

Є.В. Моїсеєнко

Дослідження впливу екологічних факторів Антарктики на здатність людини до адаптації

Вивчали вплив геліогеофізичних антарктичних чинників на організм людини. Встановлено, що природні електромагнітні хвилі з частотним спектром, ідентичним біоритму людського мозку, прямо впливають на електричну діяльність як реакція синхронізації. Показано, що реакції системи кровообігу людини в Антарктиці тісно пов'язані зі змінами показників барометричного тиску і вологості, мають гіпоксичне походження і залежать від поліморфізму гена HIF-1α. Вивчення негативного впливу на організм екологічних умов за відсутності чинників техногенного походження сприяє розробці нових технологій профілактики захворюваності і збереження працездатності людини як в екстремальних умовах, так і при сучасному статусі екологічного оточення.

Ключові слова: антарктичні умови, гіпоксія, поліморфізм гена, екстремальні умови, біологічні ритми.

ВСТУП

Вирішення проблеми адаптації та збереження фізичного здоров'я і працездатності людини при фаховій діяльності в змінених екологічних умовах тісно пов'язане з дослідженнями фізіологічних механізмів біологічної відповіді організму на вплив факторів надзвичайної сили [1, 5, 7–11]. Мінливість спектра і потужності факторів навколишнього середовища (природних і техногенних), які негативно діють на організм людини здатні викликати порушення адаптації, розвиток патологічних станів і поширення захворюваності [6]. Комплексність такої дії на людину створює суттєві проблеми у вивченні селективності біологічної відповіді. Така ситуація ускладнює повноцінність розкриття механізмів розладів функції систем організму під впливом екологічних чинників, внаслідок чого ефективність профілактичних заходів залишається на низькому рівні. Тому у вільних від техногенних впливів антарктичних умовах доцільні дослідження реакцій функціональних систем людини на дію природних факторів середовища, результати яких дають

зможу окреслити шляхи вивчення механізмів біологічної відповіді та розробки технологій збереження здоров'я людини.

Мета роботи – встановити особливості реакцій функціональних систем організму людини на дію надзвичайної сили екологічних чинників Антарктики, визначити перспективні напрямки вивчення фундаментальних механізмів біологічної відповіді на їхні стимулювальні впливи та розробити нові технології захисту і збереження адаптаційної здатності людини при перебуванні в екстремальних умовах.

МЕТОДИКА

Дослідження проведені на українській антарктичній станції «Академік Вернадський». Вона розташована на острові Галіндез архіпелагу Аргентинські острови Антарктичного півострова. Географічні координати: 65°15' південної широти і 64°16' західної довготи (рис. 1).

Станція є сучасною науковою лабораторією з надійними технічними системами життєзабезпечення та побутовими умовами, що виключає можливість переохолодження, голодування, припинення енергопостачання.

Ротація екіпажу можлива лише антарктичним літом (січень–березень), коли відкриваються морські підходи до станції. Довкілля характеризується одноманітністю, ахроматичністю, природною “стерильністю”, відсутністю впливів техногенного походження. Фізичні параметри екологічних чинників суттєво відрізняються від середньоєвропейських (рис. 2).

Застосовували методику комплексного обстеження зимівників (95 чоловіків віком від 25 до 45 років) і моніторингу показників функцій організму під час тривалої експедиції. Електричну активність головного мозку реєстрували методом електроенцефалографії (ЕЕГ) за допомогою телемедицини системи DX-Expert фірми «TREDEX» (Україна). Психологічний стан оцінювали тестуванням (Люшера, Спілбергера, Гамільтона тощо). Показники функції зовнішнього дихання (дихальний об’єм, життєва ємність легень, частота дихання, легенева вентиляція, прохідність дихальних шляхів,

дифузійна здатність легень) вимірювали методами бодіплетизмографії (JAEGER) та спірометрії (поліаналізатор ПА5-02). Показники функції кровообігу реєстрували методами електрокардіографії, ритмокардіографії (“RADIONOLTER”, Україна), ехокардіографії (поліграф АПКГ4-01). Артеріальний тиск вимірювався за методом Короткова (тонометр фірми «Omron»). Резерви функції кровообігу оцінювали при виконанні тестової фізичної роботи на велоергометрі з синхронною реєстрацією ЕКГ, артеріального тиску, кислотно-лужного стану крові (мікрогазоаналізатор Radelkis, Угорщина).

