

УДК 004.9:612.822(045)

П.В. Білошицький, д-р мед. наук, проф.
О.М. Ключко, канд. біол. наук, доц.
Ю.І. Онопчук, д-р фіз.-мат. наук, проф.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМ ГІПОКСІЇ УКРАЇНСЬКИМИ ВЧЕНИМИ В РАЙОНІ ЕЛЬБРУСУ

Запропоновано результати основних напрямів багаторічних досліджень проблем гіпоксії, які проводилися на Ельбруській медико-біологічній станції і є актуальними для авіаційної фізіології та медицини. Результати було отримано в експедиційних дослідженнях з використанням математичного моделювання. Наведено розроблені на їх основі нові методи лікування.

Results of some directions of many year studying of hypoxia problems is given. Investigations were carried at Elbrus medical and biological station and they are actual for aviation physiology and medicine. Results were obtained during field researches, using mathematical simulation. New methods of medical treatment developed on their base are described.

Вступ

Гіпоксія супроводжує людину від народження та до смерті. Прояви гіпоксії людина відчуває на собі в умовах гірських висот, під час авіаційних та космічних польотів, перенапруження у процесі роботи чи тренувань, отруєння деякими хімічними речовинами, при захворюваннях серця, респіраторної системи тощо.

Вивчення проблем гіпоксії завжди посідало важливе місце в багаторічних дослідженнях, які проводили українські вчені у високогірних районах Кавказу, зокрема, на Ельбруській медико-біологічній станції (ЕМБС), підпорядкованій Національній академії наук України.

Роботи з вивчення впливу на організми факторів високогір'я були започатковані тут академіком М.М. Сиротиніним ще у 1929 р. Спочатку дослідження проводилися в експедиційних умовах, а з 1973 р. – у стаціонарних умовах лабораторії космічної фізіології на ЕМБС (див. фото).



Термобарокамера при лабораторії космічної фізіології на ЕМБС

Серед наукових досягнень співробітників ЕМБС з вивчення гіпоксії можна назвати фундаментальні дослідження в галузі кисневої недостатності, які виявили конструктивні та деструктивні механізми розвитку гіпоксичних станів організму, що створило наукове підґрунтя для розробки вперше у світовій практиці нових високоефективних методів гіпокситерапії, які нині використовуються в багатьох лікувальних та оздоровчих закладах.

На ЕМБС усебічно вивчали проблеми транспорту та утилізації кисню на різних рівнях організації організму.

Публікацію [1] присвячено загальному розгляду основних напрямів багаторічних досліджень на ЕМБС, зокрема роботам у галузі авіаційної та космічної фізіології і медицини.

Постановка завдання – зробити стислий огляд деяких результатів багаторічних досліджень проблем гіпоксії українськими вченими на ЕМБС, отриманих як в експедиційних умовах, так і в результаті окремих клінічних, експериментальних досліджень, а також з використанням математичного моделювання гіпоксичних станів.

Гіпоксичний стан організму на різних висотах

Протягом кількох десятиріч на ЕМБС вивчали проблеми виникнення гіпоксичних станів організму в умовах нестачі кисню, адаптації до цих станів, а також цілу низку пов'язаних із цим проблем. Коротко зупинимось лише на окремих результатах із величезної їх сукупності.

Виявилось, що адаптація до високогір'я здебільшого зводиться до адаптації до гіпоксії. Високогірна адаптація має динамічний характер, що змінюється залежно від різних причин.

У нетренованих осіб адаптація на початку здійснюється, переважно, за рахунок збільшення легеневої вентиляції, кровообігу й викиду крові з депо. У результаті гіпервентиляції виникає алкалоз газової форми, який перебиває схильність до негазового ацидозу внаслідок нагромадження недоокислених продуктів. У тренуваних осіб у процесі повільного підйому, коли гіпервентиляція не настільки виражена, алкалозу не спостерігається, а натомість виникає тенденція до ацидозу. Висотному алкалозу, який виникає при гірській хворобі, можна запобігти прийомом кислої суміші – лимонної й аскорбінової кислоти в цукровому сиропі [2; 3].

