

УДК 612.2

АДАПТАЦІЯ ЛЮДИНИ В АНТАРКТИЦІ

Є.В. Моїсеєнко, канд.мед.наук

*Національний антарктичний науковий центр МОН України,
Інститут фізіології ім. О.О.Богомольця НАН України, м Київ*

Підсумовано результати медико-біологічних досліджень в Антарктиці за десятирічний період. Адаптація людини до умов Антарктики є динамічним процесом, перебіг якого відбувається на фоні структурних перебудов функціональних систем організму під комплексним впливом факторів, що постійно змінюються. Це ускладнює досягнення бажаної фази стійкої адаптації і потребує застосування технологій корекції психофізіологічного статусу, профілактики захворюваності та впровадження системи реабілітаційних заходів після повернення із антарктичної експедиції.

Адаптация человека в Антарктике. Е.В. Моисеенко

Представлен итог результатов медико-биологических исследований в Антарктике за десятилетний период. Адаптация человека в Антарктике динамична и протекает на фоне структурных перестроек функциональных систем организма под влиянием комплекса меняющихся факторов. Это усложняет достижение фазы стойкой адаптации и требует применения технологий коррекции психофизиологического состояния, профилактики заболеваемости, внедрения системы реабилитационных мероприятий после возвращения из экспедиции.

Human adaptation in Antarctic. E.V. Moiseenko

People adaptation problem in Antarctic conditions are not insolvable up to now and is the base of medical-biological researches. The purpose of this study was to find out peculiarities in the function of the psychic-physiological and the external respiration and circulation of the human while having a long-term stay under the conditions of Antarctic station.

Вступ

Стан здоров'я та працездатність людини в Антарктиці прямо залежать від здатності організму пристосовуватись до надзвичайних умов. Проте механізми адаптації людини в антарктичних умовах у повному обсязі ще не розкриті й залишаються основним підґрунтям медико-біологічних досліджень національних наукових програм антарктичних держав світу. Антарктичні станції розташовані у різних географічних регіонах, які відрізняються кліматичними умовами, що безперечно впливає на перебіг процесів адаптації фахівців антарктичної діяльності. Інверсія сезонів та особливості регіональної фотоперіодики можуть впливати на структуру біологічного ритму (добового, сезонного) функціонування систем організму, що ускладнює перебіг адаптації. Десинхронозні порушення призводять до розвитку так званого «антарктичного синдрому» з ознаками втрати нормального ритму сну, накопиченням втоми, розвитком нейро-циркуляторних розладів, виникненням головного болю, психоемоційного напруження, оксидативного стресу, прихованих форм гіпоксії. З іншого боку, адаптація пов'язана з тривалим перебуванням у малочисельному колективі в умовах ізоляції від навколишнього світу і багато в чому залежить від стабільності психологічного клімату екіпажу антарктичної станції [3, 4].

Тому мета досліджень полягала у визначенні особливостей адаптаційних перебудов функціональних систем організму людини при тривалій експедиційній діяльності у прибережній Антарктиці.

Методика

За десятирічний період дослідженнями було охоплено понад 100 учасників тривалих антарктичних експедицій (чоловіки віком 27–55 років), які до й після експедиції проходили клінічне та медико-біологічне обстеження у відповідності до положень методичних рекомендацій. Обстеження включало велоергометрію (навантаження до 75% від належного максимального споживання кисню – НМСК). До і після велоергометрії виконувався мікрогазоаналіз артеріалізованої крові з визначенням напруження кисню у крові та АН (Radelkis), показники супероксиддісмутази (СОД) та малонового діальдегіду (МДА) визначались у сироватці крові за загальноприйнятими методиками. Показники газообміну та кисневих режимів організму розраховували з використанням математичного моделювання за методом А.З. Колчинської [1].

На антарктичній станції щодобово вимірювались частота серцевих скорочень і артеріальний тиск (вимірювач артеріального тиску Omron 711), щомісяця виконувались психофізіологічні дослідження, здійснювався моніторинг стану функціональних систем організму методами електрокардіографії, електроенцефалографії, спірометрії, ритмокардіографії, щоквартально визначався вміст гемоглобіну крові (Reflotron), консервувалась сеча для аналізу на вміст катехоламінів. Проведено генотипування зимівників з використанням методу полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Застосовано програмний метод математичної

обробки даних з розрахунками індивідуальних оціночних критеріїв кисневих режимів організму (КРО) зимівників [1].

