

## Комплексне дослідження організму людини в умовах ступінчатої високогірної акліматизації

В. І. Данилейко, В. П. Дударев, Г. О. Леонтьєва, В. В. Мацинін, П. П. Півторак,  
І. Ф. Соколянський

Відділ фізіології гіпо- і гіпероксичних станів Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця  
Академії наук УРСР, Київ

У процесі досліджень зрушень, спостережуваних в організмі людини і тварин в умовах адаптації і акліматизації до високогірного клімату, об'єктом вивчення були різні органи і функціональні системи.

Добре відомі, наприклад, численні дослідження формених елементів і гемоглобіну червоної крові, вміст яких в цих умовах звичайно збільшується в міру акліматизації організму до високогір'я. Однозначні дані одержані і при дослідженні кисневої ємкості крові, яка також підвищується за цих умов.

Як було вперше показано М. М. Сиротиніним і В. Т. Антоненко з допомогою електрофоретичних досліджень, проведених на людях і тваринах під час високогірних експедицій Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР 1963—65 рр., у процесі акліматизації підвищується не лише загальна концентрація гемоглобіну, а й вміст його рухомої фракції, яка має більш виразні кисеньзв'язуючі властивості. Цей факт підтверджувала Е. М. Семенечева, яка також обстежила учасників високогірної експедиції Інституту фізіології і одержала аналогічні результати.

Вивчення азотистого обміну при гіпоксії в горах було розпочато Альбицьким ще у 1884 р. Проте в питанні про закономірності динаміки білків сироватки крові, що має значення як при аналізі змін дихальної функції крові, так і зрушень загальної реактивності організму, досі ще багато нез'ясованого.

Так Тот [24], а потім Шименські [23] і Салас [22] виявили, що концентрація білка в умовах високогір'я більша, ніж у долині внаслідок підвищеного вмісту альбумінів і зниженого — глобулінів. Асатіані [1], який одержав аналогічні дані, висловив думку, що на середніх висотах посилений синтез, а на великих — розпад білків. На відміну від раніше згаданих авторів Смоличев [13], користуючись методом електрофорезу, виявив зниження вмісту альбумінів і підвищення  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -глобулінів. Автор справедливо вважає, що диспротеїнемія при чотиримісячному перебуванні на висоті 4200 м пов'язана більше з порушенням синтезу білків, ніж з перерозподілом плазми, як це відзначається у перші дні перебування в умовах високогір'я.

Обширний фактичний матеріал зібрано вченими різних країн з розділу високогірної фізіології, присвяченому дослідженню функції зовнішнього дихання і основного обміну.

В результаті вивчення показників, що характеризують енергетич-



ний баланс організму в умовах високогірної адаптації і акліматизації, більшість авторів прийшли до висновку, що ці показники відрізняються відносною стійкістю. На перших етапах адаптації і акліматизації, як правило, спостерігається підсилення функції газообміну, підвищення величин, що характеризують інтенсивність основного обміну. В міру зміцнення акліматизаційних зрушень в організмі ці показники повертаються до рівня, зареєстрованого у вихідному стані до виїзду в гори, або незначно його перевищують. У праці Горяної і Данилейко [6] згадано також ряд досліджень, в яких відзначено зниження споживання кисню, що послужило підставою для перегляду положення про стабільність енергетичного обміну організму в умовах пристосування до гіпоксії. У праці показано, що окремі дані про чітке зниження інтенсивності зовнішнього дихання і основного обміну організму людини і тварини, одержані під час досліджень у гірських районах Середньої Азії (які, на думку різних авторів, є наслідком гіпофункції щитовидної залози, або високої температури середовища), навряд чи можуть бути використані для висновків, що мають загальнобіологічне значення, за якими зниження біоенергетичних показників свідчить про включення до акліматизаційного синдрому процесів, що здійснюються на тканинному рівні. Проте такий висновок поки неможна вважати обґрунтованим.

В результаті акліматизаційних зрушень, спостережуваних у різних ланках функції дихання, підвищується напруження кисню в тканинах організму ( $pO_2$ ). Можна припустити, що дієздатність різних функціональних систем і показники напруження кисню в тканинах організму взаємозв'язані. Проте знання про їх зміни в процесі високогірної акліматизації далеко не рівноцінні. Якщо кисневу ємкість крові і ряд інших показників життєдіяльності людини у цих умовах періодично досліджували протягом кількох десятиліть, то вивчення динаміки  $pO_2$  в тканинах організму стало можливим лише останнім часом завдяки вдосконаленню полярографічного методу [2, 14, 20].

Поеднання дослідження різних ланок функціональної системи дихання з вивченням інших функціональних систем, наприклад м'язової, дозволяє більш об'єктивно оцінювати ефективність симптомокомплексу акліматизаційних зрушень в організмі людини і тварин. Зокрема, спостереження за станом м'язового тонусу людини і тварин при гіпоксії показали, що його зміни не завжди однозначні: в одних випадках гіпоксія супроводжується посиленням м'язової активності, в інших — пригніченням.