Під час всіх сходжень на висоти Кавказу у людей, які проходили через ЕМБС, досліджували кількість еритроцитів і гемоглобіну. Випробувачами під час цих робіт були добровольці – учасники високогірних експедицій. Було виявлено, що ці показники змінюються неоднозначно: поряд із значним збільшенням їх кількості у більшості випадків іноді спостерігається і її зниження. Згідно з Я.Г. Ужанским, М.М. Сиротиніним це відбувається в результаті розпаду еритроцитів [4–6]. З ускладненням організму у філогенезі з'являється більш висока чутливість до гіпоксії, що веде до розвитку механізмів активної адаптації; незважаючи на це резистентність до гіпоксії у вищих тварин менш виражена, ніж у нижчих. Така ж закономірність існувала й в онтогенезі [4; 7–9]. Зокрема, виявилось, що особи юнацького віку більш чутливі до впливу високогірного клімату, ніж дорослі: у них спостерігались більш різкі зміни в діяльності центральної нервової системи. Однак юнаки добре адаптувались. На підставі проведених досліджень було розроблено рекомендації з режиму роботи таборів юних альпіністів, які були передані в Міністерство освіти УРСР і потім використані.

За допомогою різних методик у учасників експедицій вивчали вищу нервову систему та вели спостереження за станом психіки на великих гірських висотах [2–5]. Було виявлено, що на різних висотах відбувалися деякі розлади психічних функцій. Ступені цих розладів корелювали зі ступенем гіпоксії мозку. Це було встановлено на підставі дослідження вмісту кисню в крові, що притікає до головного мозку й відтікає від нього. Виявилось, що процентний вміст кисню крові на нижчих межах норми на висоті 2100 м над

рівнем моря може розгальмовувати тонкі диференційовки, що виражається в ейфорії. На висотах близько 4000 м над рівнем моря більший ступінь гіпоксемії супроводжується більш сильним порушенням нервової діяльності як у вигляді ослаблення процесів збудження, так і гальмування.

Ще в 1937–1939 рр. М.М. Сиротинін показав роль високогірної адаптації у підвищенні стійкості організму до екстремальних впливів, а подальший розвиток цієї ідеї привів до її практичного застосування в багатьох галузях, зокрема і в космонавтиці [3–5]. Оптимальним варіантом висотного тренування є метод активної ступінчастої високогірної адаптації [10–13]. Цей метод полягає в тому, що з метою кращої адаптації до великої висоти люди спочатку певний час перебувають на нижчих висотах, а згодом цих добровольців переводять для перебування на вищій висоті (ступінчасто підвищуючи рівень цих проміжних «сходинок») доки не виведуть нарешті людей на потрібну велику висоту. Для кожної висоти рекомендовані відповідні фізичні вправи, тренування. Для активної ступінчастої високогірної адаптації можуть бути рекомендовані висоти починаючи від 2000 м над рівнем моря з наступним підйомом на висоті 3000 і 3500–4000 м над рівнем моря.

Цей метод було розроблено спочатку для тренування льотчиків, космонавтів, альпіністів, атлетів, представників спецконтингентів тощо, але він виявився придатним не лише для них. Він може бути також рекомендований для зміцнення здоров'я всіх категорій людей і підвищення продуктивності їх праці, для підвищення стійкості організму до екстремальних впливів, для поліпшення спортивних показників, для продовження життя й боротьби з гіпоксією у старості. Про це М.М. Сиротинін у 1965 р. ще до Олімпійських ігор у Мехіко на висоті 2100 м над рівнем моря повідомив в Алма-Аті на конференції з акліматизації й тренування спортсменів у гірській місцевості, та на 9-му Міжнародному конгресі геронтологів у Києві, В.І. Данилейко, П.В. Білошицький, А.Н. Красюк – на Міжнародній конференції з фізичної культури в режимі праці й відпочинку [4; 5; 14].

Однак адаптація до висотного тренування, супроводжуючись посиленням серцевої діяльності, дихання, має ту перевагу, що протікає цілодобово, і, на відміну від тренувань, проведених з фізичними навантаженнями на рівні моря, має свідомий характер.