Характеристика антарктичних факторів впливу на людину

Адаптація людини в Антарктиці відбувається під впливом як мінімум трьох груп незвичайних чинників: факторів навколишнього середовища, соціально-побутових та біоритмологічних. При цьому біоритмологічні фактори здійснюють постійний вплив, соціально-побутові займають близько 75% експедиційного терміну, а фактори навколишнього середовища мають виражені сезонні та випадкові (аперіодичні) коливання. Окрім того, в регіоні станції має місце знижений вміст кисню у повітрі, що провокується підвищеною вологістю, зниженим барометричним тиском, високою циклонічною активністю та значними різкими й тривалими перепадами атмосферного тиску у бік його зниження. Серед чинників навколишнього середовища привертають увагу вітрове та інфразвукове навантаження, що значно перевищує їх показники в Україні (таблиця).

Таким чином, адаптація людини в Антарктиці відбувається в умовах комплексного впливу численних надзвичайних чинників, які характеризуються добовою та сезонною варіабельністю, що потребує динамічних багаторівневих перебудов функціональних систем організму, особливо в напрямку компенсації вірогідного розвитку латентних форм гіпоксії. Моніторинг стану основних функціональних систем організму людини під час тривалої антарктичної експедиції засвідчив наявність певних особливостей адаптаційних зрушень протягом року.

Фактори навколишнього середовища

Фактори	Регіон центральної України	Регіон антарктичної станції	Джерела інформації
Температура повітря, С: середньорічна дні з плюсовою т-рою дні з мінусовою т-рою	+9 280 85	-4 95 270	Звіти досліджень в Антарктиці та дані Гідрометслужби України.
Вологість повітря, %: середньорічна	78	88	http://www.wetter-zentrale.de/topkarten/fsreaeur.html - база даних погодної служби Німеччини
Атмосферний тиск, гПа: середньорічний тижневі перепади	996 36	989 56,5	
Опади (сніг, дощ), мм: за рік	612	503	www.bom.gov.au- база даних бюро метеорології Австралії
Швидкість вітру, м/с: середньорічна	2,5	9	
Циклони (за рік), кількість	28	45	
Сонячне світіння, год:	1932	480	
Тривалість дня (астр.), год: взимку весною влітку восени	9 13 16 11	18 8 7 15	
Інфразвук-полоса 6–7 Гц, дБ	40	70	
Загальний вміст озону, о.д.: середньорічний максимальний мінімальний	324 475 221	276 235 153	
Напрямок силових ліній магнітного поля	67,3°	-57,3°	

Соціально-побутові фактори

Фактори
Соціальна, сенсорна, сексуальна депривація
Тривале перебування в умовах малого колективу
Гіподинамія, обмеженість простору пересування
Відсутність забруднення техногенного походження
Відсутність екзогенного надходження антропогенної вірусно-бактеріальної флори
Специфіка харчування (дефіцит молочно-кислих продуктів, демінералізована вода)

Біоритмологічні фактори

Фактори
Інверсія сезонів року
Зсув часового поясу на 5 годин на захід у порівнянні з Україною
Зміна фотоперіодичності
Добові чергування по станції
Монохромність навколишнього середовища

Характеристика психофізіологічних перебудов людини на антарктичній станції

Психофізіологічний відбір кандидатів до участі в експедиції полягав у наданні пріоритету особам з високими показниками адаптивності, нервово-психічної стійкості, гармонійним співвідношенням потужності основних ритмів електричної активності мозку, розумової працездатності, відсутністю синдромальних проявів депресивності та тривожності [4]. Проте впродовж перебування на станції виникали певні психофізіологічні зрушення, які характеризувались виникненням збільшеної кількості випадків головного болю, безсоння, відчуття поганого настрою, що негативно впливало на загальне самопочуття, стан здоров'я, працездатність та психологічний клімат. Найбільша кількість зимівників потерпала від означеного симптомокомплексу у початковий період адаптації (перші два місяці), протягом антарктичної зими та наприкінці експедиції. Під час зими в окремих зимівників формувались стійкі порушення настрою з ознаками депресивності, що спричиняло самоізоляцію, формування мікрогрупи й вносило дисгармонію у психологічний клімат колективу. Зрушення психоемоційного статусу в окремих зимівників стабілізувались до кінця експедиції й утримувались після повернення з Антарктики. По закінченні експедиції більшості членів екіпажу були притаманні депресивність, загальмованість, дратівливість, мінливість настрою, характерні зрушення показників електроенцефалограми. Психофізіологічні зрушення зимівників, окрім тривалого впливу умов депривації, можуть провокуватись чинниками біоритмологічної природи. Стійка біоритмологічна структура психофізіологічних функцій людини є одним із показників ефективності адаптації організму [5]. Під впливом комплексу біоритмологічних факторів на антарктичній станції звичайний біоритм психофізіологічних функцій зимівників перебудовується. Швидкість і структура вказаних перебудов мають певні індивідуальні особливості, які можуть позначатися на якості адаптації.