Так, Володимиров і Райко [5] спостерігали значне зниження витривалості досліджуваних до м'язового навантаження на висоті 5315 м над рівнем моря і підвищення вмісту молочної кислоти при м'язовому спокої на висотах 4250 і 5315 м, що, на думку авторів, не може бути лише результатом зменшеного постачання тканин киснем.

В дослідженнях Шпільберга [15] виявлено посилення струмів дії м'язів у людей при довільній затримці дихання. Дихання «гіпоксичними» сумішами, які містять 10,72—17,72% кисню (що відповідає висоті 5—8 тис. м над рівнем моря) спочатку супроводжувалось посиленням струмів дії м'язів, а при дальшому спостереженні — зниженням. Аналогічні дані були одержані при вивченні біоелектричної активності м'язів досліджуваних під час довільної затримки дихання [17].

У працях деяких зарубіжних авторів також описано підвищення м'язового тонусу при гіпоксії, або його зниження при гострій гіпоксії [18].

Котке та ін. [19] відзначали пригнічення довільної м'язової активності і дрижання у мишей при гіпоксії, що відповідає висоті 8—9 тис. м.



Подібна реакція спостерігалась у собак і людей при вмісті кисню у вдихуваному повітрі 10—12%.

Іванов [7] спостерігав підвищення терморегуляційного м'язового тону і споживання кисню у тварин при диханні «гіпоксичними» сумішами з вмістом кисню 12—15% та зниження обох показників — при значному ступені гіпоксії (7—4% кисню у вдихуваному повітрі). Автор відзначає, що зниження терморегуляційного тону починається при вдиханні сумішей, які містять 10% кисню, що відповідає атмосфері на висоті 6 тис. м, і повністю зникає при вдиханні сумішей з 7% кисню, що відповідає висоті 8 тис. м.

На підставі аналізу розрізнених даних, нагромаджених в процесі вивчення різних аспектів життєдіяльності людини і тварин в умовах високогір'я, можна зробити висновок про доцільність комплексних досліджень, що дозволяють скласти більш різнобічне і цілісне уявлення про загальні закономірності акліматизаційних процесів у різних функціональних системах організму, про їх взаємозв'язок і взаємозалежність.

Наша стаття присвячена результатам комплексного дослідження організму людини в умовах ступінчатої високогірної акліматизації, запропонованої М. М. Сиротиніним як засобу для лікування різних захворювань, супроводжуваних гіпоксією [10], для підвищення резистентності організму до впливу прискорень, до умов, супроводжуваних впливом на організм розрідженого газового середовища [11], до інтенсивних фізичних навантажень [12] тощо.

### Методика досліджень

Досліди провадилися під час високогірної експедиції Інституту фізіології 1965 р. в Києві, Терсколі (2200 м над рівнем моря) і на висотах Ельбрусу — на Новому Кругозорі (2900 м), Льодовій базі (3700 м), де розташовані бази експедиції. Окремі розділи досліджень проведені на Притулку ІІ (4200 м). На кожній висоті обслідувані перебували протягом тижня. Обслідували учасників експедиції, які раніше неодноразово були в горах.

Кількість осіб, які були під наглядом на різних етапах досліджень, варіювала від 8 до 24. Проте в даній статті наведені лише дані, одержані з допомогою усіх застосованих методів, проведених на восьми досліджуваних.

1) Кількість еритроцитів, показання гематокриту, гемоглобін за Салі, кольоровий показник (КП), вміст гемоглобіну в кожному еритроциті (ВГЕ) визначала Г. О. Леонтьєва.

2) Кисневу ємкість крові за Ван-Слайком і динаміку фракцій гемоглобіну з допомогою електрофорезу на агарі вивчав П. П. Півторак.

3) Вивчали вміст загального білка сироватки крові і окремих його фракцій; загальний білок сироватки з допомогою біуретового реактиву; відокремлення фракцій на хроматографічному папері Ленінградської фабрики № 2 (4×40 см) на апараті УЕФ при застосуванні веронал-ацетатного буфера рН 8,6, з іонною силою 0,1, напругою 80 в, силою струму 1,2—1,3 ма на смугу, час розгону — 20 год. Забарвлення здійснювали бромфеноловим синім, елюати фотометрували на ФЕК-М при зеленому фільтрі. Дослідження проведене В. П. Дударевим.

Крім того вміст загального білка в сироватці крові визначала Г. О. Леонтьєва з допомогою купросульфатного експрес-методу.

4) Функції зовнішнього дихання, а під час обслідування на Льодовій — основний обмін (ОО) вивчав В. І. Данилейко з допомогою приладу «спірограф».

5) Напруження кисню ( $pO_2$ ) у триголовому м'язі плеча і трапецієвидному м'язі досліджували в умовах нормального атмосферного тиску (Київ), під час підйомів у барокамері на висоту 2100, 4200, 7000 м і на висотах Ельбрусу; «підйом» досліджуваних в барокамері ємкістю 15 м<sup>3</sup> і «спуск» з «висоти» здійснювали з швидкістю 5—7 м/сек. Величина напруження кисню, зареєстрована до вдихання кисню або до «підйому» в барокамері, була прийнята за вихідний фон. Вдихання кисню здійснювалось крізь маску, з'єднану з допомогою гумових шлангів з мішком Дугласа.