Одночасний вплив на організм кліматичних умов високогір'я та індивідуально дозованих фізичних навантажень прискорює й поліпшує процес адаптації. Вибираючи висоти, на яких проходить адаптація, установлюючи терміни перебування на кожній висоті, можна управляти цим процесом.

Активні рухи у природних умовах високогір'я впливають як на фізичну, так і на емоційну сфери психічної діяльності людини. Дослідження, проведені в горах Паміру та Кавказу, свідчать про те, що адаптація до високогірного клімату супроводжується суттєвим підвищенням м'язової працездатності. Зокрема, після попередньої адаптації в горах відзначалось підвищення працездатності людей у процесі трудової діяльності, а також під час випробувань із різними дозованими фізичними навантаженнями.

Так, у випробуваннях із субмаксимальними навантаженнями на велоергометрі час підтримки працездатності в контролі становив в середньому 12 хв, на початку адаптації на висоті 2100 м над рівнем моря – 7 хв. Через місяць після адаптації на висотах 3000, 4200, 4700 м над рівнем моря і повернення на висоту 2100 м над рівнем моря час підтримки субмаксимальної працездатності досяг 17 хв. При цьому частота дихання f , вентиляція легенів за 1 хв VE і процентне насичення крові киснем HbO_2 до моменту припинення роботи відповідно становили $17,0 \pm 1,0$ дихальних рухів дорівнювали $35,0 \pm 0,5$ л/хв, $81,7 \pm 1,9$, а в контролі (на рівні моря) до моменту припинення роботи ці величини становили відповідно: $f - 24,0 \pm 3,0$; VE – $58,0 \pm 4,3$ л/хв, $\text{HbO}_2 - 85,0 \pm 0,4$ %. Отже, збільшення працездатності відбувалось на тлі менш вираженої реакції з боку функції дихання, ніж до виїзду в гори. До кінця періоду адаптації результати вивчення проб крові показали збільшення кількості еритроцитів та гемоглобіну.

Для оцінювання різних варіантів висотної адаптації застосовувалось також масове обстеження осіб з різним рівнем фізичної підготовки та станом здоров'я за допомогою функціональної проби «степ-тест», перегонів на середні дистанції, плавання.

На підставі отриманих результатів було зроблено висновок про те, що метод активної ступінчастої високогірної адаптації також може бути оптимальним варіантом висотного тренування спортсменів високих категорій. При цьому важливо поєднувати адаптацію з індивідуально дозованими

різними фізичними навантаженнями: неадекватне фізичне навантаження, викликаючи перевтому значно швидше, ніж в умовах рівнини, спричиняло зниження працездатності, погіршення загального стану.

Особливу увагу було приділено позитивному ефекту активної ступінчастої високогірної адаптації на відновлення деяких втрачених функцій після екстремальних впливів, зокрема, після клінічної смерті в результаті аноксії й наступної реанімації; у прискоренні процесу нормалізації функцій після перенесеної хвороби [2; 3; 5].

Застосування передових на той час методів дослідження (електрофорез, полярографія, біохімічні, біофізичні, математичні методи) допомогли розширити наші знання про механізми адаптації до гіпоксії та їх застосування у практиці. Так, виявлення якісних змін гемоглобінів у високогірних тварин стало основою розробки нового високоефективного кровозамінника, а встановлення особливостей дії фармакологічних речовин в умовах високогір'я та у зв'язку з екстремальними впливами враховується в космонавтиці [1; 2; 5; 15].

Методи лікування

Особливу увагу М.М. Сиротинін та його послідовники завжди приділяли розробленню нових методів, які базувались на використанні адаптації до гіпоксисбарії у лікуванні захворювань, в яких гіпоксія відіграє основну роль. З цією метою було розроблено нові високоефективні методи: ступінчастої адаптації до високогірних умов, тренування в барокамерах, вдихання газових сумішей із низьким умістом кисню, дія переривчастої гіпоксії. Ці методи успішно застосовують у численних медичних закладах, лікарнях, спортивних центрах України та Росії.

