стандартному дозуванні потужності фізичного навантаження, з ознаками підсилення вільнорадикальних процесів, підвищенням ступеня артеріальної і венозної

гіпоксемії та розвитком метаболічного ацидозу. Зниження стійкості до гіпоксії навантаження зумовлено індивідуально вираженим зниженням функціональних резервів систем дихання, кровообігу. Наприклад, після експедиції функціональний стан системи кровообігу у переважної більшості зимівників характеризувався погіршенням кардіогемодинамічного забезпечення дозованої фізичної роботи (75% від належного максимального споживання кисню – НМСК), що проявлялось у неадекватно збільшеній частоті серцевих скорочень, зниженні скорочувальної активності міокарда, підвищенні загального периферичного опору тощо [5].

При комплексній оцінці механізмів компенсації гіпоксії, яка розвивається під час виконання дозованого фізичного навантаження, визначено, що після експедиції система кровообігу зимівників функціонувала у режимі підвищеного напруження навіть у стані спокою, а при фізичній роботі її функціональні резерви вичерпувались, в результаті чого неадекватно зростав серцевий викид та зменшувалось напруження кисню у крові. Такі зрушення провокують накопичення в організмі неокиснених продуктів, зниження рН крові, розвиток метаболічного ацидозу та уповільнення транспортування кисню артеріальною і венозною кров'ю, що призводить до відмови виконання тестового фізичного навантаження. Характерно, що означені зрушення відбувались на фоні надлишкових функціональних затрат з боку системи зовнішнього дихання, про що свідчать надмірно високі вентиляційні показники легень (зростання хвилинного та дихального об'ємів). Отже, у результаті прицільного дослідження механізмів регуляції КРО у зимівників після тривалого впливу екстремальних факторів Антарктики відбувались дизадаптаційні зрушення киснетранспортних систем як у стані спокою, так і при виконанні дозованого фізичного навантаження. Це проявлялося дисрегуляцією компенсаторних

реакцій (переважно у респіраторній та гемодинамічній ланках транспортування кисню) при гіпоксичній стимуляції, яка виникає за умов напруженої фізичної роботи. Такі перебудови впливали на стан про- та антиоксидантного балансу, що могло бути причиною процесів його дисрегуляції. Особливості цих змін при тривалому перебуванні людини в Антарктиці полягають у наявності ознак оксидативного стресу внаслідок комплексного впливу на організм екстремальних антарктичних факторів. Виникнення порушень кисневого обміну, вірогідно, відіграє ключову роль у розвитку тканинної гіпоксії та запуску молекулярно-генетичних антигіпоксичних механізмів, котрі можуть залежати від індивідуальних особливостей регуляції кисневих режимів організму. Зниження ефективності функції кардіореспіраторної системи у збереженні кисневого гомеостазу людини після тривалої антарктичної експедиції важко пояснити змінами механізмів системного та органного рівня. Тому дослідження були спрямовані на з'ясування ролі генетичних факторів у порушеннях адаптаційних можливостей систем, що забезпечують доставку кисню у легеневій та серцево-судинній ланці [6, 7].

При генетичних дослідженнях у когорті антарктичних зимівників було виявлено 15% осіб, які відрізнялися поліморфізмом гена HIF-1 α (C1744→T). Такі результати дали змогу порівняти молекулярно-генетичні реакції носіїв алельної варіації з контингентом зимівників без наявності алельного поліморфізму як у стані спокою, так і при гіпоксичній стимуляції (дихання газовою сумішшю з 12% O₂) та виконанні дозованої фізичної роботи на велоергометрі. Рівень експресії мРНК гена HIF-1 α у носіїв C/T-генотипу в стані спокою становив $0,36 \pm 0,25$ ум.од., а у носіїв C/C-генотипу – $0,55 \pm 0,17$ ум.од. Після проведення велоергометричного тестування з досягненням гіпоксії рівень експресії мРНК гена HIF-1 α у носіїв C/T-генотипу сягав $0,45 \pm 0,05$ ум.од., а у носіїв

С/С-генотипу – $0,50 \pm 0,03$ ум.од. Кореляційно-регресійний аналіз зв'язку між рівнем матричної мРНК гена HIF-1 α та генотипом у стані спокою дав змогу встановити тенденцію до прояву негативної залежності: у носіїв Т-алеля рівень експресії мРНК гена HIF-1 α у лейкоцитах периферичної крові знаходився на нижчому рівні, ніж у гомозиготних за С-алелем ($r = -0,45$). Після поєднаної дії гострої гіпоксичної гіпоксії і гіпоксії фізичного навантаження коефіцієнт кореляції між генотипом і рівнем експресії мРНК гена HIF-1 α зростав ($r = -0,53$).