В умовах рівнини десятихвилинне вдихання кисню здійснювалось при нормальному барометричному тиску (Київ), а в умовах барокамери і на висотах Ельбрусу під тиском, що дорівнює тиску газового середовища на відповідних висотах.



Ступінь насичення крові киснем визначали з допомогою оксигемометра. Зміни напруження кисню в скелетних м'язах людини визначали полярографічним методом, на відкритому платиновому електроді. Голчастий електрод, що служив катодом, був виготовлений з дроту діаметром 0,6 мм. Бокову поверхню електрода вкривали кількома шарами ізолюючого лаку (вініфлекс).

Уколом крізь шкіру електрод вводили в м'яз на глибину 25—35 мм. Індиферентним електродом служила хлорсрібна пластинка. Реєстрацію показників здійснювали на полярографі ЛП-55 або на одноточковому електронному потенціометрі ЕПП-09 з чутливістю 300 мкв на шкалу і пробігом усієї шкали (280 мм) за 1 сек. Дослідження проведено І. Ф. Соколянським.

6) Досліджували біоелектричну активність трапецієвидного м'яза в спокійному стані при переміжному диханні навколишнім повітрям і чистим киснем. Біоструми м'яза реєстрували звичайним електрофізіологічним методом. В досліді були використані коаксіальні голчасті електроди. Запис біострумів м'яза здійснювали на осцилографі типу Н-700. В ряді дослідів паралельно з реєстрацією біострумів м'яза багаторазово вимірювали температуру поверхні шкіри над досліджуваним м'язом з допомогою електротермометра [8]. Дослідження проведено В. В. Мациніним.

## Результати досліджень

1. **Червона кров.** Помітне збільшення кількості еритроцитів відзначено лише після десятиденного перебування на Притулку 11 і вище (приріст становив 10,6%). Найвищими на цьому етапі досліджень були також показання гематокриту (+16,7%) і вміст гемоглобіну (+11,7%).

Пристосувальні реакції системи гемопоезу здійснювались за рахунок збільшення загальної кількості еритроцитів (без підвищення вмісту гемоглобіну в них). Більше того, посилення продукції еритроцитів на перших етапах акліматизації навіть супроводжувалось зниженням вмісту гемоглобіну. Потім під час перебування на Льодовій і Притулку 11 концентрація гемоглобіну в еритроцитах наблизилась до вихідного рівня.

2. **Киснева ємкість крові.** Киснева ємкість крові під час перебування в Терсколі знизилась на 11,1% порівняно з даними, одержаними на рівнині, а на Притулку 11 вона підвищилась на 31,8%.

Підвищення кисневої ємкості перебувало в прямій залежності від вмісту еритроцитів і концентрації гемоглобіну, але не було пропорційно змінам цих показників.

**Фракції гемоглобінів.** У всіх досліджуваних виявлено збільшення електрофоретичної рухомості фракцій гемоглобіну. Підвищення рухомості фракцій, видимо, пов'язане зі збільшенням спорідненості гемоглобіну до кисню, більш виражений в умовах високогір'я.

3. **Загальний білок сироватки крові та окремих його фракцій.** Вивчення концентрації загального білка на другий день перебування на висоті 2100 м не виявило істотних зрушень. Вміст загального білка збільшився лише на 0,1 г%, що перебуває в межах помилки вимірювання. Збереження постійності складу плазми не лише щодо електролітів, а й білків, і отже, й колоїдно-осмотичного тиску характерне для всіх організмів з високо розвинутою нервово-гуморальною регуляцією. Тому при вивченні концентрації білка сироватки на тридцятий день перебування в горах з ступінчастим підйомом на висоту 4200 м (а деяких досліджуваних на висоту 4800 м) також не виявлено статистично достовірних відмінностей щодо вихідних даних.

Колоїдно-осмотичний тиск крові, визначений за діаграмою Отта, знизився лише на 10,5%. Це пов'язано, видимо, із зниженням вмістом альбумінів ( $p < 0,1$ ), які створюють майже вдвоє більший онкотичний тиск, ніж глобуліни.

Відзначена тенденція альбумінів до зниження (—8,5% наприкінці



акліматизації), що супроводжується гіперглобулінемією, в результаті чого відношення альбумінів до глобулінів знизилось.

Статистично достовірне підвищення  $\alpha_2$ -глобулінів ( $p < 0,01$ ),  $\beta$ -глобулінів ( $p < 0,02$ ) і  $\gamma$ -глобулінів ( $p < 0,01$ ), що не виходить, проте за межі фізіологічної норми, слід вважати, видимо, не стільки результатом порушення їх синтезу, розпаду або перерозподілу, скільки відбиттям змін реактивності організму у процесі адаптації до високогір'я, що здійснюється на молекулярному рівні. Навряд чи можна вважати випадковим, що при адаптації до гіпоксії збільшується концентрація саме тих білкових фракцій, окремі компоненти яких беруть участь у дихальній функції крові.