Уперше метод ступінчастої адаптації до низького pO_2 у вдихуваному повітрі був застосований у барокамері для лікування пацієнтів із бронхіальною астмою, пізніше – дітей із коклюшем. В умовах гір метод ступінчастої адаптації спочатку застосовували для лікування пацієнтів із деякими психічними захворюваннями (кататонічна форма шизофренії), бронхіальною астмою, хронічними неспецифічними захворюваннями легенів [5]. Згодом для лікування пацієнтів методами адаптації до гіпоксисбарії на ЕМБС на висоті 2100 м над рівнем моря було створено стаціонарне відділення для оздоровлення пацієнтів із зон з екологічно несприятливими умовами – м. Шевченко (Казахстан) та м. Чорнобиль (Україна).

Методи лікування з використанням адаптації до гіпоксичного середовища у Приельбруссі були успішними для багатьох пацієнтів із респіраторними алергозами, анеміями, гіпертензією, діабетом, ішемічною хворобою серця, аритміями, нейродистонічним та «пост чорнобильським» синдромами, для дівчат із ювенільними дисфункціональними розладами тощо [4; 5]. У процесі лікування медики глибоко вивчали особливості генезу гіпоксичних станів, механізмів саногенезу.

Важливі роботи для лікування людей, що постраждали під час Чорнобильської аварії та ліквідаторів наслідків цієї аварії, розпочалися одразу після аварії у травні 1986 р. У результаті було визначено симптоми захворювань ліквідаторів, а також особливості викликаних радіацією захворювань у дітей із Чорнобильської зони.

На ЕМБС було показано, що в генезі «чорнобильського синдрому» першорядне значення мають поліфункціональні розлади в системах транспорту та утилізації кисню, що призводили до розвитку гіпоксичних станів. Ці стани проявлялись клінічною картиною вегетосудинних дистоній, анемій, респіраторних алергозів, дисциркуляторних енцефалопатій тощо.

У процесі адаптації до гірського клімату у чорнобильців [1]:

- покращувалися психоемоційний стан та регуляція вегетативних функцій, показники функціональної мобільності та динамічності нервових процесів;
- нормалізувались показники дихання, гемодинаміки, імунного статусу крові, серцевий режим та його електрична активність;
- зменшувались дегенеративні зміни клітин крові;
- активізувались процеси регенерації;
- аеробні та анаеробні ферменти в тканинах;
- збільшувався вміст кисню в артеріальній крові;
- активність сукцинатдегідрогенази і креатинфосфатази;
- зростала лізосомальна активність клітин білої крові;
- посилювався синтез ДНК;
- відбувалась економізація систем транспорту кисню.

Математична модель

функціональної системи дихання

Створенню математичних моделей досліджуваних явищ на ЕМБС завжди приділяли велику увагу [5; 8; 16–19]. Наведемо модель функціональної системи дихання (ФСД), яку було створено спільними зусиллями науковців Інституту

фізіології ім. О.О. Богомольця та Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова в 70–80 рр. ХХ ст. на основі описаних результатів досліджень. Згодом модель стала класичною і на підставі цих узагальнень було створено ряд інших моделей, на описанні яких ми докладно зупинимося у наступних публікаціях. Створена модель нормального функціонування дихальної системи згодом доповнювалась характеристиками змін, які відбуваються з цією системою на висоті, в екстремальних ситуаціях тощо.

Математичну модель системи дихання, що описує транспортування та масообмін респіраторних газів у дихальних шляхах, альвеолярному просторі легень, у крові та тканинах, становить система нелінійних диференціальних рівнянь, проаналізувати розв'язки якої найчастіше можна за результатами обчислювального експерименту. Фазовими змінними в моделі є напруження респіраторних газів – кисню, вуглекислоти, азоту в структурних ланках дихальної системи.

У даній моделі для індексів були введені такі позначення при змінних p_i : RP – у дихальних шляхах, AL – альвеолярному просторі, A – артеріальній крові, C_j – крові тканинних капілярів j -го тканинного регіону, T_j – тканинах j -го регіону, V – змішаній венозній крові.

Нехай $P^{(i)}$, $i=1, 2, 3$ – парціальний тиск кисню, вуглекислого газу та азоту у вдихуваному повітрі відповідно, B – загальний барометричний тиск: $B = P^{(1)} + P^{(2)} + P^{(3)}$.