Сезонна динаміка кількості зимівників з адекватно структурованою архітектонікою циркадіанного ритму деяких психофізіологічних показників (%):

Показник	осінь	зима	весна	літо	осінь
Самопочуття	18,7	21,2	27,8	16,7	-
Активність	12,5	42,2	16,7	16,7	16,7
Настрій	12,5	26,3	33,3	11,1	50
Швидкість переробки інформації	28,6	26,1	45,2	38,1	28,6

Отже, адаптація людини в антарктичних умовах відбувається на фоні перебудови добової організації біоритмів і, як свідчать табличні дані, позначається напруженістю функціонального стану організму в результаті сезонної інвертованості нормальної циркадіанної архітектоніки психофізіологічних функцій. Окрім того, процес адаптації на станції розвивається поетапно з мінімальною ефективністю на початку, її підвищенням посеред зимівлі та поновленням зменшення наприкінці зимівлі. Збільшена напруженість функціональних систем організму відбивається на психоемоційному стані, про що свідчить структура рівня тривожності у колективі зимівників.

Динаміка структури рівня тривожності екіпажу антарктичної станції (%)

Рівень тривожності	Сезони			
	осінь	зима	весна	літо
Нормальний	14	7	4	14
Вище середнього	36	32	50	14
Нижче середнього	36	36	42	58
Високий	14	25	4	7
Низький	-	-	-	7

Вищезазначені зрушення співвідносяться з показниками працездатності зимівників, які прогресивно погіршуються протягом першого півріччя перебування на станції.

Динаміка структури рівня працездатності зимівників (%)

Рівень	Сезони			
	осінь	зима	весна	літо
Оптимальний	-	7	-	7
Наближений до оптимального	21	11	25	61
Середній	43	11	22	14
Негативне ставлення до роботи	29	42	31	14
Явне небажання працювати	7	29	22	4

Таким чином, поліморфні перебудови психофізіологічних функцій людини під впливом комплексу надзвичайних чинників в Антарктиці ускладнюють перебіг адаптації, призводять до підвищення напруженості систем організму, десинхронозних розладів та подовженого стану стресу, що може модифікувати численні компенсаторно-приспосувальні механізми організму в ході адаптації. Підвищення рівня напруженості та наявність ознак стресу підтверджувались результатами дослідження динаміки секреції катехоламінів. На

початкових етапах адаптації людини в Антарктиці рівні секреції катехоламінів у зимівників (адреналін, норадреналін, дофамін, ДОФА) підвищувались у порівнянні з вихідними даними ($23,2 \pm 4,3$ і $53,3 \pm 5,2$ Ммоль/д, $67,1 \pm 12,3$ і $138,3 \pm 16,9$ Ммоль/д, $1749,6 \pm 476,5$ і $7094,6 \pm 918,3$ Ммоль/д, $129,6 \pm 12,3$ і $349,9 \pm 40,6$ Ммоль/д відповідно). Після повернення з експедиції вказані показники були нижчими, але деякі також утримувались на підвищеному рівні ($23,2 \pm 4,3$ і $35,1 \pm 7,2$ Ммоль/д, $67,1 \pm 12,3$ і $91,9 \pm 25,9$ Ммоль/д, $1749,6 \pm 476,5$ і $2122,3 \pm 860,3$ Ммоль/д, $129,6 \pm 12,3$ і $246,7 \pm 65,9$ Ммоль/д відповідно) [3].

