

УДК 351.755:612.133

ИЗМЕНЕНИЯ МОЗГОВОГО КРОВотоКА И ЕГО ВЗАИМОСВЯЗИ С НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ АДАПТАЦИИ К СРЕДНЕГОРЬЮ

Ю.В. Кравченко¹, А.Л. Евтушенко¹, А.Н. Бакуновский¹,
А.Д. Курданова³, В.И. Портниченко¹

¹Международный центр астрономических и медико-экологических исследований НАН Украины, г. Киев,

²Институт физиологии им. А.А. Богомольца НАН Украины, г. Киев,

³Эльбрусская участковая больница Министерства здравоохранения Кабардино-Балкарской Республики

В статье представлены результаты изучения взаимосвязей показателей мозгового межполушарного кровотока и нейродинамических процессов у людей в процессе трехнедельного пребывания в горах на высоте 2100 м и после возвращения. Выявлено, что в горах сначала происходили функциональные изменения мозгового кровотока в сторону левополушарного доминирования, к концу пребывания такая асимметрия уменьшалась. В начале адаптации наблюдалась десинхронизация связей мозгового кровотока с нервными процессами, через три недели они становились симметричными и более устойчивыми. В результате адаптации происходило формирование как межполушарной симметрии мозгового кровотока, так и его устойчивых связей с характером нейродинамических процессов.

Ключевые слова: гипоксия, адаптация, асимметрия, мозговое кровообращение, нейродинамические процессы.

Введение. Известно, что функциональное состояние организма человека при действии на него возмущающих факторов в значительной степени зависит от выраженности асимметрии полушарий головного мозга [5, 15]. При этом левое и правое полушария по-разному влияют на регуляцию центральных и вегетативных функций организма. Так, исследование регионарной вентиляции легких при спокойном дыхании показало, что экспериментальная (нормобарическая) гипоксия приводит к возникновению асимметрии деятельности различных отделов легких [3].

В условиях горной гипоксии имеет место напряжение регуляторных систем, в первую очередь центральной нервной системы, структуры которой высокочувствительны к дефициту O_2 [1]. При адаптации к гипоксии возникают особенности деятельности мозга человека, воспринимающего и анализирующего всю поступающую информацию, вырабатывающего критерии оценки изменения физико-химического состава внутренней среды, которые определяют оптимальные механизмы компенсации и сохранение физиоло-

гических параметров [12, 13]. Между тем исследования, посвященные особенностям нейродинамических процессов в горах, немногочисленны и противоречивы [8, 10].

Так, выявлено, что при гипоксической гипоксии наблюдаются особенности восприятия и воспроизведения информации разными полушариями: эмоциональная информация лучше запоминается правым полушарием, ее воспроизведение лучше происходит левым [4, 6], что свидетельствует о перестройке межполушарных взаимодействий [2]. При этом наблюдаются межполушарные изменения фазной активности нейронов коры и подкорковых структур [12]. Очевидно, указанные изменения сопряжены с тканевой гипоксией, компенсация которой связана с мобилизацией функций газотранспортных систем [1].

Установлено, что вдыхание газовых смесей со сниженным содержанием O_2 (8–10 %) сопровождается повышением объемной скорости кровотока и кровенаполнения мозговых сосудов [6].

При этом актуальным представляется изучение взаимосвязей между характером

кровотока головного мозга и нейродинамическими процессами в условиях длительного действия гипоксии, что имеет место при адаптации к горным условиям.

Цель исследования. Выявление взаимосвязей между особенностями кровоснабжения полушарий головного мозга и характером психофизиологических проявлений в разные сроки адаптации в горах.

Материалы и методы. В обследовании приняли участие 10 добровольцев (здоровые мужчины первого зрелого возраста). Исследования проводили в условиях равнины (г. Киев, 50 м над у. м.) и в горах (п. Терскол, Приэльбрусье, 2100 м над у. м.). Были определены четыре основных этапа обследования: до поездки в горы (1-й этап), на 3-й и 21-й дни пребывания в горах (2-й и 3-й этапы), через 3 дня после возвращения на равнину (4-й этап).

Реоэнцефалографические исследования проводили с помощью автоматизированного диагностического комплекса «Кардио+» (Украина). Определяли скорость медленного и быстрого кровенаполнения, тонус артерий всех калибров. Рассчитывали следующие показатели: минутный объем крови, пульсовое и минутное артериальное кровенаполнение, дикротический и диастолический индексы, тонус артерий.

