

АСИМЕТРИЯ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ПРИ АДАПТАЦІЇ ДО УМОВ ВИСОКОГІР'Я

**В. І. Портніченко¹, Ю. В. Кравченко¹, О. Л. Євтушенко¹,
О. М. Бакуновський², І. О. Яхниця¹, В. М. Ільїн³**

*Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України¹
Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України²
Національний університет фізичного виховання і спорту України³*

Вивчали зв'язок між показниками мозкового кровообігу і сенсомоторними показниками у людей на різних етапах адаптації до середньогір'я. Дослідження проводили до, під час та після тритижневого перебування в горах на висоті 2100 м, а також під час короткочасних підйомів без фізичного навантаження на висоту 3900 м. Виявлено, що в початковому періоді адаптації до гіпоксії спостерігається десинхронізація між нервовими процесами в корі головного мозку і мозковим кровообігом, спостерігається інверсія і збільшення асиметрії мозкового кровообігу в бік домінування лівої півкулі головного мозку. При стійкій адаптації до високогір'я асиметрія мозкового кровообігу зникає, знижується кровообіг в головному мозку, формується міжпівкульова симетрія і знову відновлюється синхронізація мозкового кровообігу з нервовими процесами в корі головного мозку.

Ключові слова: гіпоксія, адаптація, асиметрія, мозковий кровообіг, вища нервова діяльність.

АСИММЕТРИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ ВЫСОКОГОРЬЯ

**В. И. Портниченко¹, Ю. В. Кравченко¹, А. Л. Евтушенко¹,
А. Н. Бакуновский², И. О. Яхниця¹, В. Н. Ильин³**

*Международный центр астрономических и медико-экологических исследований
НАН Украины¹
Институт физиологии им. А. А. Богомольца НАН Украины²
Национальный университет физического воспитания и спорта Украины³*

Изучали связь между показателями мозгового кровотока и сенсомоторными показателями у людей на разных этапах адаптации к среднегорью. Исследования проводили до, во время и после трехнедельного пребывания в горах на высоте 2100 м, а также во время кратковременных подъемов без физической нагрузки на высоту 3900 м. Обнаружено, что в начальном периоде адаптации к гипоксии наблюдается десинхронизация между нервными процессами в коре головного мозга и мозговым кровотоком, наблюдается инверсия и увеличение асимметрии мозгового кровотока в сторону доминирования левого полушария головного мозга. При устойчивой адаптации к высокогорью асимметрия мозгового кровотока исчезает, снижается кровообращение в головном мозге, формируется межполушарная симметрия и снова восстанавливается синхронизация мозгового кровотока с нервными процессами в коре головного мозга.

Ключевые слова: гипоксия, адаптация, асимметрия, мозговое кровообращение, высшая нервная деятельность.

ASYMMETRY OF THE BRAIN AT ADAPTATION THE HIGHLANDS

**V. I. Portnichenko¹, Yu. V. Kravchenko¹, O. L. Yevtushenko¹,
O. M. Bakunovskiy², I. O. Yachnytsia¹, V. M. Ilyin³**

*International Centre for Astronomy and Medical and Ecological Studies of NAS of Ukraine¹
Institute of Physiology by O. O. Bohomolets of NAS of Ukraine²
Kyiv National University of Physical Education and Sport of Ukraine³*

Association between cerebral blood flow and higher nervous activity in people at different stages of adaptation to the midlands was studied. Investigation were performed before, during and after a three-week stay in the mountains at an altitude of 2100 m, as well as during short-term ups without the physical load on the height of 3900 m. In the initial period of adaptation to hypoxia desynchronization between the nerve processes in the cerebral cortex and brain blood flow was

© В. І. Портніченко, Ю. В. Кравченко, О. Л. Євтушенко та ін.

observed. There was an inversion and an increase in the asymmetry of cerebral blood flow in the direction of the dominance of the left hemisphere of the brain. After the three-week stay in the mountains asymmetry of cerebral blood flow was disappeared, blood flow to the brain was reduced, hemispheric symmetry was formed, and blood flow synchronized with the nerve processes in the cerebral cortex again was restored.

Key words: hypoxia, adaptation, asymmetry, cerebral blood circulation, higher nervous activity.