На станції щомісячно у зимівників проводили добовий моніторинг температури тіла, серцевого ритму та артеріального тиску. За такими показниками визначали добову архітектоніку їхніх значень (середньодобовий рівень, акрофаза максимуму, акрофаза мінімуму). Проводили генетичні аналізи на наявність алейного поліморфізму гена



Рис. 1. Наукові станції Антарктики

НІF-1 α з використанням методів полімеразної ланцюгової реакції, рестрикції та візуалізації в агарозному гелі. Окрім того, для визначення динаміки індивідуального рівня радіаційного забруднення організму до та після експедиції зимівників обстежували за допомогою лічильника випромінювання людини (Науковий центр радіаційної медицини АМН України, лабораторія лічильників випромінювання людини). Обстеження учасників експедиції проводили до початку експедиції, на антарктичній станції (із застосуванням телемедицини технологій), після повернення з експедиції.

На антарктичній станції одночасно з реєстрацією медико-біологічних показників виконували моніторинг фізичних чинників довкілля. Геліо-геофізичні та метеорологічні показники постійно реєстрували за допомогою сучасного обладнання. Використовували методики магнітометрії, озонетрії (за Добсоном), автоматичної реєстрації барометричного тиску, вологості, температури повітря, різночастотної променевої енергії тощо). Моніторингові дослідження виконуються фахівцями фізиками і метеорологами станції “Академік Вернадський”. Результати

медико-біологічних і метео-геліо-геофізичних досліджень зберігаються в електронному вигляді, підлягають оперативному аналізу, статистичній обробці із залученням математичного моделювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Першочергова увага зосереджувалася на впливі наднизькочастотного спектра глобальної променевої енергії, оскільки частотні характеристики так званих «шумановських резонансів» збігаються із основними біоритмами електричної активності головного мозку людини [6]. Подібний спектр частоти електромагнітних коливань за межами Антарктики може генеруватися джерелами техногенного походження, однак вивчення біологічної відповіді на таку стимуляцію знаходиться на початковому етапі. Показано, що дистанційна стимуляція наднизькочастотними електромагнітними імпульсами призводить до розвитку короткочасної генералізованої реакції активації ритмів головного мозку людини, що може негативно відобразитися на центральних механізмах регуляції (рис.

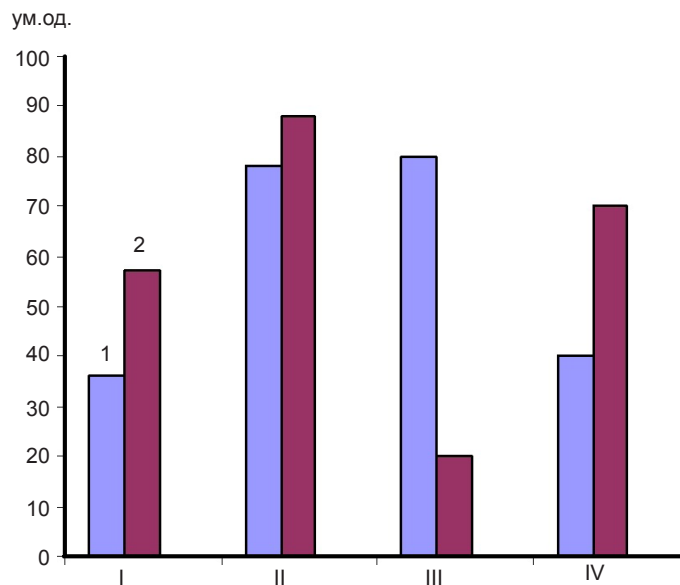


Рис. 2. Особливості показників зовнішнього середовища в Антарктиці: I – добові перепади барометричного тиску, II – середньорічна вологість, III – річна тривалість сонячного світіння, IV – середньорічний рівень інфразвукового фону; 1 – в Україні, 2 – в Антарктиці

3). А застосування тренувальних сеансів дистанційної дозованої стимуляції штучним спектром магнітного поля викликає активацію неспецифічних механізмів адаптації людини до надзвичайних умов, а також сприяє відновленню зрушень церебрального електрогенезу при певних клінічних формах неврологічної патології [2, 3, 6].