Тоді динаміку парціального тиску i -го газу в дихальних шляхах упродовж дихального циклу (вдих, видих, пауза) можна подати у вигляді

$$\frac{dP_{RP}^{(i)}}{d\tau} = \frac{L}{n^{(i)}V_{RP}} \left[n^{(i)}\tilde{V}\tilde{P}^{(i)} - n^{(i)}\tilde{V}P_{RP}^{(i)} \right], i=1, 2, 3; \quad (1)$$

$$\tilde{P}^{(i)} = \begin{cases} P^{(i)}, & \text{якщо } V > 0, \\ P_{RP}^{(i)}, & \text{якщо } V \leq 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$P_{RP}^{(i)} = \begin{cases} P_{RP}^{(i)}, & \text{якщо } V < 0, \\ P_{AL}^{(i)}, & \text{якщо } V \leq 0, \end{cases} \quad i=1,2,3,$$

де V_{RP} – об'єм дихальних шляхів RP ;

V – вентиляція;

$n^{(i)}$ – перевідний коефіцієнт для i -го газу;

AL – альвеолярний простір.

Потік газів через аерогематичний бар'єр подано співвідношеннями

$$G_{LC}^{(i)} = K^{(i)} S_{LC} (P_{AL}^{(i)} - P_{LC}^{(i)}); \quad i=1, 2, 3, \quad (3)$$

де $K^{(i)}$ – коефіцієнт проникності i -го газу через бар'єр;

S_{LC} – площа поверхні газообміну;

$P_{LC}^{(i)}$ – напруження i -го газу в крові легеневих капілярів.

Парціальний тиск $P_{AL}^{(i)}$ i -го газу в альвеолярному просторі легень можна визначити рівняннями

$$\frac{dp_{AL}^{(i)}}{d\tau} = \frac{L}{n^{(i)} V_{AL}} \left[n^{(i)} \dot{V} \tilde{P}_{RP}^{(i)} - G_{LC}^{(i)} - n^{(i)} P_{AL}^{(i)} \frac{dV_{AL}}{d\tau} \right]; \quad (4)$$

$i=1, 2, 3$.

При цьому прийемо, що під час дихального циклу об'єм альвеолярного простору $V_{AL}(\tau)$ та вентіляцію \dot{V} можна визначити за формулами:

$$V_{AL}(\tau) = \begin{cases} V_{AL}(\tau_0) + \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{\tau - \tau_0}{\tau_a} \pi \right), & \text{якщо } V \neq 0, \\ V_{AL}(\tau_0), & \text{якщо } V = 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$\dot{V} = \frac{dV_{AL}}{d\tau}, \quad (6)$$

де D – дихальний об'єм;

τ_0 – момент початку дихального циклу;

τ_a – тривалість дихального акту (вдиху та видиху).

Рівняння динаміки напружень респіраторних газів у крові будують з урахуванням біофізичних і хімічних властивостей крові. Наведемо рівняння, що описують динаміку напружень газів у крові тканинних капілярів і тканинній рідині j -го тканинного регіону.

Для інших ланок структури системи дихання їх будують аналогічним чином.

Розглянемо узагальнений капіляр j -го тканинного регіону об'ємом V_{Cj} . Через нього з об'ємною швидкістю Q_{Cj} рухається кров, при цьому

$$\sum_{j=1}^m Q_{Cj} = Q - Q_{TS}, \quad (7)$$

де Q, Q_{TS} – об'ємна швидкість крові в артеріальному та венозному руслі і в тканинному шунті відповідно.

$$\frac{dP_{Cj}^{(1)}}{d\tau} = \frac{1}{V_{Cj}(\alpha^{(1)} + \gamma_{Hb} \frac{\partial \eta_{Cj}}{\partial P_{Cj}^{(1)}})} \times \left[-\alpha^{(1)} Q_{Cj} (P_A^{(1)} - P_{Cj}^{(1)}) - G_{Tj}^{(1)} + \gamma_{Hb} Hb Q_{Cj} (\eta_A - \eta_{Cj}) + \frac{V_{Cj} \gamma_{Hb} Hb \frac{\partial \eta_{Cj}}{\partial P_{Cj}^{(1)}} P_{Cj}^{(1)} P_{Cj}^{(2)}}{4 \ln 10 m_{Cj} P_{Cj}^{(2)} dt} \right], \quad (8)$$

де C_j – кров тканинних капілярів j -го тканинного регіону;

A – артеріальна кров;

T_j – тканина j -го регіону.