Вступ. Симетрія й асиметрія закріплені генетично і визначають нормальний перебіг онтогенезу. Ген *Pitx2* визначає асиметрію внутрішніх органів хребетних [1]. Симетрія виявляється як ознака, що забезпечує стабільність досягнень організму, як ознака його стійкості. Прояв асиметрії забезпечує підтримку неврівноваженості, стану, що гарантує процес мінливості [2]. Експедиційні дослідження в горах на людині показали, що емоційна інформація краще запам'ятовується правою півкулею, але водночас поліпшення відтворення нової інформації переважно відбувається в лівій півкулі. Обумовлювання цих двох видів інформації, очевидно, вимагає активації міжпівкульової взаємодії в процесі адаптації [3]. Методом реоенцефалографії було встановлене підвищення обсягу мозкового кровообігу при диханні гіпоксичною сумішшю, що містить 8,9 % кисню в азоті [4]. Адаптаційний ефект до періодичної гіпоксії виявляється в поліпшенні пульсового кровонаповнення мозкових судин, підвищенні тонуусу артерій і венул, зростанні стійкості нервових центрів і мозкових судин до гіпоксії [5]. Гіпоксія приводить до фазних змін імпульсної активності нейронів мозочка: чергування гальмівного і збуджувального процесів з наступним відновленням вихідного рівня при реоксигенації. Повторний вплив гіпоксії підвищує стійкість нейрона до даного екстремального фактора. Замість першої гальмівної фази реєструється фаза активації, термінальне пригнічення імпульсної активності нейронів мозочка настає при більш низьких, ніж при першому впливі, значеннях концентрації кисню [6]. Поліпшення регіонального кровообігу в тканинах мозку приводить до підвищення стійкості нейронів до гіпоксії та покращує показники ВНД людини [7]. Тому актуальним є вивчення характеру кровообігу головного мозку та його кореляції з показниками ВНД при адаптації до умов високогір'я.

Метою даного дослідження було вивчення асиметрії кровопостачання півкуль головного мозку та встановлення зв'язку між зорово-моторними та реоенцефалографічними показниками людини при дії високогірної гіпоксії.

Методика. Для вивчення дії гіпоксії на взаємозв'язок між вищою нервовою діяльністю (ВНД) і кровопостачанням головного мозку при адаптації до ви-

сокогірної гіпоксії визначали зорово-моторні і реоенцефалографічні параметри у групи з 10 чоловік в умовах рівнини (м. Київ), на початку тритижневої адаптації до висоти 2100 м (с. Терскол), після тижневої адаптації до і після одноразового підйому без фізичного навантаження на висоту 3900 м, наприкінці тритижневої адаптації і після прибуття на рівнину. Застосовувалися фронтомастоїдальні відведення на автоматизованому діагностичному комплексі "Кардіо+" для дослідження реоенцефалографічних показників. Визначали наступні параметри: середня швидкість швидкого кровонаповнення, середня швидкість повільного кровонаповнення, показник тонуусу артерій усіх калібрів, показник тонуусу артерій великого калібру, показник тонуусу артерій середнього і дрібного калібру, показник співвідношення тонуусів артерій, показник платоутворення, систолічний обсяг кровообігу хвилиний обсяг кровообігу, пульсове артеріальне кровонаповнення, хвилине артеріальне кровонаповнення, тонуус магістральних артерій, сумарний тонуус регіональних артерій, тонуус регіональних артерій великого калібру, тонуус регіональних артерій середнього калібру, дикротичний індекс, реографічний діастолічний індекс. Для дослідження ВНД проводилось реєстрування латентних періодів зорово-моторних реакцій (проста зорово-моторна реакція - ПЗМР, реакція вибору двох сигналів з трьох - РВ2-3), рівня функціональної рухливості (РФР) і динамічності (ДНП) основних нервових процесів в режимі зворотного зв'язку на приладі нейродинамічних обстежень ПНДО [8]. В якості подразників використовувались геометричні фігури: квадрат, коло та трикутник. Після пред'явлення 30 однорідних подразників реєструвалися середнє значення латентного періоду, середнє квадратичне відхилення, помилка середньої, коефіцієнт варіації, кількість помилок. Час переробки 120 подразників та час виходу на мінімальну експозицію сигналу в режимі зворотного зв'язку використовувались як показники рівня функціональної рухливості та динамічності нервових процесів. Розрахунок кореляційних коефіцієнтів за Пірсоном проводився з використанням програми "Excel".