Дослідження впливу на організм людини метеорологічних факторів виявили, що показники діяльності серця залежали від змін атмосферного тиску і вологості повітря навколишнього середовища. Швидке зниження атмосферного тиску (на фоні високої вологості) завжди супроводжується зменшенням парціального тиску кисню, що вказує на гіпоксичну природу механізмів впливу на роботу серця при різких перепадах барометричного тиску (характерних для умов Антарктики). З іншого боку, пряма кореляційна залежність загального судинного опору та змін атмосферного тиску свідчать про

можливу стимуляцію вазоконстрикторних механізмів при зміні барометричного тиску, що також є ознакою гіпоксичного впливу (таблиця). Враховуючи вірогідність впливу гіпоксії, вивчали молекулярно-генетичні механізми адаптаційних реакцій антарктичних зимівників [12]. Встановлено, що у осіб з гетерозиготним генотипом HIF-1 α (C/T-генотип) виникають більш сприятливі умови для розвитку порушень адаптації, особливо для механізмів регуляції кисневих режимів організму. При тривалому перебуванні в антарктичних умовах у зимівників з C/T-генотипом функціональне напруження у системі кровообігу було більш виражене і сприяло швидшому виснаженню функціональних резервів. Такі особливості були виявлені під час тестового виконання тяжкої фізичної роботи, що дало змогу визначити зниження рівня ефективності гемодинамічної ланки транспорту кисню. Знання молекулярно-генетичних аспектів походження дизадаптацій-

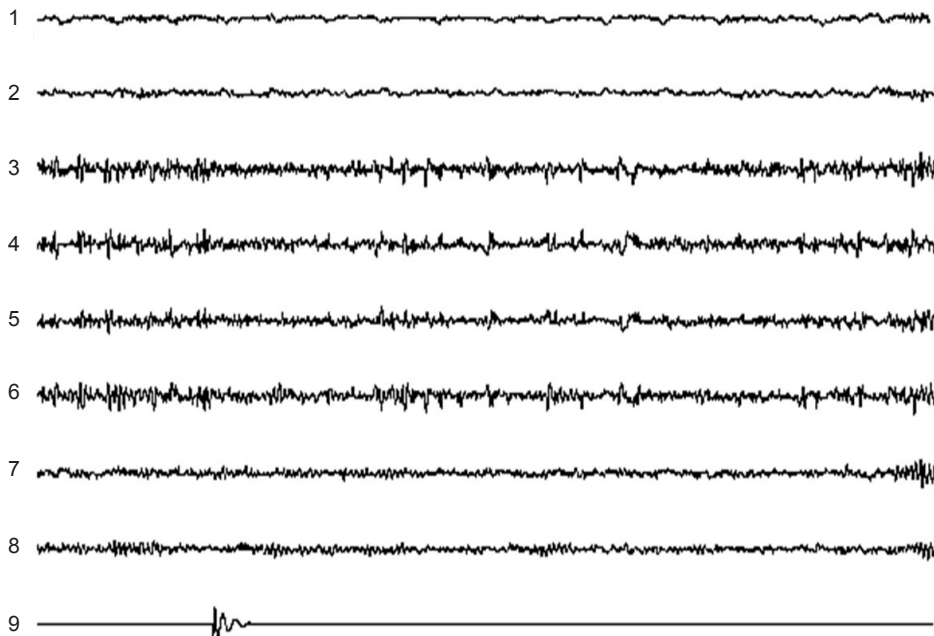


Рис. 3. Реакція електричної активності головного мозку людини на електромагнітний стимул [6]: 1 – фронтальне відведення лівої гемісфери, 2 – фронтальне відведення правої гемісфери, 3 – тім'яне відведення лівої гемісфери, 4 – тім'яне відведення правої гемісфери, 5 – потиличне відведення лівої гемісфери, 6 – потиличне відведення правої гемісфери, 7 – темпоральне відведення лівої гемісфери, 8 – темпоральне відведення правої гемісфери, 9 – штучний електромагнітний імпульс; калібрівка 100 мВ/15с