Аналіз множинної кореляційної залежності між показниками функції зовнішнього дихання та кровообігу показав наявність стійкого негативного зв'язку носіїв С/Т-генотипу з динамікою дихального об'єму та позитивною – з частотою дихання та показниками гемодинаміки. Однак гіпоксична стимуляція носіїв С/Т-генотипу призводила до зниження насичення гемоглобіну крові киснем ($82,5 \pm 5,5$ щодо $93,7 \pm 3,3$ мм рт. ст. у носіїв С/С-генотипу). Таким чином, менше вираження компенсаторних реакцій, що направлені на підтримку кисневого гомеостазу, була притаманна носіям С/Т-генотипу порівняно з С/С-генотипом. У результаті у перших ці компенсаторно-приспосовувальні механізми не могли забезпечити належні киснетранспортні можливості, що відобразилось у розвитку артеріальної гіпоксемії.

Дослідження особливостей адаптаційних перебудов в організмі антарктичних зимівників на клітинному рівні за умов наявності алельного поліморфізму гена HIF-1 α виявили істотні відмінності в ультраструктурі тромбоцитів та лімфоцитів саме у осіб з С/С-генотипом: значно збільшувалася кількість δ -гранул, водночас зменшувалася кількість α -гранул і каналців внутрішньої структури. Ці зміни можуть свідчити про збільшення депо серотоніну (стимуляція скорочувальної активності судинної стінки), значне вичерпування

депо АДФ і АТФ (зменшення активності гліколітичних ферментів та зростання напруження функції тромбоцитів), зниження інтенсивності обмінних процесів у клітині. Такі прояви можуть бути ланками включення адаптаційних процесів, спрямованих на формування збалансованого гомеостазу. Ультраструктурні характеристики самих мітохондрій у тромбоцитах осіб з С/С-генотипом у відповідь на гіпоксію підтверджують зростання функціонального напруження. Відмінності ультраструктурних проявів мітохондріального апарату у осіб з С/С- і С/Т-генотипом у відповідь на гіпоксичне навантаження спостерігалися і у лейкоцитах. Отримані результати вказують на те, що алельний поліморфізм гена HIF-1 α впливає на гіпоксично індуковані зміни ультраструктури і функції клітин крові, і такий тип змін може слугувати маркером формування адаптивних реакцій у відповідь на гіпоксичний стимул [7].

Робота людини в Антарктиці пов'язана з впливом на організм унікального набору незвичайних факторів середовища, а тривале перебування на антарктичній станції при повній соціальній ізоляції може порівнюватись з стресовими умовами, що здатні викликати посттравматичні розлади. Тому для якісного оцінювання і контролю порушень стану здоров'я надзвичайно важливими є показники персоніфікованих особливостей реакції організму на стресові впливи (молекулярно-генетичного та клітинного рівня).

Окрім того, дослідження особливостей змін у системі поетапного транспортування кисню в організмі людини з надлишковою масою тіла, що виникла внаслідок тривалого перебування в умовах антарктичної гіподинамії, слугували для визначення стратегії застосування фізичних методів реабілітації. Обстеження виконували до експедиції та після зимівлі, коли маса тіла всіх учасників експедиції закономірно зростала внаслідок впливу і гіподинамії. Для оцінювання

функціонального стану кисневих режимів організму застосовували комплексний метод дослідження ефективності кисневого забезпечення на основі синхронної реєстрації показників зовнішнього дихання, кровообігу, дихальної функції крові та газообміну. Виявлено, що при надмірній масі органи системи кровообігу змушені працювати з підвищеною інтенсивністю і це вимагає суттєвого збільшення ударного об'єму внаслідок підвищення частоти серцевих скорочень. При цьому рівень поглинання кисню виявляється зниженим на 25% порівняно з нормою і свідчить про те, що надмірна маса є загрозою для нормальної роботи серцево-судинної системи оскільки таким чином проявляються ознаки прихованої гіпоксії. Отже, результати дослідження стану кисневих режимів організму у зимівників з надлишковою масою тіла внаслідок тривалої адаптації в екстремальних умовах дають можливість корегувати реабілітаційні фізичні навантаження для таких осіб з урахуванням тимчасового виснаження функції серцево-судинної системи [8].