Результати та їх обговорення. Основні показники лівої (l) та правої (r) півкуль головного мозку на рівнині (етап 1), на третю добу перебування на ви-

соті 2100 м (етап 2), на 21 добу перебування на висоті 2100 м (етап 3), на третю добу після повернення на рівнину (етап 3), зведені в таблицю 1.

Якісний характер змін у представлений на рисунку 1.

На рівнині визначаємо переважно більшу кількість піддослідних з домінуванням кровообігу в правій півкулі над лівою. На третю добу перебування на висоті 2100 м характер асиметрії в результаті дії високогірної гіпоксії змінюється на протилежний: у більшості обстежених спостерігаються зміни асиметрії кровообігу, внаслідок яких переважає кровообіг у лівій півкулі головного мозку. На 21 день перебування у горах, в результаті адаптації до високогір-

ної гіпоксії, спостерігається відновлення міжпівкульової асиметрії: домінує кровообіг вже у правій півкулі головного мозку. При цьому слід зазначити, що людей із відсутністю асиметрії вже не спостерігається. Після повернення на рівнину (на третю добу) знову збільшилася кількість осіб з домінуванням кровообігу у лівій півкулі головного мозку, що дозволяє вважати зміни асиметрії півкуль закономірною реакцією на зміну кисневого режиму головного мозку.

Зміни хвилинного кровообігу головного мозку для лівої та правої півкуль показані на рисунку 2. До підйому на висоту 2100 м хвилиний кровотік правої півкулі був достовірно більшим, ніж лівої. Після підйому спо-

Таблиця 1. Середні значення параметрів мозкового кровообігу на різних етапах адаптації до гіпоксії (n = 10)

Параметр	Етап 1	Етап 2	Етап 3	Етап 4
A1/C(1), %	6,200±1,031	5,981±0,448	6,366±0,532	8,235±1,160*
A2/C(r), %	10,795±1,726	10,939±2,205	12,748±2,531	18,176±7,418*
A1/A2(1), %	95,291±27,019	61,449±14,726*	73,336±12,695	72,582±15,351
A1/A2(Г), %	66,340±10,069	92,158±30,368*	71,280±16,840	84,975±24,814*
h4/h1(1), %	44,725±5,172	40,308± 2,300	41,522± 3,169	45,946±3,728*
h1/hd(1), МсеК	47,592±6,751	56,487±4,125*	58,934±7,899*	56,619±3,517*
h1/hd(r), МсеК	47,106±4,482	56,283±6,039	54,169±7,404*	63,679±7,213*
h5/h1(1), %	66,538±4,987	67,634±4,619	74,016±4,568*	78,066±2,352*
Vs(1), мл	2,001 ± 0,730	2,137± 0,622	1,201±0,169*	1,196±0,171*
Vs(r), мл	2,512 ± 0,672	1,508±0,328*	1,239±0,147*	0,995±0,169*
Vm(1),мл/хв.	155±49	146±32	83±8*	95±12*
Vm(r),мл/хв	190±42	105±15*	88±11*	74±8*
T(1), с	0,170±0,027	0,142±0,009*	0,140±0,007*	0,146±0,010*
T(r), с	0,150±0,009	0,132±0,015*	0,145±0,009	0,150±0,008
A(1), с	0,142±0,025	0,175±0,027*	0,152±0,020	0,173±0,018*
hd(1), Ом/с	1,900±0,371	1,721±0,231	1,365±0,163*	1,248±0,127*
(h1 -4)/A2(1), Ом/с	0,950±0,366	0,566±0,143*	0,567±0,098*	0,447±0,094*
h2/h1(1), б/р.	0,414±0,041	0,364±0,079	0,587±0,074*	0,498±0,052
h2/h1(r), б/р.	0,457±0,043	0,457±0,049	0,598±0,046*	0,490±0,067
h3/h1(1), б/р.	0,636±0,232	0,565±0,093	0,728±0,041*	0,614±0,049
h3/h1(r), б/р.	0,488±0,051	0,570±0,036	0,710±0,067*	0,666±0,065*