них перебудов може бути певним напрямком у розробці генетичних і фармакологічних методів для підсилення або модифікування адаптаційної здатності організму. Однак, показано, що застосування технології попереднього тренування зимівників до гіпоксичної стимуляції (виконання фізичної роботи субмаксимального рівня, дихання повітрям зі зниженим до 10 % вмістом кисню) призводить до оптимізації механізмів компенсації. Тренувальна дія реалізується внаслідок підвищення ефективності механізмів регуляції транспорту кисню на рівні легень (зростання дифузійної здатності), кровообігу (посилення скоротливої функції міокарда) та крові (збільшення кисневої ємності). Гіпоксична стимуляція супроводжується закономірним зниження насичення гемоглобіну артеріальної крові киснем. Після тренування підвищується ефективність діяльності компенсаторних механізмів.

Результати пілотних досліджень впливу традиційного для Антарктики рівня інфразвукового оточення на гемодинамічну ланку регуляції кисневого режиму організму не виявили тісних кореляційних залежностей. Однак випадки пікових підвищень середніх значень

потужності інфразвуку до граничних значень шкідливості впливу не виключають ролі інфразвукового фону довкілля у порушеннях адаптації (рис. 4). Тому у прогнозовані періоди підвищення потужності інфразвуку у регіоні станції доцільний посилений контроль реакцій серцево-судинної системи та психофізіологічних функцій зимівників, а необхідність подальших досліджень у цьому напрямку на антарктичній станції не викликає сумніву.

Наступним екологічним чинником є монохромність середовища Антарктики та зміна фотоперіодики у бік зменшення світлового часу, що викликає певні порушення психоемоційного статусу людини (афективні розлади у зимовий період спостерігаються і за межами Антарктики). Показано, що порушення психофізіологічного стану антарктичних зимівників відбуваються саме у сезонні періоди найбільшого дефіциту природного кольорового розмаїття та сонячного світіння (антарктична зима). Тому як профілактичний засіб було розроблено технологію неінвазивної корекції порушень психофізіологічного стану, що базується на ефектах кольорової преференції людини [4]. В умовах тривалої природної кольорової депривації досліджені

Кореляційні залежності показників функції кровообігу людини та екологічних чинників в Антарктиці

Показник	К-індекс (показник магнітного поля)	Вміст озону	Атмос- ферний тиск	Воло- гість повітря	Індекс напру- ження міокар- да	Хви- линний об'єм крові	Сер- цевий індекс	Загаль- ний су- динний опір
К-індекс (показник магнітного поля)	1							
Вміст озону, ум.од.	0,896	1						
Атмосферний тиск, гПа	-0,169	-0,477	1					
Вологість, повітря, %	0,691	0,593	0,398	1				
Індекс напруження міокарда, ум.од.	-0,157	0,225	-0,935	-0,546	1			
Хвилинний об'єм крові, хв ⁻¹	-0,225	0,096	-0,919	-0,701	0,973	1		
Серцевий індекс, ум.од.	-0,225	0,096	-0,919	-0,701	0,973	1	1	
Загальний судинний опір, ум.од.	0,222	-0,103	0,921	0,694	-0,975	-1	-0,999	1

механізми відновлення порушених функцій, що проявлялося поліпшенням самопочуття (зниження тривожності, підвищення настрою, самопочуття), нормалізацією вегетативної регуляції (відновлення збалансованості вегетативної регуляції серцевого ритму), біоритміки головного мозку (зростання потужності спектра α -ритму ЕЕГ). Окрім того, показано, що стимуляція рецепторів зору людини окремими кольорами проявляється характерними змінами потужностей основних ритмів ЕЕГ (α , β , δ , θ). Така залежність дала змогу розробити біорегуляційну технологію на основі принципу зворотного біологічного зв'язку. Методика може використовуватись як засіб відновлення порушень психофізіологічних функцій в ситуаціях постійного впливу на людину стресових факторів, а також як складова частина лікувальних, профілактичних, реабілітаційних програм [4].