Виявлені ознаки латентної гіпоксії у зимівників після цілорічного перебування на антарктичній станції віддзеркалюють інтегральний компонент біологічної відповіді на стресову дію низки екстремальних факторів, котрі комплексно впливають залежно від особливостей кліматичних та метеорологічних, геофізичних та фотоперіодичних, деприваційних і побутових умов. Цей набір стресових чинників безумовно включає потужний психоемоційний компонент, а його дія і прояви наслідків можуть порівнюватись з сучасними посттравматичними змінами, виявлення механізмів розвитку котрих є надзвичайно актуальною проблемою. Важливо визначити механізми стресових розладів не тільки при комплексній дії багатьох екстремальних факторів, а і встановити патогенетичні ланцюги розвитку порушень від впливу надзвичайної сили окремих антарктичних чинників з

урахуванням динамічного перебігу адаптації [4].

Відомо, що роль центральної нервової системи у розвитку стрес-реакції є ключовою оскільки провідні патогенетичні механізми посттравматичного стресового стану внаслідок комплексного впливу екстремальних факторів середовища стосуються психоемоційної сфери людини і проявляються різними дизадаптаційними порушеннями психологічних та психофізіологічних функцій [9–11]. Тому після тривалого перебування людини в екстремальних антарктичних умовах насамперед визначалися зміни біоритмики електричної активності кори головного мозку. Загалом вони характеризувалися депресивністю електричної активності на тлі генералізованої десинхронізації основних частотних діапазонів біоритмів з превалюванням дисрегуляторних проявів у проєкціях, що мають відношення до психоемоційних впливів.

Прицільні дослідження перебудов у структурі біоритмічної організації електричної активності кори головного мозку внаслідок стресової дії факторів середовища здійснювали за допомогою електроенцефалографії. У результаті тривалого перебування в Антарктиці у зимівників збільшувалася амплітуда δ -ритму у лобних, скроневих та потиличних проєкціях кори головного мозку обох півкуль (табл. 1).

У діапазоні θ - ритму амплітуда збільшувалася у передньо-скроневих проєкціях кори головного мозку обох півкуль, а також у тім'яних і потиличних проєкціях лівої півкулі (табл. 2). Окрім того, амплітуда α -ритму (з 10,4 до 6,39 мкВ) і β -ритму (з 4,4 до 2,75 мкВ) знижувалась у задньо-скроневій проєкції кори лівої півкулі. Амплітуда височастотного β_2 -ритму зростала переважно в скроневих і тім'яних проєкціях обох півкуль.

Підвищену тривожність пов'язують з тонічним θ -ритмом, однак є також дані і про те, що при підвищеній тривожності в проєкціях правої півкулі посилюється

Таблиця 1. Відмінності показників амплітуди δ - ритму (мкВ) електроенцефалограми (ЕЕГ) у зимівників до та після експедиції

Відведення ЕЕГ	До експедиції	Після експедиції	P
F3	4,86 $\pm$ 0,30	8,09 $\pm$ 1,65	0,041313
F4	4,87 $\pm$ 0,27	8,90 $\pm$ 2,13	0,049173
F7	4,16 $\pm$ 0,26	8,09 $\pm$ 1,85	0,031989
F8	4,03 $\pm$ 0,26	8,14 $\pm$ 2,42	0,110791
T3	4,15 $\pm$ 0,49	7,98 $\pm$ 1,94	0,044026
T4	4,11 $\pm$ 0,28	8,90 $\pm$ 2,62	0,047743
C3	3,76 $\pm$ 0,24	7,07 $\pm$ 1,96	0,113106
C4	3,68 $\pm$ 0,25	7,78 $\pm$ 2,57	0,131129
T5	4,84 $\pm$ 0,37	7,84 $\pm$ 2,14	0,186612
T6	4,88 $\pm$ 0,25	9,52 $\pm$ 2,66	0,101492
P3	5,27 $\pm$ 0,50	8,76 $\pm$ 2,02	0,113506
P4	5,30 $\pm$ 0,33	9,54 $\pm$ 2,53	0,116437
O1	6,12 $\pm$ 0,25	11,69 $\pm$ 2,26	0,026305
O2	6,70 $\pm$ 0,56	10,24 $\pm$ 1,44	0,035701