Для изучения нейродинамических характеристик использовали прибор ПНДИ (Украина) [11]. Фиксировали латентные периоды

следующих зрительно-моторных реакций: простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР), выбор двух сигналов из трех (РВ2-3). Рассчитывали уровень функциональной подвижности (УФП) и динамичности нервных процессов (ДНП) в режиме обратной связи [11]. В качестве раздражителей предъявлялись изображения геометрических фигур (квадрат, круг и треугольник).

Математическую обработку полученных результатов осуществляли с помощью пакета компьютерных программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Было выявлено, что до поездки в горы у большей части обследованных доминировал правополушарный кровоток. На 3-й день пребывания в горах кровоток изменился и стал доминирующим в левом полушарии. Через 3 нед. в горах межполушарные различия по кровотоку сгладились: ни у одного из обследуемых асимметрия не наблюдалась. На 3-й день после возвращения с гор характер распределения мозгового кровотока существенно отличался от контрольных данных, отмеченных на равнине, и в целом соответствовал величинам, отмеченным в первые дни после подъема в горы (рис. 1). Подобные изменения межполушарного кровотока под влиянием гипоксии, по-видимому, связаны с компенсаторно-приспособительными реакциями церебральных сосудов, установленными в условиях естественной (горной) и экспериментальной гипоксии [1, 9].

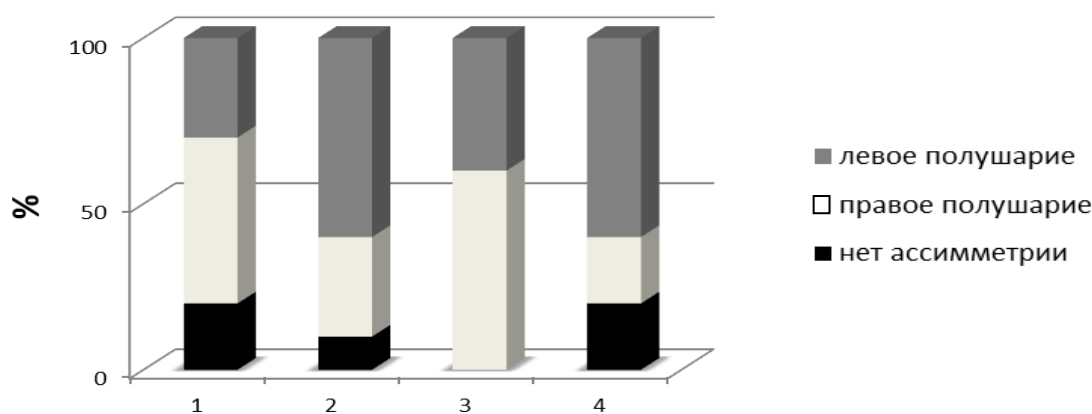


Рис. 1. Распределение полушарного кровотока на равнине (1), на 3-и (2), 21-е (3) сут адаптации в горах и после спуска на равнину (4)

Результаты проведенного исследования показали высокую степень корреляции между средней скоростью быстрого кровенаполнения правого полушария и функциональной подвижностью нервных процессов на равнине до поездки в горы ($r=-0,92$), на 21-е сут адаптации ($r=-0,83$) и после возвращения

с гор ($r=0,89$) (рис. 2), что может свидетельствовать о повышении функциональной активности нервных структур, процессов метаболизма и, соответственно, мозгового кровотока, имеющей межполушарные особенности на разных этапах обследования (табл. 1).

Таблица 1

Корреляционная зависимость между нейродинамическими показателями и значениями параметров кровотока левого и правого полушарий головного мозга

Корреляционные показатели	Этапы			
	1	2	3	4
h4/A1 – УФП л	-0,07	-0,09	-0,72	-0,72
h4/A1 – УФП п	-0,92	-0,16	-0,83	-0,89
h1/hk – УФП л	-0,36	-0,43	-0,60	-0,67
h1/hk – УФП п	-0,81	-0,18	-0,82	-0,80
hd – УФП л	-0,14	0,06	-0,50	-0,72
hd – УФП п	-0,81	-0,03	-0,82	-0,89
A1/C – ПЗМР л	0,64	0,36	0,89	0,87
A1/C – ПЗМР п	0,89	0,34	0,69	0,90
h4/h1 – ПЗМР л	0,80	0,15	0,56	0,67
h4/h1 – ПЗМР п	0,72	0,11	0,40	0,78
h5/h1 – ДНП л	-0,54	-0,51	-0,57	-0,61
h5/h1 – ДНП п	-0,51	-0,65	-0,42	-0,86
hd – ДНП л	-0,30	0,12	-0,75	-0,63
hd – ДНП п	-0,69	0,16	-0,73	-0,78

Условные обозначения: л – левое полушарие; п – правое полушарие; h4/A1 – показатель средней скорости быстрого кровенаполнения; h1/hk – показатель пульсового артериального кровенаполнения; hd – показатель тонуса региональных артерий большого калибра; A1/C – показатель тонуса артерий большого калибра; h4/h1 – показатель отношения тонуса артерий; h5/h1 – показатель платообразования.