Під впливом змінених біоритмологічних факторів (інверсія сезонів, фотоперіодика, монохромність, часовий пояс) у членів екі-

пажу антарктичної станції виявлені суттєві зрушення структури циркадної архітектоники температури тіла (опосередкований показник зрушень у гуморальній ланці регуляції біоритму). Особливо це проявилось у періоди незвичайної фотоперіодики (взимку та влітку), а також на початковому етапі адаптації до умов Антарктики (рис. 5). Такі зрушення є свідченням наявності десинхронозних розладів і потребують розробки ефективних засобів корекції.

Після зимівлі в Антарктиці організм учасників експедиції повністю вивільнюється від радіонуклідів цезію, які були у них до експедиції. Такий стан утримується деякий час після повернення в Україну. Цікавим виявляється той факт, що особливості функціонування організму за умов тривалого радіаційного забруднення ще не достатньо вивчені, а як впливає ситуація повного вивільнення від радіонуклідів на стан функціональних систем – зовсім невідомо. Після повернення зимівників із Антарктики, їх організм деадаптується і при звичних умовах швидко отримує

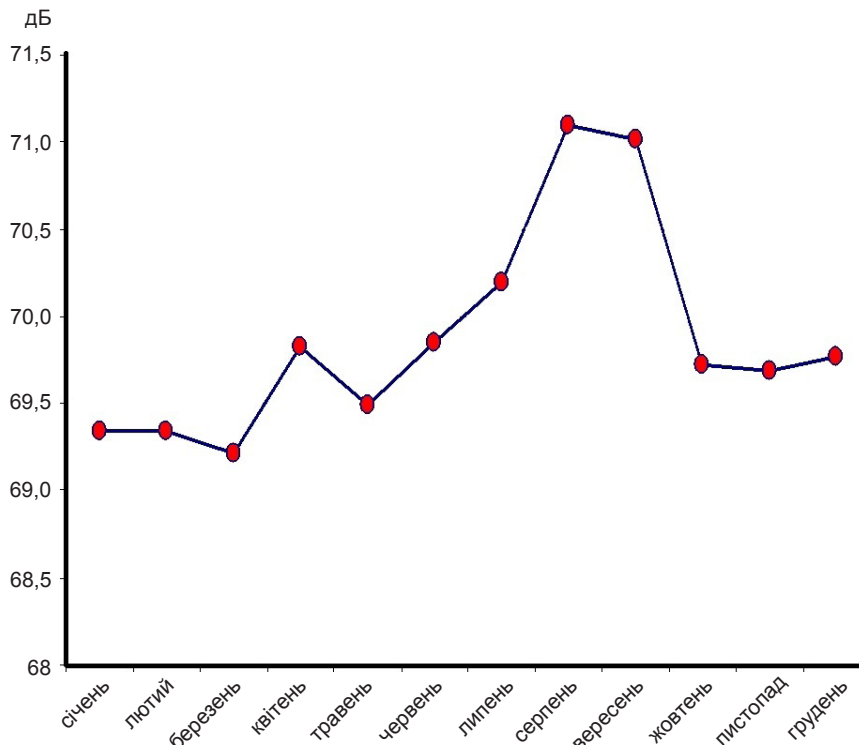


Рис. 4. Прогнозовані періоди підвищення потужності інфразвукового фону (частота 4–7 Гц) навколишнього середовища станції Академік Вернадський

порцію радіонуклідного навантаження, що підтверджується дослідженнями у віддалені строки (через два місяці та через рік). Такі процеси у післяекспедиційному періоді, можливо, також відіграють певну негативну роль у змінах з боку регуляційних систем і загальної резистентності організму, що потребує розробки прицільних реабілітаційних технологій.