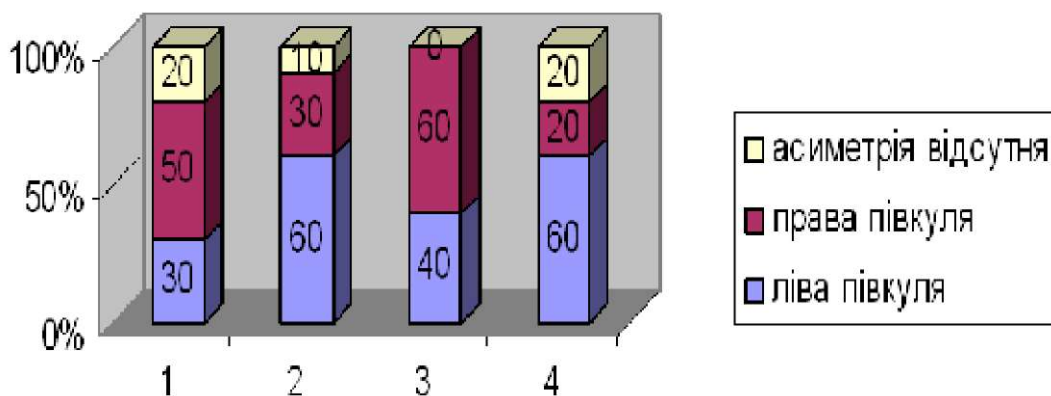


Рис. 1. Поетапний розподіл осіб з різною асиметрією мозкового кровообігу:

1 - на рівнині; 2 - на третю добу перебування на висоті 2100 м; 3 - на двадцять першу добу перебування на висоті 2100 м; 4 - на третю добу після повернення на рівнину.

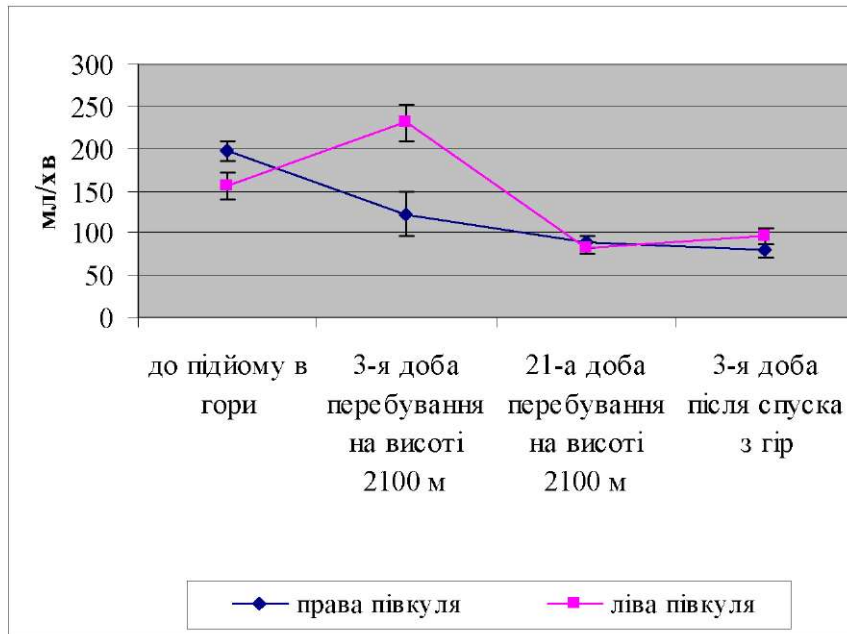


Рис. 2. Зміни хвилинного кровообігу лівої та правої півкулі головного мозку при адаптації до умов високогір'я.

стерігали інверсію і вже хвилиний кровотік лівої півкулі був достовірно більшим, ніж правої. В результаті адаптації до гіпоксії постачання крові до обох півкуль мозку вирівнюється і ця симетрія зберігається після повернення на рівнину. Вплив гіпоксії на реверс міжпівкульової асиметрії кровообігу головного

мозку в нашому випадку подібний до впливу іонізуючої радіації [9].

Найцікавіші розрахункові значення кореляційної залежності між показниками ВНД і параметрами реографії лівої і правої півкуль головного мозку представлені поетапно в таблиці 2.