Выявлена положительная корреляция между характером тонуса региональных артерий большого калибра левого полушария и подвижностью нервных процессов до поездки в горы. Эти корреляции повышаются на начальном этапе пребывания в горах (3-и сут) и резко снижаются по мере адаптации (21-е сут) и после возвращения на равнину (рис. 3). Похожий характер корреляционных отношений наблюдался между уровнем

функциональной подвижности нервных процессов и пульсовым артериальным кровенаполнением, а также тонусом региональных артерий большого калибра. Отрицательные корреляционные связи связаны не столько со средней скоростью предъявления раздражителей, сколько, по-видимому, с продолжительностью выполнения зрительно-двигательного теста.

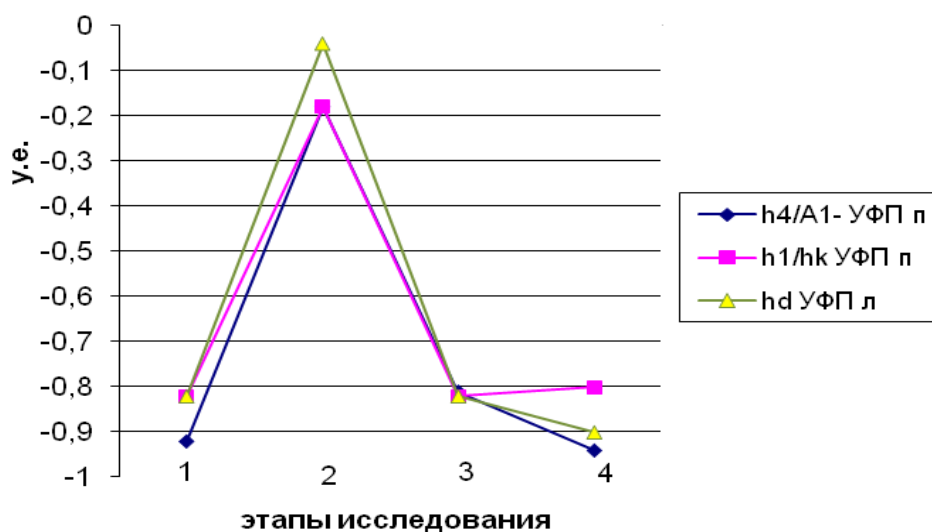


Рис. 2. Корреляционные связи между показателями функциональной подвижности нервных процессов и кровоснабжением правого полушария головного мозга

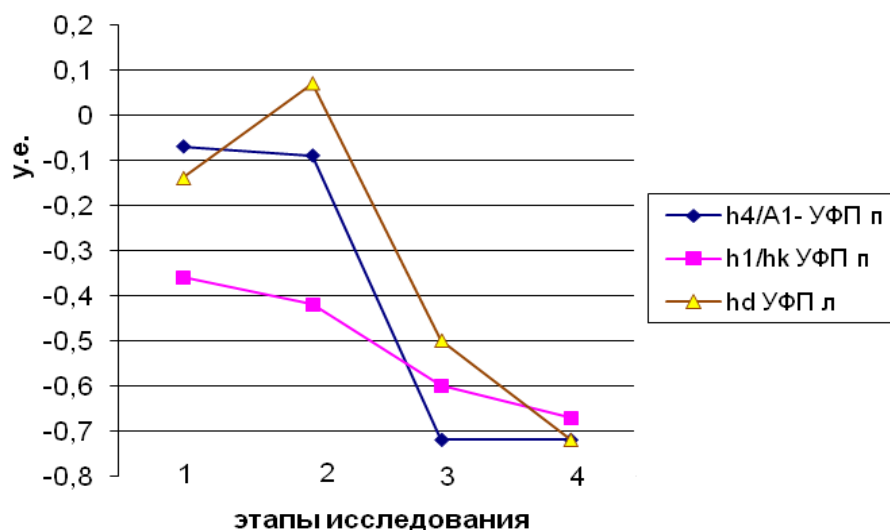


Рис. 3. Корреляционные связи между показателями функциональной подвижности нервных процессов и гемодинамикой левого полушария головного мозга на разных этапах обследования

Выявлена высокая однонаправленная корреляционная зависимость изменений латентного периода простой зрительно-моторной реакции от мозгового кровотока на всех этапах обследований, однако наиболее высокими коэффициенты корреляции оказались до и после поездки в горы, т.е. на уровне моря (рис. 4). Это свидетельствует о более высокой стабильности протекания нервных процессов в условиях нормального обеспечения организма кислородом, а низкие коэффициенты корреляции в горах – об их десин-

хронизации с мозговым кровотоком в результате гипоксического влияния.