Таким чином, в умовах Антарктики на організм людини негативно впливає комплекс надзвичайної сили факторів геліо-геофізичного, біоритмологічного, метеорологічного походження. Стимулювальна дія антарктичних чинників може викликати перебудови багатьох функцій організму, що проявляється втратою резервів його адаптаційної здатності. Насамперед це стосується прямих впливів високочастотних електромагнітних

хвиль на церебральну біоритміку людини, викликаючи генералізовані реакції активації у корі головного мозку. Результатом непрогнозованої високочастотної природної стимуляції можуть бути формування стійких перебудов у співвідношеннях потужностей біоритмів головного мозку з вірогідністю модифікації механізмів центральної регуляції. Зареєстровані ефекти швидкого відновлення біоритміки головного мозку після короточасного синхронізувального впливу електромагнітних хвиль діапазону α -ритму засвідчили можливість практичного використання методу тренування. Такий підхід дав змогу розробити технологію підвищення адаптаційної здатності організму за допомогою серії профілактичної тренувальної стимуляції електромагнітними імпульсами, тотожними природній частоті та потужності

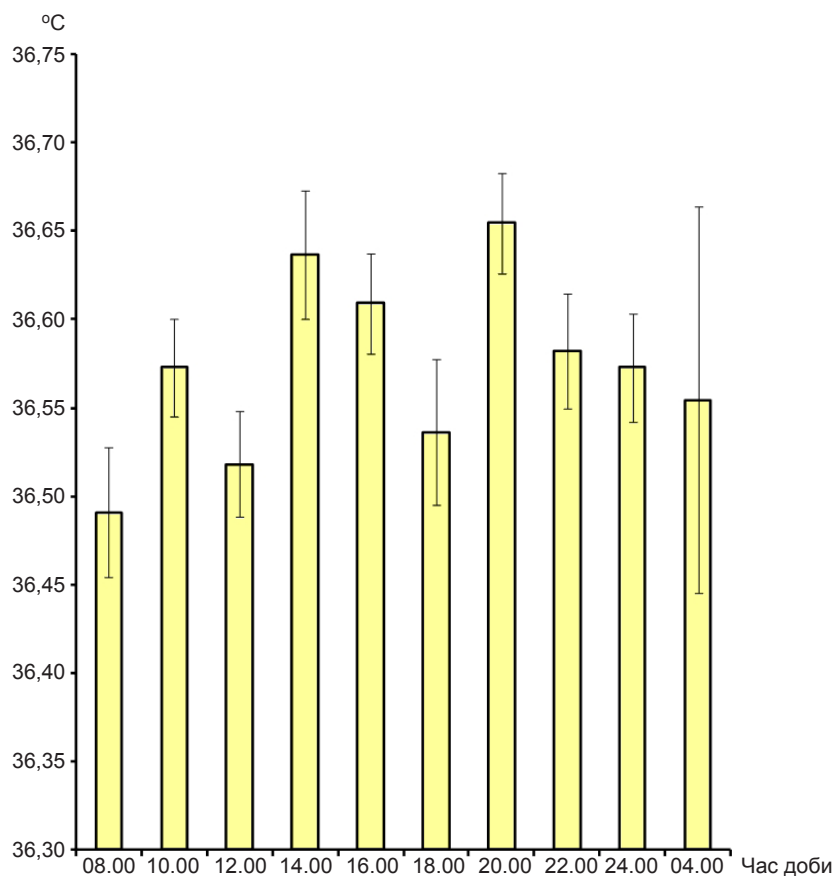


Рис. 5. Зимова добова динаміка температури тіла зимівників має нетипові денні періоди зниження вдень і підвищення вночі, що є відображенням зрушень гуморальної регуляції циркадної ритмічності функцій

хвильової енергії. Очевидно, внаслідок стабілізації центральних механізмів регуляції, покращувалася адаптаційна здатність організму. При цьому проявлявся лікувальний вплив тренувальної стимуляції при певних порушеннях церебральної біоритміки у хворих з неврологічною патологією [2, 3].