Таблиця 2. Кореляційна залежність між показниками ВНД і параметрами реографії лівої і правої півкуль головного мозку

Кореляційні показники	Е		Т		А		П		И	
	1	2	3	4	5	6	5	6	6	6
h4/A1-РФР л	-0,07	-0,09	-0,21	-0,26	-0,72	-0,72				
h4/A1-РФР п	-0,92	-0,16	-0,50	0,18	-0,83	-0,89				
h1/hk РФР л	-0,36	-0,43	-0,27	-0,37	-0,60	-0,67				
h1/hk РФР п	-0,81	-0,18	-0,44	0,00	-0,82	-0,80				
hd РФР л	-0,14	0,06	-0,15	-0,36	-0,50	-0,72				
hd РФР п	-0,81	-0,03	-0,27	-0,10	-0,82	-0,89				
A1/C ПЗМР л	0,64	0,36	0,62	0,06	0,89	0,87				
A1/C ПЗМР п	0,89	0,34	0,87	-0,10	0,69	0,90				
h4/h1 ПЗМР л	0,80	0,15	0,38	-0,18	0,56	0,67				
h4/h1 ПЗМР п	0,72	0,11	0,38	-0,16	0,40	0,78				
h5/h1 ДНП л	-0,54	-0,51	-0,01	-0,72	-0,57	-0,61				
h5/h1 ДНП п	-0,51	-0,65	-0,56	-0,63	-0,42	-0,86				
hd ДНП л	-0,30	0,12	0,05	-0,04	-0,75	-0,63				
hd ДНП п	-0,69	0,16	-0,22	-0,32	-0,73	-0,78				

Етапи: 1 - початкові умови рівнини (Київ); 2 - на другий день після прибуття на висоту 2100 м (с. Терскол); 3 - до підйому без фізичного навантаження на висоту 3900 м; 4 - після підйому без фізичного навантаження на висоту 3900 м; 5 - наприкінці тритижневої адаптації до висоту 2100 м; 6 - прибуття на рівнину (Київ) після перебування в горах. Умовні скорочення і позначення: л - ліва півкуля головного мозку; п - права півкуля головного мозку; h4/A1 - середня швидкість швидкого кровонаповнення, Ом/сек; h1/hk - пульсове артеріальне кровонаповнення, б/р; hd - тонус регіональних артерій великого калібру, Ом/з; A1/C - показник тонусу артерій великого калібру, %; h4/h1 - співвідношення тонусів артерій, %; h5/h1 - показник платоутворення, %; ПЗМР - латентний період простої зорово-моторної реакції, мс; РФР - рівень функціональної рухливості нервових процесів, с; ДНП - динамічність нервових процесів, с.

Виявлена (рис. 3) значна кореляція між середньою швидкістю швидкого кровонаповнення $h4/A1$ правої півкулі головного мозку і рівнем функціональної рухливості (РФР) нервових процесів до перебування в горах ($r = -0,92$), наприкінці адаптації до гіпоксії ($r = -0,83$) і після перебування в горах ($r = -0,89$). Це можна

пояснити більшою інтенсивністю мозкового кровообігу і процесів метаболізму в лобово-центральному відділі кори правої гемісфери.

Для лівої півкулі (рис. 4) виявлена початкова відсутність кореляційної залежності між цими параметрами ($r = -0,07$), її подальший ріст у процесі адап-