На підставі принципів матеріального балансу та нерозривності потоку отримано такі рівняння:

$$\frac{dP_{Cj}^{(2)}}{d\tau} = \left\{ \alpha^{(2)} Q_{Cj} (P_A^{(2)} - P_{Cj}^{(2)}) + \gamma_{BH} BH Q_{Cj} (Z_A - Z_{Cj}) + \gamma_{Hb} Hb Q_{Cj} [(Z_A(1 - \eta_A) - Z_{Cj}(1 - \eta_{Cj})) - G_{Tj}^{(2)} + \gamma_{Hb} Hb V_{Cj} Z_{Cj} \frac{\partial n_{Cj} dP_{Cj}^{(1)}}{dt}] : V_{Cj} \{ \alpha^{(2)} + [\gamma_{BH} BH + \gamma_{Hb} Hb(1 - \eta_{Cj})] \frac{\partial Z_{Cj}}{\partial P_{Cj}^{(2)}} + \frac{Z_{Cj} \gamma_{Hb} Hb \frac{\partial n_{Cj}}{\partial P_{Cj}^{(1)}} P_{Cj}^{(1)}}{4 \ln 10 m_{Cj} P_{Cj}^{(1)}} \right\}; \quad (9)$$

$$dP_{Tj}^{(2)} = \frac{G_{Tj}^{(1)} - q_{Tj}^{(1)}}{V_{Tj}(\alpha_{Tj}^{(1)} + g_{Mb} Mb_j \frac{\partial \eta_{Mb_j}}{\partial P_{Tj}^{(1)}})}; \quad (10)$$

$$\frac{dP_{Tj}^{(2)}}{d\tau} = \frac{q_{Tj}^{(2)} + G_{Tj}^{(2)}}{V_{Tj} \lambda_{Tj}^{(2)}}, \quad (11)$$

$$G_{Tj}^{(i)} = K_{Tj}^{(i)} S_{T,Cj} (P_{Cj}^{(i)} - P_{Tj}^{(i)}) G_{Tj}^{j(i)},$$

де $\alpha^{(i)}, \alpha_{Tj}^{(i)}$ – коефіцієнти розчинності i -го газу в плазмі крові та тканинній рідині j -го регіону відповідно;

$\gamma_{Hb}, \gamma_{Mb}, \gamma_{BH}$ – константи, що характеризують спорідненість гемоглобіну і міоглобіну до кисню, а буферних основ – до CO_2 ;

BH – концентрація буферних основ у крові;

Z – ступінь насичення буферних основ крові вуглекислим газом;

$q_{Tj}^{(1)}$ – швидкість споживання кисню в j -му регіоні;

η_{Mb_j} – ступені насичення киснем відповідно гемоглобіну, концентрація якого в крові позначається Hb і міоглобіну в тканинах j -го регіону, де його концентрація позначається Mb_j ;

$q_{Tj}^{(2)}$ – швидкість виділення вуглекислоти в обмінних процесах:

$G_{Tj}^{(i)}$ – потік i -го газу через стінку капіляра в тканини j -го регіону;

$K_{Tj}^{(i)}$ – коефіцієнт дифузії i -го газу через тканинно-капілярну мембрану j -го тканинного регіону;

S_{T,C_j} – площа поверхні газообміну між кров'ю капілярів та тканинами j -го регіону.