Динаміка показників дихання та кровообігу людини в Антарктиці

Адаптаційні перебудови зовнішнього дихання зимівників характеризувались деяким зниженням життєвої ємності легень упродовж першого півріччя та її відновленням до кінця експедиції у половини екіпажу. Проте після повернення з експедиції вентиляційні реакції на гіпоксію навантаження були підвищені за рахунок надлишкової активації легеневої функції, що провокувалось збільшенням падінням напруження кисню в артеріальній крові. Такі зміни могли бути наслідком перебудови альвеолярно-перфузійних співвідношень, про що свідчать знижені перепускні якості бронхів малого калібру та відповідні зрушення у системі кровообігу як реакція на розвиток прихованої гіпоксії, що провокується чинниками екзогенного (гіпоксія, гіподинамія, стрес) та ендогенного (прооксидантно-антиоксидантний дисбаланс) походження. При цьому кисневий гомеостаз у першу чергу підтримується за рахунок включення респіраторних і гемодинамічних механізмів регуляції кисневих режимів організму. Обстеження функціонального стану серцево-судинної системи членів експедиції при фізичному навантаженні в Антарктиці виявило особливості гемодинамічного забезпечення фізичного навантаження, які характеризувались зниженням частоти серцевих скорочень, серцевого викиду, систолічного артеріального тиску, зростанням діастолічного тиску, зменшенням рівня пульсового тиску, деяким падінням фракції вигнання крові при тенденції до зростання кінцевого систолічного об'єму, що свідчить про зниження скорочувальної функції міокарду. В результаті при навантаженні серцевий викид зростає за рахунок частоти серцевих скорочень при відсутності динаміки фракції вигнання, що негативно позначається на ефективності серцевої діяльності [3]. Застосування технології біомагнітометрії при поглибленому кардіологічному обстеженні сприяло вивченню електрофізіологічних механізмів адаптаційних перебудов серцевої діяльності людини при тривалому перебуванні у надзвичайних умовах та дозволило розробити додаткові критерії оцінки резервів серцевої діяльності й прогнозувати його можливі порушення.

Динаміка показників периферійної крові та імунний статус зимівників

Наприкінці антарктичної зими кількість еритроцитів та вміст гемоглобіну в крові зимівників знижувались, а на завершальному етапі експедиції мали суттєве зростання. Проте після експедиції напруження кисню артеріальної крові було зменшено (на 9% від контролю) навіть у стані спокою. Завдяки включення компенсаторних реакцій з боку зовнішнього дихання та кровообігу швидкість доставки кисню кров'ю до тканин не знижується, тканинна гіпоксія не розвивається, а швидкість споживання кисню навіть дещо збільшується, оскільки певна частка його витрачається на підсилення роботи вентиляції й кровотоку. Отже, після експедиції у її учасників мають місце ознаки компенсованої респіраторної гіпоксії, розвиток якої може провокуватись наявністю оксидативного стресу внаслідок тривалого впливу надзвичайних чинників. У переважній більшості зимівників з ознаками підсилення вільно-радикальних процесів мають місце підвищені ступені гіпоксії навантаження, які характеризуються артеріальною і венозною гіпоксемією та розвитком метаболічного ацидозу. Протягом року відбувались складні перебудови у клітинних гармоніях білої крові зимівників на фоні сезонного чергування лейкоцитозу та лейкопенії. Проте після повернення в Україну в обстежених не виявлено значних відмінностей у стані периферичної крові та реалізації клітинних захисних реакцій порівняно із вихідним станом. Спостерігалася динаміка у стані імунітету, яка характеризувалась частковим зниженням функціональної напруги ланцюга, що забезпечує неспецифічну резистентність організму. При цьому кількість активних фагоцитів у крові обстежених збільшувалась у 2,1 рази, відновлювалась їх поглинаюча здатність, функціонально-метаболічні резерви нейтрофілів знижувались ($8,5 \pm 1,15\%$), на 32,4% зменшувався вміст у сироватці крові імуноглобулінів (IgM). Такі зрушення у поєднанні з результатами інших імунологічних досліджень свідчили про дефіцит екзогенних подразнюючих впливів біологічної природи на імунну систему зимівників [3].

Молекулярні механізми адаптації

Як відомо, генетичний фактор, індукований гіпоксією (hypoxia-inducible factor – HIF), є ключовим транскрипційним фактором, що забезпечує регуляцію експресії генів-мішеней при гіпоксичних станах. Під контролем HIF знаходиться експресія ряду генів, що контролюють синтез еритропоєтину, фактора росту судинного ендотелію, ферментів гліколізу, церулоплазміну, нітрооксидсинтази тощо [2]. Всі перераховані білки забезпечують адаптацію організму не тільки до гіпоксії, а й до розмаїття екстремальних впливів. Нещодавно описано алельний поліморфізм киснезалежного домену HIF-1 α , який полягає в заміні цитозину на тимин у 1772 положенні гена HIF-1 α . Ця мутація призводить до заміни проліну на серин у білку HIF-1 α . Патогенетичне значення цього поліморфізму досі не вивчене. У когорті зимівників переважна більшість мали нормальні гомозиготи (C/C-генотип) і 9 осіб – гетерозиготи за поліморфним алелем (C/T-генотип). Порівняння показників кисневих режимів організму учасників експедиції з нормальними гомозиготами та з гетерозиготним генотипом (за