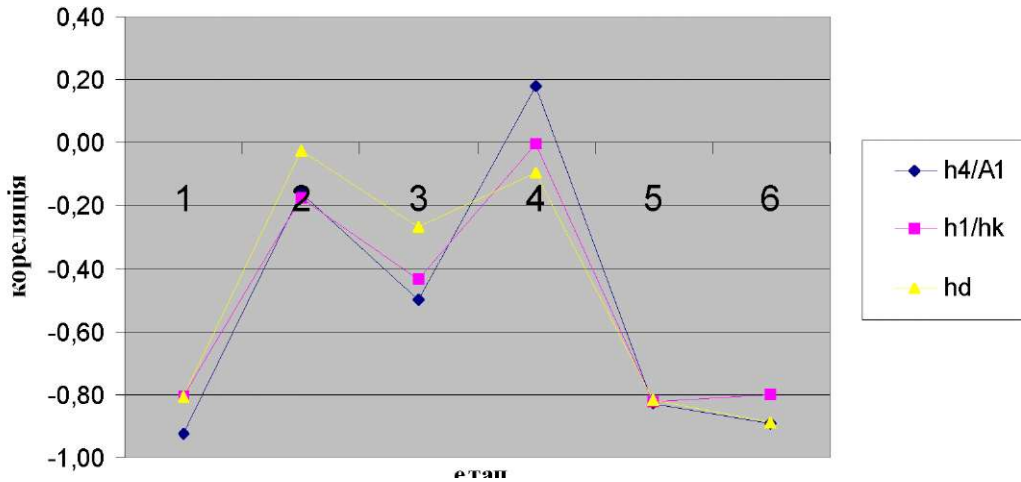


Рис. 3. Поетапний кореляційний зв'язок між РФР та показниками реографії правої півкулі головного мозку.

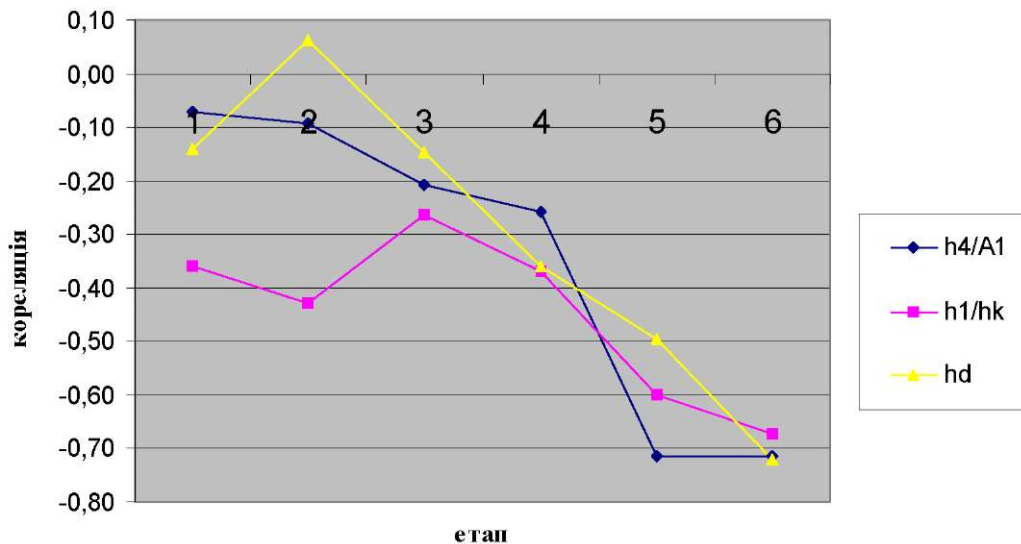


Рис. 4. Поетапний кореляційний зв'язок між РФР та показниками реографії лівої півкулі головного мозку.

тації до гіпоксії і виникнення зворотного кореляційного зв'язку наприкінці періоду адаптації ($r = -0,72$) і після повернення на рівнину ($r = -0,72$). Схожий характер зміни коефіцієнта кореляції для обох півкуль спостерігається між рівнем функціональної рухливості нервових процесів і пульсовим артеріальним кровонаповненням ($h1/hk$), тонусом регіональних артерій великого калібру (hd) (рис. 3, 4). Негативне значення коефіцієнта кореляції пояснюється тим, що показник рівня функціональної рухливості нервових процесів визначається зворотним методом, тобто розраховується не середня швидкість пред'явлення 120 под-

разників, а час виконання зорово-моторного тесту. Короточасний підйом на висоту 3900 м без фізичного навантаження не помітно впливає на характер підвищення коефіцієнта кореляції між розглянутими показниками для лівої півкулі і рівнем функціональної рухливості нервових процесів. Для правої півкулі спостерігається помітне його зниження після даного гіпоксичного стимулу. Наведені розходження між правою і лівою півкулями головного мозку підтверджують ефект інверсії півкульового домінування як психофізіологічного механізму періодичного гіпоксичного навантаження [10].