Так, підвищення концентрації  $\alpha_2$ -глобулінової фракції заслуговує на увагу в тому відношенні, що 20% її становить гаптоглобін [2], єдиний білок сироватки крові, здатний сполучатися з оксигемоглобіном, і який набуває при цьому пероксидазну активність. З  $\beta$ -глобуліновою фракцією мігрує трансферин, який становить 3—5% загального вмісту білків, здатних переносити залізо плазми. Фізіологічна ж роль  $\gamma$ -глобуліну полягає, переважно, у створенні і підтриманні імунітету. Підвищення його концентрації також є відбиттям мінливої реактивності організму.

Місцем синтезу білків сироватки крові вважають печінку, плазматичні клітини кісткового мозку і ретикулоендотеліальної системи, діяльність якої на малих висотах також стимулюється. Тому природно, що в умовах кисневої недостатності змінюється не лише морфологічна картина крові, а й її біохімічний склад.

При визначенні загального білка сироватки, проведеному з допомогою купросульфатного методу, наприкінці акліматизаційного періоду, виявлено підвищення його концентрації на 7%, що, проте, не підтверджується даними, одержаними з допомогою біуретового реактиву.

**4. Функції зовнішнього дихання і основний обмін.** На всіх етапах акліматизації виявлено підвищення споживання кисню, особливо виразне у перші дні перебування в Терсколі. При цьому відзначено деяке пощашення пульсу і дихання (відповідно на 4,4 і 29,4%).

На Льодовій ці показники прийшли до вихідного рівня, але споживання кисню, визначене при збереженні вимог класичної схеми дослідження ОО, все ще перевищувало гадані показники (за Гарісом — Бенедиктом) на 28,7 і 11,3% порівняно з вихідними даними споживання кисню. Підвищення споживання кисню спостерігалось на фоні зниження вмісту еритроцитів, гемоглобіну, кисневої ємкості крові і навпаки.

**5. Напруження  $O_2$  в м'язах.** Як і в раніше проведених дослідженнях, знов була виявлена залежність між парціальним тиском кисню у вдихуваному повітрі і величиною його напруження в скелетних м'язах.

Вдихання кисню в умовах рівнини супроводжувалось 99—100%-ним насиченням артеріальної крові киснем і приблизно дворазовим збільшенням напруження кисню в м'язі. При цьому 100%-не насичення артеріальної крові киснем наставало на другій-третьій хвилині вдихання кисню, тоді як максимальне напруження кисню припадало на восьму-дев'яту хвилини [2].

Під час «підйому» досліджуваних в барокамері напруження кисню зменшувалось майже паралельно зниженню барометричного тиску. Це зменшення тривало і на «площадці» в прямій залежності від ступеня розрідження повітря в барокамері.

На «висоті» 4200 м напруження кисню в скелетному м'язі знижувалось більш ніж на 30% від вихідного рівня.



На 7000 м спостерігали швидке зменшення напруження кисню у триголовому м'язі плеча навіть після початку «спуску».

При вдиханні кисню на висоті артеріальна кров була насичена на 98—100%; проте показники  $pO_2$  у скелетному м'язі були нижче приблизно на 25% на «висоті» 2100 м і більш ніж на 30% на висоті 4200 м, щодо вдихання кисню в умовах нормального атмосферного тиску.

Після переходу на дихання навколишнім повітрям показники  $pO_2$  досягли свого вихідного рівня на п'ятій-сьомій хвилині, тоді як при нормальному атмосферному тиску таке явище наставало на восьмій-дванадцятій хвилині.

Через два — чотири дні перебування досліджуваних у Терсколі вдихання кисню викликало збільшення напруження кисню в триголовому м'язі плеча і трапецієвидному м'язі, що в середньому для всіх досліджуваних виявилось незначно меншим, ніж в умовах рівнини і більшим, ніж на висоті 2100 м в умовах барокамери.

На сьомий — дев'ятий день перебування на цій висоті приріст  $pO_2$  в м'язах при десятихвилинному вдиханні кисню становив у середньому на 50,7% більше, ніж в умовах барокамери і перевищував приріст величини напруження кисню у тих самих досліджуваних, зареєстрований при першому обслідуванні.

Слід підкреслити, що підвищення приросту  $pO_2$  в м'язах при вдиханні кисню спостерігалось водночас із збільшенням кількості гемоглобіну і еритроцитів у крові.

Після більш ніж двотижневого перебування на високогір'ї та обслідування досліджуваних на висоті 3700 м над рівнем моря (Льодова база), приріст напруження кисню в скелетних м'язах людини вже на другий-третій день перебування на цій висоті в середньому дорівнював приросту  $pO_2$  в умовах Києва.

При підйомі досліджуваних на більші висоти стимулюючий вплив умов високогір'я підвищувався. Зростала також здатність організму підвищувати напруження кисню в м'язовій тканині при вдиханні кисню. Так, при повторному обслідуванні досліджуваних на Притулку 11 приріст  $pO_2$  був більшим у середньому на 64%, ніж на такій самій висоті в умовах барокамери. При цьому у досліджуваних було задовільне самопочуття, вони були спроможні виконувати значну фізичну роботу, піднімаючись з вантажем на висоту до 5000 м і більше, без будь-яких серйозних труднощів.