При анализе взаимосвязей между показателями динамичности нервных процессов и мозгового кровообращения были выявлены отрицательные значения коэффициентов корреляции (рис. 5), что объясняется обратной величиной значений, обусловленных интервалом времени выхода на минимальную экспозицию показателя: чем он менее продолжительный, тем более высокой оказывается динамичность нервных процессов [7].

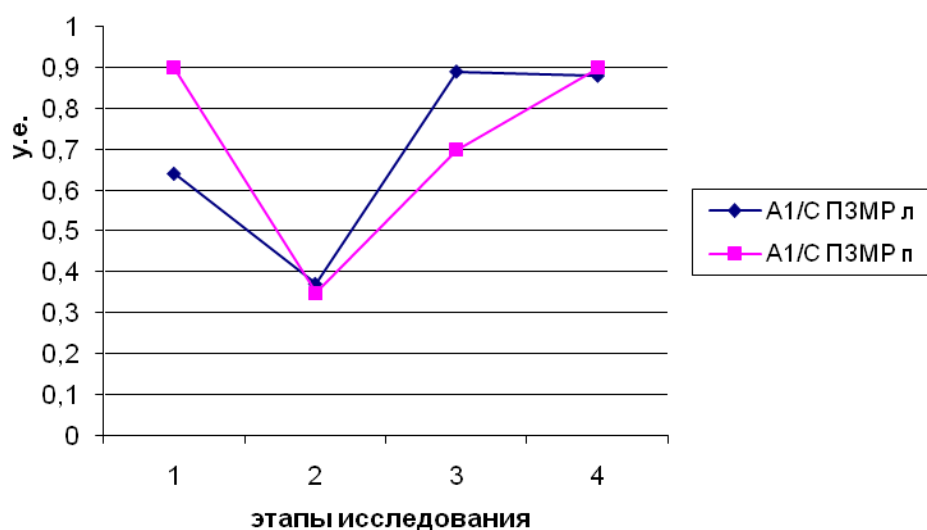


Рис. 4. Корреляционные связи между показателями латентного периода простой зрительно-моторной реакции и гемодинамики правого и левого полушарий головного мозга на разных этапах обследований

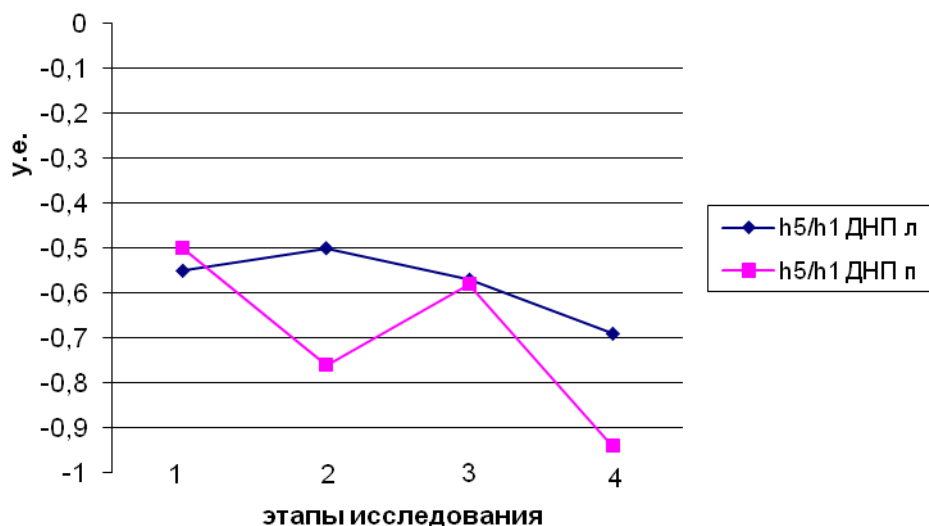


Рис. 5. Корреляционные связи между показателями динамичности нервных процессов и гемодинамики правого и левого полушарий головного мозга на разных этапах обследований