При цьому

$$\eta_{C_j} = 1 - 1,75 \exp(-0,052 m_{C_j} P_{C_j}^{(1)}) + 0,75 \exp(-0,12 m_{C_j} P_{C_j}^{(1)}); \quad (12)$$

$$m_{C_j} = 0,25(pH_{C_j} - 7,4) + 1; \quad (13)$$

$$pH_{C_j} = 6,1 + \lg \frac{BH}{\alpha^{(2)} P_{C_j}^{(2)}}; \quad (14)$$

$$\eta_{Mb_j} = 1 - \exp(0,12 P_{Tj}^{(1)}); \quad (15)$$

$$Z_{C_j} = \frac{P_{C_j}^{(2)}}{35 + P_{C_j}^{(2)}}; \quad (16)$$

$$q_{Tj}^{(2)} = n_{Tj} q_{Tj}^{(1)}, \quad (17)$$

де n_{Tj} – дихальний коефіцієнт.

Рівняння (1)–(17), а також рівняння, побудовані аналогічним чином для інших структур системи дихання, утворюють математичну модель транспорту і масообміну газів в організмі, яку можна розглядати як об'єкт адаптації та регуляції.

Обчислювальні експерименти з використанням наведеної моделі було доцільно проводити лише у короткі відрізки часу. У процесі дослідження адаптаційних процесів середньої та довготривалої дії кисневої недостатності на організм виникали об'єктивні обчислювальні труднощі,

пов'язані з вибором схем інтегрування системи рівнянь, стійкості цих схем протягом тривалого часу.

Висновки

Як показали широкомасштабні дослідження, що тривали на ЕМБС протягом ряду років, вивчення проблем гіпоксії слід проводити, враховуючи порівняльний, фізіологічний, еволюційний аспекти, їх треба проводити у онто- та філогенезі, на всіх рівнях організації організму, використовуючи сучасні методи та математичне моделювання. Проведені на ЕМБС фундаментальні дослідження дозволили обґрунтувати уявлення про адаптацію до гіпоксисбарії як до процесу переходу до нового стабільного стану, який підтримує функціонування організму у новому зміненому середовищі.

На основі багаторічних досліджень було створено «Ельбруську» класифікацію гіпоксичних станів [1; 20; 21], сформульовано термінологію у цій галузі, яку широко вживають сучасні дослідники [1; 20–27].

Було запропоновано та обґрунтовано концепцію про ступінчасту адаптацію до гіпоксисбарії, про кисневі режими організму та їх регуляцію, про функціональну респіраторну систему, створено ряд математичних моделей. Це дозволило охарактеризувати різні типи гіпоксичних станів не тільки якісно, але і кількісно, оцінити їх ступінь, прогнозувати зміни станів організму під дією екстремальних факторів, проаналізувати роль тих чи інших фізіологічних реакцій у компенсації нестачі кисню і перетворити науку про гіпоксію з експериментально-описової в точну.

Проведені на ЕМБС дослідження розкрили деструктивні (патогенні) та конструктивні (саногенні) механізми розвитку гіпоксичних станів в організмі, дозволили вперше у світовій практиці обґрунтувати та розвинути новий високоефективний метод лікування, профілактики, реабілітації, підвищення стійкості та працездатності організму – гіпокситерапії, яку можна реалізувати в умовах гір, барокамерах або використовуючи різноманітні гіпоксикатори; методи гіпокситерапії широко використовують у курортології, кардіології, пульмонології, неврології, психіатрії, педіатрії, гінекології, авіаційній та космічній медицині, тренуванні спортсменів.