активність не тільки θ - але й β -ритму [1, 11]. Посилення активності β_2 -ритму пов'язують з стресовим станом, розвитком різних вегетативних зрушень. Показані також зміни у структурі ритмів ЕЕГ, що характерні саме для негативного емоційного реагування з

залученням когнітивної оцінки емоційно забарвленої інформації. Критерієм спільності реагування ритмів ЕЕГ антарктичних зимівників служили підвищені значення коефіцієнта десинхронізації в лобних і скроневих проєкціях кори головного мозку

Таблиця 2. Відмінності показників амплітуди θ -ритму (мкВ) електроенцефалограми (ЕЕГ) у антарктичних зимівників до та після експедиції

Відведення ЕЕГ	До експедиції	Після експедиції	P
F3	5,16 $\pm$ 0,49	6,50 $\pm$ 0,85	0,190475
F4	5,33 $\pm$ 0,48	6,76 $\pm$ 1,12	0,257384
F7	4,30 $\pm$ 0,41	6,27 $\pm$ 1,09	0,111298
F8	4,13 $\pm$ 0,34	6,06 $\pm$ 1,24	0,151331
T3	4,00 $\pm$ 0,35	5,98 $\pm$ 1,00	0,041098
T4	4,00 $\pm$ 0,33	6,69 $\pm$ 1,40	0,039153
C3	3,96 $\pm$ 0,36	5,46 $\pm$ 1,10	0,212253
C4	3,86 $\pm$ 0,28	5,85 $\pm$ 1,39	0,176198
T5	5,35 $\pm$ 0,59	5,65 $\pm$ 1,13	0,812932
T6	5,36 $\pm$ 0,50	7,63 $\pm$ 1,46	0,158658
P3	5,49 $\pm$ 0,42	7,65 $\pm$ 1,13	0,049816
P4	5,81 $\pm$ 0,58	8,01 $\pm$ 1,28	0,136661
O1	6,85 $\pm$ 0,56	9,95 $\pm$ 1,46	0,045489
O2	7,20 $\pm$ 0,77	9,21 $\pm$ 1,36	0,218008

при порівнянні реакції на нейтральні і емоційно забарвлені візуальні стимули. Таким чином, особливості багатофакторного впливу на людину умов тривалого перебування в Антарктиці характеризувались їх комплексною дією та надзвичайною мінливістю у часі, що призводило до виникнення стресового стану та розвитку дисрегуляційних і дизадаптаційних порушень функціональних систем. При цьому початковою ланкою патогенетичного ланцюга очевидно були дисрегуляційні зрушення інтеграційних систем регуляції. Результатом могли бути порушення з боку психічних і психофізіологічних функцій [12].

В умовах цілорічної антарктичної експедиції на організм людини впливає низка біоритмогенно значимих факторів (інверсія сезонів, змінена фотоперіодика середовища, особливості геліогеофізичних явищ тощо) здатних призводити до розладів нормальної добової ритмічності стану бадьорості та сну. Такі порушення характеризуються психогенним станом з емоційно зумовленим порушенням якості, тривалості чи ритму сну, що асоціюється з симптоматикою посттравматичного стресового розладу. Згідно з даними профільних публікацій, порушення сну посилюються в антарктичну зиму у період ізоляції та постійної темряви (залежно від широти) [1, 4]. Це підтверджують результати досліджень на антарктичній станції «Академік Вернадський». Було встановлено найбільше скарг на стан гіперсомнії саме взимку (близько 90% зимівників) і безсоння – у період антарктичного літа (близько 90% зимівників). Однак для досконалого вивчення причинно-наслідкових взаємозв'язків і механізмів розвитку порушень слід збільшити обсяги медикобіологічної інформації стосовно розладів циркадної організації функціональних систем організму. Для встановлення особливостей регуляційних впливів на зміни циркадної архітекτονіки показників функціональних систем організму людини в Антарктиці були проведені пі-