Виявлений (рис. 5) початковий кореляційний зв'язок між латентним періодом простої зорово-моторної реакції і показником тонузу артерій великого калібру A1/C (0,64 і 0,89) обох півкуль. На другий день після прибуття на висоту 2100 м спостерігається зменшення цього зв'язку ($r=0,36$ і $0,34$), відновлення в часі одного тижня ($r=0,62$ і $0,87$) і знову зниження після короткочасного підйому без фізичного навантаження на висоту 3900 м ($r=0,06$ і $-0,1$). Найшвидше після тижневої адаптації і підйому на висоту 3900 м відновлюються показники ВНД, характер зміни кровообігу головного мозку має відмінність у часовому аспекті [11]. Цей десинхронізм і обумовлює достовірне зниження кореляції між розглянутими величинами. Кореляційний зв'язок між цими параметрами відновлюється до кінця перебування в го-

рах ($r=0,89$ і $0,69$) і після повернення на рівнину ($r=0,87$ і $0,9$). Аналогічна залежність має місце між періодом простої зорово-моторної реакції і співвідношенням тонузів артерій $h4/h1$ (рис. 5). Зменшення коефіцієнта кореляції при підйомі на висоту 2100 м з $0,8$ до $0,15$ для лівої півкулі, з $0,72$ до $0,11$ для правої півкулі і його зниження після підйому на висоту 3900 м з $0,62$ до $0,06$ для лівої півкулі, з $0,87$ до $-0,1$ для правої півкулі можна пояснити десинхронізацією між нервовими процесами в корі головного мозку і мозковим кровообігом у результаті дії значного гіпоксичного навантаження.

Найбільш стабільним на поетапному дослідженні адаптації до високогірної гіпоксії виявився коефіцієнт кореляції між показником платоутворення ($h5/h1$) і динамічністю нервових процесів (рис. 6). Негативні зна-

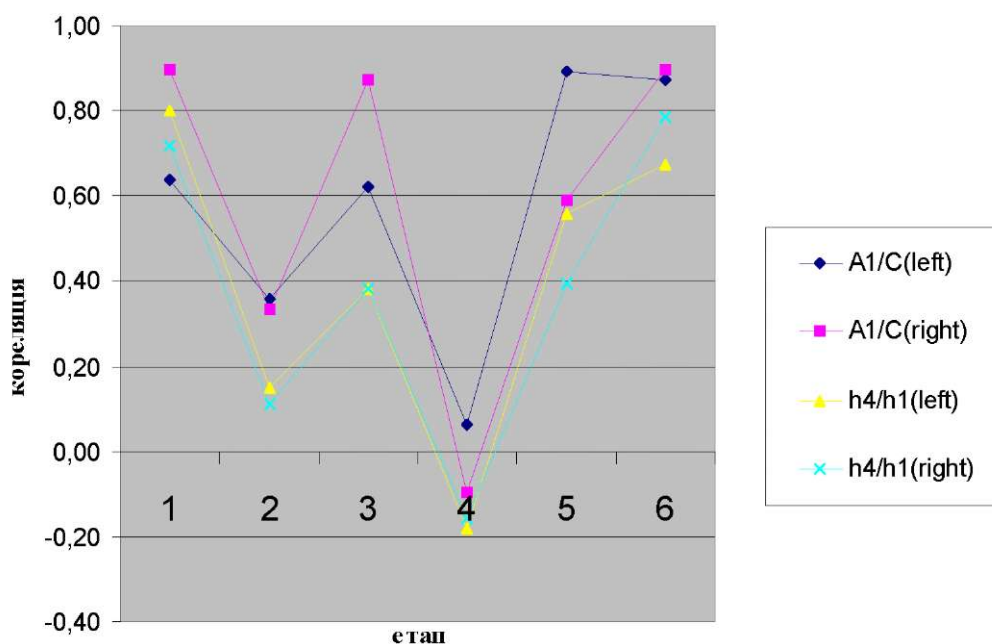


Рис. 5. Поетапний кореляційний зв'язок між ПЗМР та показниками реоенцефалографії.