Отже, в організмі досліджуваних, які раніше жили в умовах рівнини (Київ), після більш ніж чотиритижневої активної ступінчатої акліматизації до високогір'я (2100—4200 м) створюються умови для підтримання більш високого напруження кисню в скелетних м'язах, ніж до акліматизації. Видимо, це одна з основних причин, що дозволяє організму в умовах значно зниженого  $pO_2$  у вдихуваному повітрі підтримувати процеси життєдіяльності на достатньо високому рівні і виконувати важку фізичну роботу в таких умовах.

**6. Біоелектрична активність м'язів.** У більшості досліджень, як у Києві, так і на висотах Ельбрусу, дихання досліджуваних чистим киснем супроводжувалось деяким зниженням біоелектричної активності м'язів, а перехід на дихання навколишнім повітрям із значно нижчим парціальним тиском кисню (від 159 до 98 мм рт. ст.) — підвищенням біоелектричної активності. Причому, м'язова активність більшості досліджуваних на висотах Ельбрусу була вища, ніж у Києві.

Про кількісні зміни біоелектричної активності м'язів досліджуваних можна судити з цифрових даних, наведених в таблиці.

Спостереження за температурою шкіри над досліджуваним м'язом



не виявили певної залежності між її змінами і величиною біоелектричної активності м'язів (рис. 1).

Одержані в наших дослідженнях результати певною мірою узгоджуються з наведеними літературними даними. Така реакція м'язової системи (а відповідно — і нервової) на зміни умов газового середовища, видимо, зумовлена рефлекторним збудженням дихального центра і посиленням іррадіації дихальних імпульсів на мускулатуру, яка взагалі не бере участі в диханні. Це

підтверджується і рядом наших спостережень, де відбувалася зміна звичайної для трапецієвидного м'яза тонічної активності на фазну (рис. 2).

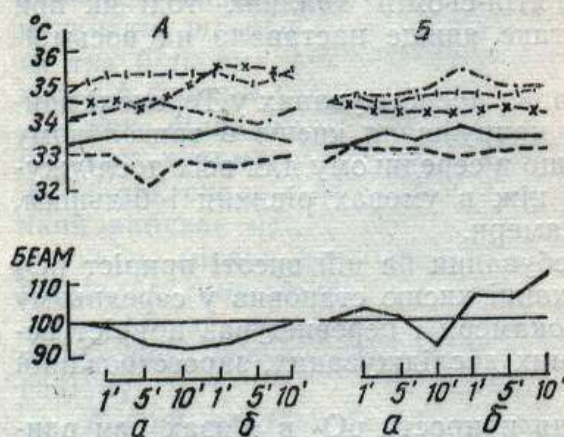


Рис. 1. Співвідношення амплітудних характеристик біоелектричної активності м'яза і температури поверхні шкіри досліджуваних на висоті 2100 м (Б) і в Києві (А).

а — кисень, б — відновний період.

### Обговорення результатів досліджень

Аналізуючи зміни життєдіяльності досліджуваних, спостережувані в процесі ступінчатої високогірної акліматизації, можна виявити такі закономірності — на початку акліматизації зниження, хоч і незначне, вмісту в крові гемоглобіну супроводжувалось зменшенням кисневої ємкості крові, почастенням пульсу,

дихання, підвищенням споживання кисню. При цьому відзначено збільшення рухомості фракцій гемоглобінів, підвищення  $pO_2$  в м'язі після вдихання кисню, яке було більш високим, ніж у вихідному стані. Вди-

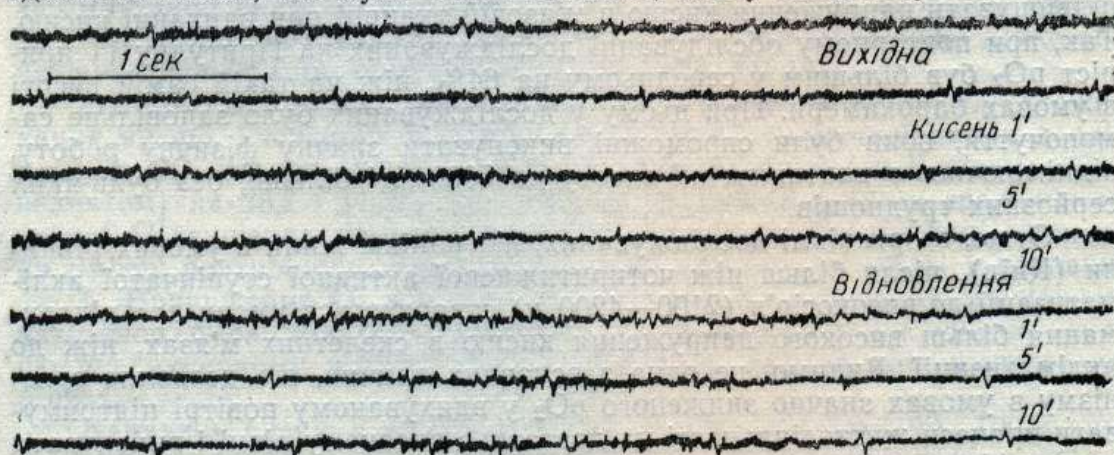


Рис. 2. Зміни характеру біоелектричної активності трапецієвидного м'яза досліджуваного в Терсколі.