лотні дослідження циркадної організації показників температури тіла. Отримані результати добової реєстрації температури тіла з самого початку перебування в антарктичних умовах засвідчили ознаки спотворення циркадного ритму, котрі характеризувались зсувом вищих значень температури на нічний час та чередування акрофаз зростання і зниження протягом світлового дня. Антарктичною осінню температура тіла вночі не знижувалась. Акрофаза мінімуму зсувалась на 8-му годину ранку з наступним її підвищенням, але вже на 16-ту годину проявлялась тенденція до зменшення. Взимку спостерігалася синусоїдна динаміка періодів зниження та зростання температури тіла зимівників (приблизно кожні 4 год) протягом доби, що вірогідно відображало наявність суттєвих зрушень з боку механізмів гуморальної регуляції. Навесні циркадна архітектоніка температури тіла дещо вирівнювалась, але тривалість пониженого рівня залишалася зсунутою на вранішні години. Влітку стан циркадної ритміки температури тіла погіршувався, що призводило до відсутності достовірних змін температури тіла навіть вночі, коли зимівникам потрібний повноцінний відпочинок. При цьому температура тіла короткостроково знижувалася вранці, протягом більшої частини доби утримувалася на однаковому рівні. Встановлені зміни у циркадній архітектоніці температури тіла зимівників може бути опосередкованим свідченням суттєвих зрушень у гуморальній регуляційній ланці, які відбуваються під впливом біоритмогенних факторів (інверсія сезонів, зміна фотоперіодики і часового поясу, добові чергування і монохроматичність середовища), що свідчить про наявність десинхронозних і дизадаптаційних розладів [4].

Наразі відомо, що провідні патогенетичні механізми розвитку численних невротичних станів, а також наслідків посттравматичного стресового стану, пов'язані з психоемоційним

станом людини і проявляються різними дизадаптаційними порушеннями психологічних та психофізіологічних функцій. Сучасні наукові розробки здебільшого стосуються вивчення феноменологічних явищ і не мають обґрунтованого виходу у практичну медицину. Тому вирішення проблем адекватного лікування та діагностики потребує нових наукових підходів до оцінювання психофізіологічного стану на основі створення сучасних програмних біомедикоінженерних технологій діагностики. Для вирішення означених проблем виявилися перспективними багаторічні розробки неінвазивного визначення психофізіології персоніфікованих поліхромних преференцій [12]. Технологія базується на здатності людини до психоемоційного сприйняття кольорових спектрів залежно від поточного психофізіологічного статусу. Така технологія отримала розвиток у напрямку, не тільки неінвазивної діагностики, а і у корекції порушень психофізіологічного статусу індивіда, що базується на керованій поліхромній преференції з урахуванням особистісних психофізіологічних характеристик. Можливості поліхромної біорегуляційної технології дають змогу корегувати і відновлювати порушення психофізіологічного стану, що виникають у результаті стресового стану і його наслідків. Логічно припустити, що кольорові впливи повинні підбиратися індивідуально для кожної людини і змінюватися залежно від поточного функціонального стану. Одним з найбільш привабливих методів корекції порушень психофізіологічного стану людини, що відповідає такому положенню, є метод преференційного сприйняття кольорів з використанням принципу біологічного зворотного зв'язку. Як об'єкт вольового управління можуть бути задіяні характеристики потужності біоритмів головного мозку. Сутність методики полягає у проведенні сеансів кольорової біорегуляції, спрямованих на зміну співвідношення потужності α - і θ -ритмів.

ВИСНОВКИ

Визначені розлади психофізіологічного стану людини під впливом екстремальних факторів середовища, у поєднанні зі змінами на багаторівневих етапах кисневого забезпечення організму (включаючи субклітинні та генетично-молекулярні рівні), засвідчують формування наслідкових ознак стресового стану. Концентрація уваги досліджень у цьому напрямі стосується прицільного вивчення динамічних особливостей розвитку стресового стану, механізмів адаптаційних перебудов, залежності зрушень від дії складових комплексного набору надзвичайних факторів та персоніфікованої протективної здатності на фоні мітохондріальної відповіді і метаболічного синдрому при розладах, асоційованих з посттравматичними порушеннями і гіпоксією. Перспективними є дослідження з удосконалення та визначення реабілітаційної ефективності технології програмно-апаратного управління психоемоційним станом за допомогою особистісної авторегуляції преференційного сприйняття поліхромних гармоній по інформаційній сигналізації динамічних перебудов ритмів електричної активності головного мозку. Отже, одним із варіантів моделі для дослідження дії екстремальних факторів на людину та їх наслідків, асоційованих з посттравматичними розладами (стресові, неврологічні та метаболічні порушення), можуть слугувати надзвичайні умови тривалого впливу екстремальних антарктичних факторів, внаслідок чого проявляються порушення психофізіологічних функцій.