поліморфізмом HIF-1 α) у спокої та при гіпоксії навантаження (75% від належного максимально споживання кисню) свідчило про їх наявні відмінності. Встановлено, що організм зимівників з алейним поліморфізмом гену HIF-1 α має властивість включення комплексу механізмів компенсації гіпоксії навантаження, який відрізняється від характерних реакцій у осіб з нормальним гомозиготним генотипом, що відбувається й на адаптаційних процесах у період антарктичної експедиції. Поглиблене дослідження молекулярних механізмів запуску компенсаторних реакцій при модифікованих генетичних факторах відкриває перспективи вивчення нових механізмів адаптації організму людини у надзвичайних умовах. Окрім того встановлено, що після експедиції в організмі людини ознаки радіонуклідного забруднення практично зникають, значно знижуються рівні мікроелементного складу крові у діапазоні важких металів, що свідчить про певне екологічне очищення.

Висновки

Результати моніторингу функціональних систем організму зимівників свідчать про перманентність перебігу адаптаційних процесів з наявністю характерних перебудовчих періодів залежно від тривалості перебування на станції. Очевидно, адаптація протікає в режимі чергування відповідних фаз, які умовно поділяються на фази гострої адаптації, функціонального напруження, відносної стабілізації та депресивності. Фаза гострої адаптації характеризується активними процесами біоритмологічної природи, що підтверджується розладами нормальної циркадіанної архітекτονіки психофізіологічних та вісцеральних функцій, температури тіла, добова динаміка якої є опосередкованим свідченням порушення ритму екскреції мелатоніну. Зміни в роботі «біологічного годинника» можуть супроводжуватись активацією центральних механізмів регуляції функціональних систем і, можливо, впливають на швидкість обіну речовин, що проявляється в закономірному зростанні маси тіла зимівників протягом першого півріччя. Фаза функціонального напруження є результатом комплексного впливу біоритмологічних факторів, депривації, гіподинамії та характеризується закінченням формування особистісних відносин у колективі, індивідуальною поліморфністю проявів «антарктичного синдрому», характерними змінами співвідношення ритмів електричної активності мозку, вегетосудинними реакціями, деякими зрушеннями біохімічних показників крові. Під час фази відносної стабілізації, яка проявляється з приходом антарктичної весни, колектив має сформовані міжособистісні відносини, дещо стабілізуються показники дихання та кровообігу, зменшується кількість десинхронозних проявів, оптимізуються співвідношення ритмів електроенцефалограми. Проте киснева ємність крові має тенденцію до зниження, проявляються ознаки підвищення тиску в малому крузі кровообігу, відбуваються інтенсивні перебудови всередині лейкоцитарної формули. Заключна фаза депресивності характеризується підвищеними рівнями тривожності, дратівливості, емоційної нестійкості, збільшенням питомої ваги низькочастотних ритмів електроенцефалограми, відновленням десинхронозних розладів, падінням показників імунного статусу. Після повернення з Антарктики симптоматика останньої фази деякий час зберігається, виявляються ознаки прихованих форм гіпоксії, зниження імунітету, що ускладнює перебіг процесів реадaptaції, які продовжуються протягом тривалого часу (від двох місяців і більше).

Таким чином, встановлена фазність адаптації людини в антарктичних умовах диктує необхідність розробки системи психофізіологічного супроводу експедицій та ефективних лікувально-профілактичних технологій на станції, а також запровадження методів реабілітації зимівників після експедиції. Окрім того, відкривається можливість ґрунтового дослідження впливів надзвичайних чинників навколишнього середовища Антарктики з урахуванням особливостей функціонального стану організму у відповідній фазі адаптації.

Література

1. Колчинская А.З., Циганова Т.Н., Остапенко Л.А. Нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка в медицине и спорте. – М.: Медицина, 2003. – 408 с.
2. Маньковська І.М., Моїсеєнко Є.В., Демченко М.П., Досенко В.Є., Зубкова С.Т., Варгачий С.Я., Музиченко Т.І. Особливості перебудов функціональної системи дихання людини після тривалого перебування в умовах Антарктики. Фізіологічний журнал. – 2005.– 53. №3.– С.25–31.
3. Моїсеєнко Є.В. Медико-біологічні дослідження вчених України в Антарктиці. Фізіологічний журнал, т.49, №3, 2003, с.70–74.
4. Моїсеєнко Є.В. Вимоги до стану здоров'я та медичного обстеження фахівців експедиційної діяльності Української національної антарктичної програми. Методичні рекомендації. – Київ, 2005. – 35 с.
5. Психофізіологія. Учебник для вузов //Под ред. Ю.И.Александрова. 3-е изд., доп. и перераб. – СПб.: Питер. 2004. – 464 с.