хання кисню меншою мірою впливало на амплітудні характеристики біоелектричної активності м'яза. Зміни білкових компонентів сироватки крові не виражені. При перебуванні на високогір'ї протягом трьох-чотирьох тижнів, на Льодовій і Притулку 11 відзначено збільшення кількості еритроцитів і концентрації гемоглобінів, супроводжуване підвищенням рухомості фракцій гемоглобінів, збільшенням кисневої ємкості крові, зниженням концентрації альбумінів і збільшенням вмісту різних фракцій глобулінів у сироватці крові. Кількість спожитого



Результати комплексного дослідження учасників високогірної експедиції  
Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР  
у процесі ступінчатої акліматизації за М. М. Сиротиніним

| Об'єкт дослідження          | Показники                                                         |                                            | Київ  | Терскол                                        | Н. Круго-зір | Льодова база | Притулок II |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Система крові               | Червона кров                                                      | Еритроцити (в мл)                          | 4,731 | 4,720                                          | 4,893        | 4,870        | 5,230       |
|                             |                                                                   | Гематокрит (в %)                           | 42    | 44                                             | —            | —            | 49          |
|                             |                                                                   | Гемоглобін (в %)                           | 94    | 93                                             | 89           | 97           | 105         |
|                             |                                                                   | (в г%)                                     | 15,2  | 14,9                                           | 14,3         | 15,6         | 16,8        |
|                             |                                                                   | КП                                         | 0,97  | 0,95                                           | 0,89         | 0,97         | 0,97        |
|                             |                                                                   | ВГЕ (в мк/мкг)                             | 32,3  | 31,7                                           | 29,2         | 32,0         | 32,1        |
|                             | Фракції гемоглобінів                                              |                                            | —     | Збільшення вмісту рухомих функцій гемоглобінів |              |              |             |
|                             | Сироватка                                                         | Киснева ємкість крові в об'ємних процентах | 19,88 | 17,63                                          | —            | —            | 26,38       |
|                             |                                                                   | Загальний білок (купросульфатний метод)    | 7,0   | 6,9                                            | —            | —            | 7,5         |
|                             |                                                                   | Загальний білок (біуретановий метод)       | 7,1   | —                                              | —            | —            | 7,0         |
| Альбумін                    |                                                                   | 4,72                                       | —     | —                                              | —            | 7,0          |             |
| $\alpha_1$ -Глобуліни       |                                                                   | 0,30                                       | —     | —                                              | —            | 4,32         |             |
| $\alpha_2$ -Глобуліни       |                                                                   | 0,43                                       | —     | —                                              | —            | 0,55         |             |
| $\beta$ -Глобуліни          |                                                                   | 0,73                                       | —     | —                                              | —            | 0,88         |             |
| $\gamma$ -Глобуліни         |                                                                   | 0,98                                       | —     | —                                              | —            | 1,22         |             |
| A/G коефіцієнт              |                                                                   | 1,8                                        | —     | —                                              | —            | 1,6          |             |
| Система зовнішнього дихання |                                                                   | Частота пульсу                             | 68    | 71                                             | 69           | 61           | —           |
|                             | Частота дихання                                                   | 12,6                                       | 16,3  | 13,0                                           | 12,6         | —            |             |
|                             | Глибина дихання (в мл)                                            | 650                                        | 623   | 545                                            | 496          | —            |             |
|                             | Життєва ємкість легень (в мл)                                     | 3787                                       | —     | 3660                                           | 3709         | —            |             |
|                             | Споживання O <sub>2</sub> (в мл/хв)                               | 274                                        | 382   | 306                                            | 305          | —            |             |
|                             | Зміни обміну в процентах                                          | +15,8                                      | +58,5 | +29,3                                          | +28,7        | —            |             |
|                             | pO <sub>2</sub> в м'язі в процентах після вдихання O <sub>2</sub> | 100                                        | 150,7 | —                                              | —            | 164,0        |             |
|                             | Вдихання O <sub>2</sub>                                           | 1 хв                                       | 102   | 104                                            | 100          | 96           | 101         |
|                             |                                                                   | 10 хв                                      | 90    | 98                                             | 93           | 92           | 98          |
|                             |                                                                   | Відновлення                                | 1 хв  | 92                                             | 106          | 91           | 104         |
| 10 хв                       |                                                                   |                                            | 96    | 110                                            | 98           | 114          | 100         |

кисню при цьому була нижче, ніж на перших етапах ступінчатої акліматизації, але все ще перевищувала величини, одержані на рівнині. Напруження кисню в м'язі після вдихання кисню підвищилося на 64% проти рівня, зареєстрованого до експедиції. Зміни біоелектричної активності м'язів при вдиханні кисню були такого ж характеру, як і на початку акліматизації. Наприкінці періоду відновлення амплітуда коливань досягала величин, спостережуваних до досліду, тоді як у перші дні акліматизації наприкінці періоду відновлення амплітуда електроміограми перевищувала вихідний рівень у середньому на 10%.