The author of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

Ye.V. Moiseyenko

MEDICAL-PHYSIOLOGICAL STUDIES OF THE EFFECT ON HUMANS OF EXTREME FACTORS ASSOCIATED WITH TRAUMATIC STRESS IMPACT

*Bogomoletz Institute of Physiology, NAS of Ukraine, Kyiv;
e-mail: moiseyenkov@gmail.com*

Attention is focused on the current relevance of scientific research initiated at the O.O. Bogomolets Institute of Physiology on the study of hypoxia and the physiology of extreme effects of environmental factors on the body. The continuation of the development of such areas is carried out with the participation of specialists in extreme activities (divers, Antarctic winterers). The results of the research deepen the understanding of the role of hypoxia in the pathogenesis of maladaptive disorders due to the negative impact of extreme factors in hyperbaric and Antarctic conditions. As a result of the stressful effect of a complex of environmental factors, changes occur at all levels of the functional organization of the body, including the psychological and psycho-emotional components. The consequences of hyperbaric stress and extreme Antarctic conditions, in a certain way, model post-traumatic stress disorders (stress, neurological and metabolic disorders), which opens up an additional opportunity to study the mechanisms of pathology development and develop technologies for bioregulatory correction of psychophysiological disorders.

Key words: hypoxia; hyperbaria; extreme factors; Antarctic conditions; post-traumatic stress disorder; oxygen regimes of the body; bioregulation.

REFERENCES

1. Tortello C, Barbarito M, Cuiuli J, Golombek D, Vigo D, Plano S. Psychological adaptation to extreme environments: Antarctica as a space analogue. *J Psychol Behav Sci Int.* 2018;9 (4):555768.
2. Kordyum E. Space biology and medicine in Ukraine: history and prospects. *Sci Science.* 2016;1:81-110. [Ukrainian].
3. Trinka IS, Moiseyenko YV. Actual aspects of hyperbaric physiology and medico-biological effects of inert gases. *J Military Med.* 2023;3(4):49-62. [Ukrainian].
4. Moiseyenko Y, Sukhorukov V, Pyshnov G, Mankovska I, Rozova K, Miroshnychenko O, Kovalevska O, Madjar S, Bubnov R, Gorbach A, Danylenko K, Moiseyenko O. Antarctica challenges the new horizons in predictive, preventive, personalized medicine: Preliminary results and attractive hypothesis for multi-disciplinary prospective studies in the Ukrainian 'Akademik Vernadsky' Station. *J EPMA.* 2016;7(1):1-19.
5. Pandikidis NI, Zhubrikova LA, Kolesnikova OV. Features of adaptation of cardiohemodynamics indices of medical students to physical exertion. *J Med Biol Sport.* 2017;4(2):87-93. [Ukrainian].
6. Semenza G. O₂-regulated gene expression: transcriptional control of cardiorespiratory physiology by HIF-1. *J Appl Physiol.* 2004;96(3):1173-7.
7. Serebrovska T, Korkushko O, Shatylo V. Individual features of human adaptation to periodic hypoxia: Search for possible genetic mechanisms. *Fiziol Zh.* 2007;53(2):16-24. [Ukrainian].
8. Radziejowska M, Moiseyenko Y, Radziejowski P. Oxygen supply system management in an overweight adult after 12 months in Antarctica. *J Environ Res Publ Health.* 2021;18:4077.
9. Vadzyuk S, Sas B, Ratynska O, Tkachuk S. Features of psycho-emotional state in people with different stress resistance. *Fiziol Zh.* 2022;68 (2):92-7.
10. Kravchuk V, Pyshnov G, Pashkovsky S, Jena O. Comparative characteristics of psychophysiological functions of military and civilian pilots. *Fiziol Zh.* 2021;67(4):105-12.
11. Li Z, Zhao L, Chang J, Li W, Yang M, Li C, Wang R, Ji L. EEG-based evaluation of motion sickness and reducing sensory conflict in a simulated autonomous driving environment. *Proceedings of the 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC); 2022 11 Jul; UK. Glasgow, 2022.*
12. Magyar Á, Kovalevska O, Moiseyenko Y, Movchan V. The use of innovative technology «Biocolor» in therapeutic gardening for the correction of the human psychophysiological state: textbook. Kyiv: Open International University of Human Development «Ukraine» 2025. [Ukrainian].

*Матеріал надійшов
до редакції 18.02.2025*