Однак різкі зміни метеорологічних факторів викликають у людини суб'єктивні переживання з невизначеністю конкретності порушень функцій цілісного організму. Вважається, що прояви метеорологічних впливів найбільше помітні з боку системи кровообігу. Дійсно, дослідженнями показана очевидна залежність реакцій серцево-судинної системи від швидкості і потужності змін барометричного тиску та вологості. Для різких перепадів метеорологічних факторів характерні флуктуації у складі дихального середовища з виникненням умов гіпоксії. Означена ситуація висвітлює певну роль у збереженні адаптаційних резервів організму якості забезпечення його киснем в екстремальних умовах. Тому досліджено значення генетичних факторів у забезпеченні адаптаційної здатності людини до екологічних умов Антарктики. Показано, що адаптаційно-дизадаптаційні перебудови функціональних систем організму людини при тривалому перебуванні в Антарктиці мають певний зв'язок з алельним поліморфізмом гена HIF-1 α , що відкриває перспективи вивчення генетичних механізмів індивідуальної стійкості та адаптації до надзвичайних умов. Наявність механізмів гіпоксичного походження у порушеннях нормального функціонування систем організму обґрунтувало застосування технології гіпоксичного тренування учасників антарктичної експедиції. Дійсно, таке тренування сприяло підвищенню ефективності діяльності механізмів компенсації кисневої нестачі, особливо при виконанні тестової фізичної роботи і підвищувало рівень адаптаційної здатності.

Тривалий вплив на людину антарктичних екологічних факторів і формування стану хронічного стресу з прихованими явищами

гіпоксії можуть сприяти виникненню проявів депресивності та пригнічення психоемоційного стану. Така ситуація характерна для формування у зимівників симптомокомплексу «антарктичного синдрому напруження» [11]. Виникненню порушень значною мірою сприяє сенсорна ізоляція, а також вплив біоритмологічних чинників і ахроматичність довкілля. Отже, наявність суттєвих десинхронічних змін функціонування організму в умовах модифікованої місцевої фотоперіодики та відсутності звичних природних кольорів потребували використання ефективних методів корекції. При цьому логічним було застосування технологій стимуляції зорового аналізатора кольоровими спектрами хвиль діапазону видимого світла (400–580 нм). Доцільність вибору підсилювалася тією обставиною, що сприйняття кольорів людиною супроводжується певним емоційним переживанням, а реакції церебральної біоритміки мають характерні ознаки (перебудови у співвідношенні потужностей основних ритмів ЕЕГ). В результаті показано, що порушення психоемоційного стану людини в ахроматичних умовах Антарктики можна коригувати за допомогою преферентного сприйняття кольорових гармоній. Ефекти наявності взаємозв'язку сприйняття конкретного кольору та змін у структурі показників потужностей ритмів ЕЕГ використані для розробки оригінальної неінвазивної технології (за принципом зворотного біологічного зв'язку) біорегуляційного відновлення психофізіологічного статусу людини як додаткового засобу у системі реабілітації профілактично-лікувального призначення [4].

Отже, вивчення фізіологічних механізмів негативного впливу на організм екологічних чинників в умовах відсутності факторів техногенного походження, надає можливість визначення нових механізмів адаптації та шляхів розробки технологій профілактики захворюваності і збереження працездатності людини як в екстремальних умовах, так і в умовах сучасної мінливості стану екологічного оточення.

Е.В. Моїсеєнко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ АНТАРКТИКИ НА СПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА К АДАПТАЦИИ

Изучали влияние гелиогеофизических антарктических факторов на организм человека. Установлено, что естественные электромагнитные волны с частотным спектром, идентичным биоритму человеческого мозга, прямо влияют на электрическую деятельность как реакция синхронизации. Показано, что реакции системы кровообращения человека в Антарктике тесно связаны с изменениями показателей барометрического давления и влажности, имеют гипоксическое происхождение и зависят от полиморфизма гена HIF-1 α . Изучение отрицательного влияния на организм экологических факторов в условиях отсутствия влияний техногенного происхождения способствует развитию новых технологий профилактики заболеваемости и сохранения работоспособности человека как в экстремальных условиях, так в условиях современного статуса экологического окружения.

Ключевые слова: антарктические условия, гипоксия, полиморфизм гена, экстремальные условия, биологические ритмы.

Y. V. Moiseyenko

RESEARCH OF INFLUENCING OF ECOLOGICAL FACTORS OF ANTARCTIC ON CAPACITY OF HUMAN FOR ADAPTATION

A purpose of work is a study of influencing of ecological factors of Antarctic on the physiological functions of human and development of technologies of increase of adaptation stability of organism. Antarctic influences of heliophysical factors are studied on the organism of human. It is set that natural hertzian waves with a frequency spectrum identical of brain of human biorhythm, straight influence on electric activity as a reaction of synchronization. It is shown that the reactions of the system of circulation of blood of human in Antarctic are closely associated with the changes of barometric pressure and humidity, have hypoxic genesis and depend on polymorphism of gene of HIF-1 α . It is shown that the study of negative influence on the organism of ecological factors in the conditions of absence of factors of technogenic origin is instrumental in development of new technologies of prophylaxis of morbidity and saving of capacity of human as in extreme terms so in the conditions of the modern status of ecological surroundings.