Відсутність помітних змін червоної крові під час досліджень, проведених у Терсколі і на Новому Кругозорі, видимо, можна, пояснити тим, що учасники експедиції раніше були в горах і, отже, якоюсь мірою вже були акліматизовані до своєрідних умов високогір'я. Підвищення  $pO_2$ , спостережуване в горах, певно, є наслідком кращої капіляризації м'яза, що настає за рахунок збільшення кількості функціонуючих капілярів. Можна гадати, що збільшення напруження кисню в м'язі лише незначною мірою є результатом акліматизаційних процесів, що відбуваються в м'язовій тканині, тому що воно настає вже на сьому-дев'яту доби перебування в горах, і протягом усього періоду акліматизації змінилось лише на 13,3%.

Шумицька [16], досліджуючи наявність акліматизаційних зрушень на тканинному рівні, також прийшла до висновку, що ступінчата високогірна акліматизація не викликає помітних змін показників тканинного дихання у тварин.

На думку М. М. Сиротиніна, поліпшення постачання організму киснем, спостережуване в процесі ступінчатої високогірної акліматизації на фоні поступового зниження рівня зовнішніх енерговитрат, відбувається, переважно внаслідок тренування різних функціональних систем, а не явищ пасивної адаптації, здійснюваної на тканинному рівні. Наші дані підтверджують цей висновок.

### Висновки

1. На перших етапах ступінчатої високогірної акліматизації відзначено зниження вмісту еритроцитів і гемоглобіну. Потім спостерігалось збільшення кількості еритроцитів і, з невеликим запізненням, вмісту гемоглобіну.

2. На всіх етапах дослідження виявлено збільшення вмісту рухомих фракцій гемоглобінів.

3. Киснева ємкість крові спочатку знижувалась паралельно із зменшенням вмісту еритроцитів, а потім наприкінці акліматизаційного періоду підвищувалася, перевищуючи вихідний рівень.

4. Щодо білків сироватки крові в умовах високогір'я відзначена тенденція глобулінів до підвищення і альбумінів до зниження.

5. Споживання кисню на всіх етапах акліматизації перевищувало належні (за Гаріс — Бенедиктом) показники, будучи найвищим у перші дні перебування в умовах високогір'я. Потім в міру перебування в горах інтенсивність дихання знижувалась, наближаючись до вихідних величин.

6. При вдиханні кисню напруження кисню в м'язі перевищувало рівнинний рівень, залишаючись таким же високим протягом усього періоду акліматизації.

7. В умовах рівнини і високогір'я дихання досліджуваних чистим киснем супроводжувалось зниженням біоелектричної активності м'язів, а перехід на дихання навколишнім повітрям — підвищенням. При цьому м'язовий тонус більшості досліджуваних в умовах високогір'я був вищим, ніж у Києві.

8. Найчіткіша залежність виявлена між коливаннями вмісту еритроцитів, гемоглобіну, кисневої ємкості крові і показниками зовнішнього газообміну. Помітного зв'язку між коливаннями цих показників і величинами, які характеризують динаміку фракцій гемоглобінів, напруження кисню в м'язі та біоелектричну активність, не виявлено.



## Література

1. Асатиани В. С.— Успехи соврем. биол., 1960, 29, 2, 161.
2. Березовський В. А., Соколянський І. Ф.— VI з'їзд Укр. фізіол. т-ва, «Наукова думка», К., 1964, 34.
3. Вакслейгер Г. А.— XXI науч. сессия, посвящ. двадцатилетию Оренбургского мед. и-та. Оренбург, 1964, 103.
4. Винницкая Р. С.— IX съезд Всес. о-ва физиол., биохим. и фармакол. Москва — Минск, 1959, 1, 130.
5. Владимиров Г. Е., Райко З. А.— Труды Эльбрусской экспедиции 1934—1935 гг. М.— Л., 1936, 321.
6. Горяна Г. А., Данилейко В. І.— Фізіол. журн. АН УРСР, 1966, XII, 3, 339.
7. Иванов К. П.— Физиол. журн. СССР, 1959, 45, 8, 988; Физиол. журн. СССР, 1964, 50, 12, 1477.
8. Мацынин В. В.— Энергетические показатели состояния организма при пониженном парциальном давлении кислорода. Дисс., К., 1965.
9. Сергиевский М. В.— Дыхательный центр млекопитающих и регуляция его деятельности. М., 1950.
10. Сиротинин Н. Н.— В кн.: Физиология и патология дыхания, гипоксия и оксигенотерапия. К., 1958, 82.
11. Сиротинин Н. Н.— В кн.: Материалы конференции по проблеме адаптации. Винница, 1962, 3.
12. Сиротинин Н. Н.— В кн.: Акклиматизация и тренировка спортсменов в горной местности. Алма-Ата, 1965, 3.
13. Смоличев Е. П.— Бюлл. экспер. биол. и мед., 1960, 50, 10, 78; в кн.: Вопросы физиологии и патологии высокогорья. Душанбе, 1963, 124.
14. Соколянський І. Ф.— Материалы симпозиума «Газообмен в условиях высокогорья». Фрунзе, 1965, 34.
15. Шпильберг П. И.— Архив биол. наук, 1940, 58, 6, 110.
16. Шумицька Н. М.— Фізіол. журнал АН УРСР, 1966, XII, 3, 334.
17. Agostoni E.— J. Appl. Physiol., 1963, 18, 1, 30.
18. Frey J., Küchle F.— Luftfahrtmed., 1943, VII, 357.
19. Kottke F. a. oth.— Am. J. Physiol., 1948, 153, 1, 10.
20. Montgomery H.— Feder. Proced., 1957, 16, 3, 697.
21. Numan M.— J. Clin. a. Lab. Invest., 1957, 9, 168.
22. Salas A.— Ann. fac. med., Lima, 1939, 22, 109.
23. Schemensky S.— Ztschr. klin. med., 1929, 111, 116.
24. Toth H.— Biochem. ztschr., 1928, 201, 2, 170.