Література

1. Білошицький П.В., Ключко О.М., Онопчук Ю.І. Результати медико-біологічних досліджень українських вчених на Ельбрусі // Вісн. НАУ. – 2007. – № 2. – С. 10–16.
2. Сиротинін М.М. Життя на висотах і хвороба висоти. – К.: АН УРСР, 1939. – 225 с.
3. Сиротинин Н.Н. Гипоксия и ее значение в патологии // Гипоксия. – К.: АН УРСР, 1949. – С. 19–27.
4. Білошицький П.В. Підсумки медико-екологічних досліджень у Приельбруссі // Фізіол. журн. – 49, № 3. – 2003. – С. 36–46.
5. Колчинская А.З., Белошицкий П.В. Н.Н. Сиротинин и его школа. – Нальчик: КБНЦ РАН, 1998. – 74 с.
6. Ужанский Я.Г. Физиологические механизмы регенерации крови. – М.: Медицина, 1968. – 264 с.
7. Колчинская А.З. Кислородные режимы организма ребёнка. – К.: Наук. думка, 1973. – 320 с.
8. Математическое моделирование в исследовании процесса адаптации организма к гипоксии / Ю.Н. Онопчук, П.В. Белошицкий, Д.И. Марченко и др. // Автоматизированный анализ гипоксических состояний. – Нальчик; М.: КБНЦ РАН, 2003. – С. 193–195.
9. Сиротинин Н.Н. Эволюция резистентности и реактивности организма. – М.: Медицина, 1981. – 234 с.
10. Белошицкий П.В., Сиротинин Н.Н. Повышенная резистентность организма как следствие изменений, вызванных адаптацией к гипоксии // 2-й междунар. конгр. по патологической физиологии. – Прага, 1975. – С. 373.
11. Данилейко В.И., Красюк А.Н., Белошицкий П.В. Влияние активной высокогорной акклиматизации на выносливость организма к физическим нагрузкам // Адаптация человека. – Л.: Наука, 1972. – С. 223–241.
12. Высокогорная тренировка спортсменов / Н.Н. Сиротинин, П.В. Белошицкий, В.И. Данилейко и др. // Географическая среда и здоровье населения. – Нальчик: Б.и., 1970. – С. 31–33.
13. Влияние акклиматизации к горному климату и адаптации к гипоксии на резистентность организма к экстремальным воздействиям / Н.Н. Сиротинин, В.И. Данилейко, В.В. Мацынин и др. // Реф. информ. о законченных н.-и. работах в ин-тах АН УССР. Физиология человека и животных. – К.: Б.и., 1969. – Вып. 3. – С. 83.
14. Использование пребывания в горах для укрепления здоровья трудящихся / Н.Н. Сиротинин, П.В. Белошицкий, В.И. Данилейко и др. // Физ. культура в режиме труда и отдыха. – К.: 4-я Воен. типогр., 1971. – С. 231–233.
15. Дударев В.П. Роль гемоглобина в механизмах адаптации к гипоксии и гипероксии. – К.: Наук. думка, 1979. – 150 с.
16. Онопчук Ю.Н. Имитационное моделирование процесса управления внешним дыханием и кровотоком в организме человека // Кибернетика. – 1979. – № 6. – С. 152–154.
17. Онопчук Ю.Н. Об одной общей схеме регуляции режимов внешнего дыхания, минутного объема крови и тканевого кровотока по кислородному запросу // Кибернетика. – 1980. – № 6. – С. 110–115.
18. Aralova N.I., Beloshitsky P.V., Onopchuk Yu.N. Mathematical models of respiratory systems and circulation of the blood systems as well as estimation of the organism's Reserves and of the reliability of system's function // Pflugers Archiv. European S. of Physiol. – 1995. – Vol. 430, – № 4. – P. 496.
19. Beloshitsky P., Onopchuk Yu., Marchenko D. etc. Mathematical methods for investigating of the reliability of organisms functioning under the extreme conditions of high mountains // Fiziol. Zhurnal. – 2003. – Vol. 49, № 3. – P. 139–143.
20. Белошицкий П.В. Эльбрусская классификация гипоксических состояний // ASTROECO-2002: Physiology. – Kyiv: Vaite Co, 2002. – P. 30–31.
21. Beloshitsky P. Hypoxic states: classification // High Altitude Medicine and Biology. – 2002. – Vol. 3, № 1. – P. 128.
22. Білошицький П.В. Анабіоз // Енциклопедія сучасної України. – 2002. – 1, А. – С. 447–448.
23. Білошицький П.В. Анаеробіоз // Енциклопедія сучасної України. – 2002. – 1, А. – С. 448.
24. Білошицький П.В. Адаптація фізіологічна // Енциклопедія сучасної України. – 2002. – 1, А. – С. 180–181.
25. Білошицький П.В. Гіпертермія // Енциклопедія сучасної України. – 2006. – 5. – С. 624.
26. Білошицький П.В. Гіпоксія // Енциклопедія сучасної України. – 2006. – 5. – С. 625–626.
27. Білошицький П.В. Гіпотермія // Енциклопедія сучасної України. – 2006. – 5. – С. 626–627.

Стаття надійшла до редакції 23.10.07.