Key words: Antarctic conditions, hypoxic, gene polymorphism, extreme conditions, biological rhythms.

O.O. Bogomoletz Institute of Physiology National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

*Ин-т фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Київ
E-mail: moiseenko@biph.kiev.ua*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Белишева Н.К., Черноус С.А. Исследование роли гелио-геофизических и метеорологических факторов в изменчивости вариабельности сердечного ритма у различных категорий населения на Севере. – В кн.: Проблемы и решения. – Апатиты: Изд-во Север. КНЦ РАН. – 2004. – С.43–51.
2. Волошин П.В., Сухоруков В.І., Барченко О.Г., Моїсеєнко Є.В., Корсунов О.М., Бовт Ю.В., Забродіна Л.П., Лавінська Л.І. Спосіб профілактики негативної дії наднизько-частотних електромагнітних полів на організм людини / Пат. на корисну модель № 14416 від 15.05.2006 р.
3. Волошин П.В., Сухоруков В.І., Сербіненко І.А., Назарук І.А., Бовт Ю.В., Корсунов О.М., Забродіна Л.П., Шуклін К.О., Моїсеєнко Є.В., Чуканова Г.А. Спосіб лікування хворих на енцефалопатію різного генезу з неврозоподібною симптоматикою / Пат. на корисну модель № 50028 від 25.05.2010 р.
4. Мадяр А.Й., Ковалевська О.Е., Арбатова В.В., Бержанський В.Н., Луцук М.В., Моїсеєнко Є.В., Павленко В.Б., Чорний С.В. Спосіб корекції психофізіологічного стану людини / Пат. на корисну модель № 28058 від 26 листопада 2007 р.
5. Моїсеєнко Є.В. Механізми дизадаптації та комплексна патогенетична корекція порушень функціональних систем людини в Антарктиці: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук, 2008. – 55 с.
6. Сухоруков В.І., Бакуменко Л.П., Нікішкова І.М., Бовт Ю.В., Бавкіна Т.С., Забродіна Л.П. Вплив факторів сонячного затемнення на церебральний електрогенез при підвищенній судорожній готовності // Експерим. і клініч. медицина. – 2003. – № 3–4. – С.137–140.
7. Экологическая физиология человека. Часть II. Адаптация человека к различным климато-географическим условиям / Руководство по физиологии. – Л.: Наука, 1980. – 549 с.
8. Яковлев В.А., Бобров Л.Л., Ващенко В.М. Биоритмы и адаптация человека в Антарктиде. – В кн.: Хронобиология и хрономедицина / Под ред. Комарова Ф.И., Рапопорта С.И. – М., Триада-Х, 2000. – С.429–459.
9. Aidaraliev A.A., Maksimov A.L., Chernook T.V. Adaptation capabilities of polar explorers in Antarctic mountains // Kosm. Biol. Aviakosm. Med. – 1987. – №6. – P. 62.
10. Chernouss, S., Pyin V., Milinevsky G., Moiseenko Y. Heart rate variability parameters in variations at geomagnetic disturbances in Arctic and Antarctic regions Physics of Auroral Phenomena. – In: Proc. XXV Annual Seminar, Apatity, 2002. – P. 157–160.
11. Palinkas L.A., Johnson J.C., Boster J.S., Rakusa-Suszczewski S., Klopov V.P., Quan F.X., Sachdeva U. Cross-Cultural Differences in Psychosocial Adaptation to Isolated and Confined Environments // Aviation Space and Envir. Medicin. – 2004. – 75, №11. – P. 545–552.
12. Semenza G.L. HIF-1: mediator of physiological and pathophysiological responses to hypoxia // J. Appl. Physiol. – 2000. – 88. – P. 1474–1480.