Надійшла до редакції  
15.VI 1966 р.

### Комплексное исследование организма человека в условиях ступенчатой высокогорной акклиматизации

В. И. Данилейко, В. П. Дударев, В. В. Мацынин, Г. А. Леонтьева, П. П. Пивторак,  
И. Ф. Соколянський

Отдел физиологии гипо- и гипероксических состояний Института физиологии  
им. А. А. Богомольца Академии наук УССР, Киев

## Резюме

В условиях равнины (Киев) и на различных высотах Эльбруса (2100, 2900, 3700 и 4200 м над уровнем моря) проведено комплексное исследование группы испытуемых, проходивших высокогорную ступенчатую акклиматизацию по Н. Н. Сиротинину.

Было установлено, что в процессе ступенчатой высокогорной акклиматизации организма человека изменения красной крови наиболее выражены в условиях пребывания на Приюте 11, изменение электрофоретической подвижности фракций гемоглобинов наблюдалось с первых этапов высокогорной акклиматизации. Кислородная емкость крови в начале акклиматизации снизилась, а на Приюте 11 превысила исходный уровень.

В сыворотке крови отмечено возрастание содержания глобулинов и снижение —



альбуминов. Количество кислорода, потребляемого испытуемыми, несколько превышало исходные и должные (по Гаррис-Бенедикту) величины.

При вдыхании кислорода в условиях высокогорья 2100 м (Терскол) на второй — четвертый день пребывания на этой высоте, прирост напряжения кислорода в изучаемых мышцах был почти таким же, как в условиях равнины, в то время как на седьмой — девятый день он оказался значительно большим, чем в первые дни обследования.

Такое же явление наблюдалось и на больших высотах (Приют 11) после более чем трехнедельной акклиматизации к высотам 2100 — 3700 м.

Увеличение прироста напряжения кислорода в мышцах совпадало с нарастанием количества гемоглобина и эритроцитов в крови.

Все это указывает на возрастающую в условиях ступенчатой высокогорной акклиматизации способность организма повышать напряжение кислорода в мышцах, приобретаемую им при акклиматизации к условиям высокогорья. В большинстве исследований дыхание испытуемых чистым кислородом сопровождалось более или менее выраженным снижением биоэлектрической активности мышц, а переход на дыхание окружающим воздухом — повышением. В ряде исследований в этот период наблюдалось появление дыхательной импульсации, что, по-видимому, связано с усилением иррадиации дыхательных импульсов.

В работе содержатся данные о взаимосвязи между различными функциональными показателями, характеризующими некоторые стороны жизнедеятельности человека в условиях ступенчатой высокогорной акклиматизации.

## Comprehensive Investigation of the Human Organism under Conditions of High-altitude Acclimatization by Stages

V. I. Danileiko, V. P. Dudarev, G. A. Leontyeva, V. V. Matsynin, P. P. Pivtorak, I. F. Sokolyansky

*Department of hypoxia and hyperoxia of the A. A. Bogomoletz Institute of Physiology, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kiev*

### Summary

Comprehensive studies of a group of subjects going through high-altitude acclimatization by stages by N. N. Sirotinin's method were conducted under conditions of a plain (Kiev) and at various altitudes of Mt. Elbrus (2100, 2900, 3700 and 4200 metres above sea level, with some criteria tested at higher altitudes).

Data were obtained on the state of the external respiration, oxygen tension and bioelectrical activity of the human muscle. It was found that in the process of high-altitude acclimatization the alterations in the red blood are most pronounced under the conditions at 4800 m above sea level, the change in electrophoretic mobility of the hemoglobin fractions being observed from the first stages of high-altitude acclimatization.

In the serum there was an increase in the quantity of globulins. The quantity of oxygen consumed by the subjects somewhat exceeded the initial and expected values.

The increase in oxygen tension in the human muscle after inhalation of oxygen rose as acclimatization proceeded. There was a general enhancement in the muscular tone of the subjects. In most investigations inhalation of oxygen was attended by a fall in the bioelectrical activity of the muscles.

The paper contains data on the interrelation between various functional indices, characterizing some aspects of human vital activity under conditions of high-altitude acclimatization by stages.