Заключение. Результаты исследований показали, что условия среднегорья оказывают определенное влияние как на изменение церебрального кровотока, так и на характер нейродинамических процессов. Выявлено, что в начальный период пребывания в горах происходят функциональные изменения мозгового кровотока в сторону левополушарного доминирования, в процессе адаптации межполушарная асимметрия мозгового кровотока уменьшается. При этом в начале адаптации наблюдается десинхронизация кровотока с нервными процессами, через 3 нед. эта взаи-

мосвязь становится более выраженной. Также в результате адаптации происходит формирование как межполушарной симметрии мозгового кровотока, так и его связей с характером нейродинамических процессов, о чем свидетельствуют показатели ПЗМР, УФП, ДНП.

1. Балькин М. В. Системные и органные механизмы кислородного обеспечения организма в условиях высокогорья / М. В. Балькин, Х. Д. Каркобатов // Российский физиологический журн. им. И. М. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 1. – С. 127–

136.

2. 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.

3. Влияние моделирования условий горного климата на общую и регионарную вентиляцию легких / В. А. Березовский [и др.] // *Кислородное голодание и способы коррекции гипоксии* : сб. науч. тр. – Киев : Наукова думка, 1990. – С. 68–75.

4. Джунсова Г. С. Горные жители Кыргызстана: особенности нейродинамических параметров мозга / Г. С. Джунсова // *Ульяновский медико-биологический журн.* – 2013. – № 1. – С. 116–123.

5. Жаворонкова Л. А. Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / Л. А. Жаворонкова, Н. Б. Холодова. – М. : Научный мир, 2009. – 836 с.

6. Ильюченко Р. Ю. Взаимодействие полушарий мозга у человека: установка, обработка информации, память / Р. Ю. Ильюченко, А. Л. Финкельберг, И. Р. Ильюченко. – Новосибирск, 1989. – 167 с.

7. Імпульсно-періодична гіпоксія як метод прискорення адаптації до умов високогір'я / Ю. В. Кравченко [и др.] // *Вісник Черкаського університету. Сер. Педагогічні науки.* – 2007. – Вип. 105. – С. 43.

8. Колчинская А. З. Кислород, физическое состояние, работоспособность / А. З. Колчинская. – Киев : Наукова думка, 1991. – 206 с.

9. Кроливец Н. А. Влияние интервальной гипоксической тренировки на реоэнцефалографиче-

ские показатели у младших школьников / Н. А. Кроливец, О. С. Глазачев // *Нурохіа Medical J.* – 1995. – Т. 3, № 2. – С. 15–17.

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.

11. Макаренко М. В. Основи професійного відбору військових спеціалістів та методики вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми / М. В. Макаренко. – Київ, 2006. – 395 с.

12. 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.

13. Филиппов М. М. Физиологические механизмы развития и компенсации гипоксии в процессе адаптации к мышечной деятельности : монография / М. М. Филиппов, Д. Н. Давиденко. – СПб. ; Киев : БПА, 2010. – 260 с.

14. Чермит К. Д. Симметрия-асимметрия в спорте / К. Д. Чермит. – М. : Физкультура и спорт, 1992. – 256 с.

15. Ryan K. A. Pitx 2 determines left-right asymmetry of internal organs in vertebrates / K. A. Ryan, B. Blumberg, K. Tamura // *Nature.* – 1998. – Vol. 394, № 6. – P. 545–551.

CEREBRAL BLOOD FLOW CHANGES AND ITS INTERRELATION WITH NEURODYNAMIC PROCESSES IN ADAPTING TO HIGH ALTITUDE

Yu.V. Kravchenko¹, A.L. Evtushenko¹, A.N. Bakunovsky², A.D. Kurdanova³, V.I. Portnichenko¹

¹International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev,

²Bogomoletz Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev,

³Elbrus district hospital of the Ministry of Health of the Kabardino-Balkar Republic

The article presents the results of the study of interrelations between hemispheric asymmetry of cerebral blood flow and neurodynamic processes in humans during a three week stay in the mountains at altitude of 2100 meters, and thereafter in plains. It was found that at first in the mountains the cerebral blood flow shifted to the left-brain predominance, at end of the stay, this asymmetry was reduced. Also in the early period of adaptation, desynchronization of links between cerebral blood flow and neural processes was observed, after three weeks they became balanced and more sustainable. As a result of adaptation inter-hemispheric symmetry of cerebral blood flow and its stable link with the character of neurodynamic processes were formed.

Keywords: hypoxia, adaptation, asymmetry, cerebral blood flow, neurodynamic processes.