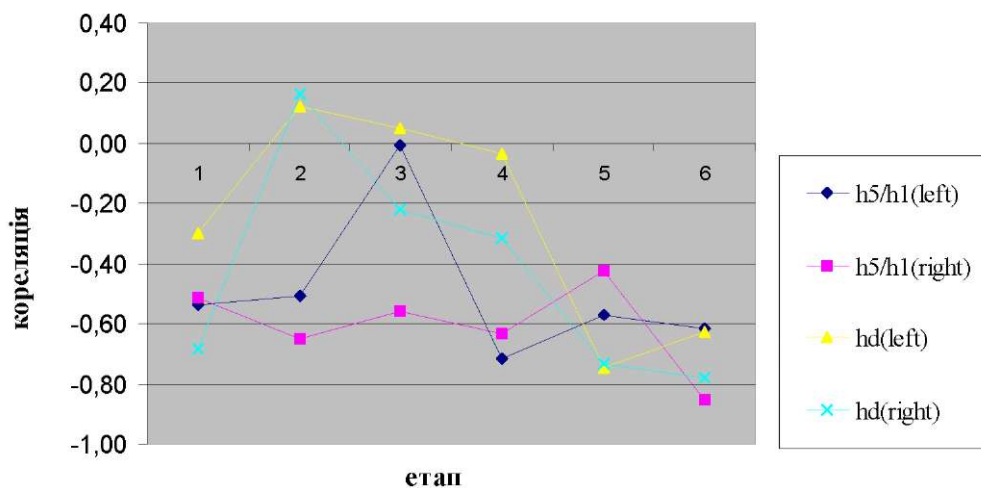


Рис. 6. Поетапний кореляційний зв'язок між ДНП та показниками реоенцефалографії.

чення коефіцієнта кореляції пояснюються зворотним значенням параметра ДНП, обумовленого як час виходу на мінімальну експозицію подразника. Чим менший цей час, тим вищою вважається динамічність нервових процесів. Характер зміни коефіцієнта кореляції між ДНП і тонусом регіональних артерій великого калібру (hd) для обох півкуль (рис. 6) подібний до характеру взаємозв'язку між РФР і hd

Висновки. 1. У початковий період перебування в горах спостерігається інверсія і збільшення асиметрії мозкового кровообігу у бік лівопівкульового домінування.

Література

1. Ryan K. A. Pitx2 determines left-right asymmetry of internal organs in vertebrates / K. A. Ryan, B. Blumberg, K. Tamura // *Nature*. - 1998. - Vol. 394, № 6. - P. 545-551.
2. Чермит К. Д. Симметрия-асимметрия в спорте / К. Д. Чермит. - М : Физкультура и спорт, 1992. - 256 с.
3. Ильюченко Р. Ю. Взаимодействие полушарий мозга у человека: установка, обработка информации, память / Ильюченко Р. Ю., Финкельберг А. Л., Ильюченко И. Р. - Новосибирск, 1989. - 167с
4. Сороко С.И. Индивидуальные особенности изменений биоэлектрической активности и гемодинамики мозга человека при воздействии экспериментальной и высокогорной гипоксии / С. И. Сороко, Р. М. Димаров // *Физиология человека*. - 1994. - Т. 20, № 6. - С. 16-27.
5. Кроливец Н. А. Влияние интервальной гипоксической тренировки на реоэнцефалографические показатели у младших школьников / Н. А. Кроливец, О. С. Глазачев // *Нурохіа Medical Journal*. - 1995. - Т. 3, № 2. - С. 15-17.
6. Власова И. Г. Адаптация к гипоксии на клеточно-тканевом уровне / И. Г. Власова, Н. А. Агаджанян // *Нурохіа Medical Journal*. - 1995. - Т. 3, № 2. - С. 6-10.
7. Колчинская А. З. Кислород, физическое состояние, работоспособность / Ася Зеликовна Колчинская. - К. : Наукова думка, 1991. - 206 с.
8. Макаренко М. В. Основы професійного відбору військових спеціалістів та методики вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми / Микола Васильович Макаренко. - К. : Сент-Жак, 2006. - 395 с.
9. Жаворонкова Л.А., Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / Л. А. Жаворонкова, Н. Б. Холодова. - М: Научный мир, 2009. - 836 с.
10. Леутин В. П. Инверсия полушарного доминирования как психофизиологический механизм интервальной гипоксической тренировки / В. П. Леутин, Я. Г. Платонов, Г. М. Диверт // *Физиология человека*. - 1999. - Т. 25, № 3. - С. 65.

Кравченко Ю. В. Імпульсно-періодична гіпоксія як метод прискорення адаптації до умов високогір'я / Ю. В. Кравченко, В. М. Ільїн, О. Л. Євтушенко та ін. // *вісник Черкаського університету. Серія. Педагогічні науки*. - 2007. - Вип. 105. - С. 43.