

ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТИРОВАННОСТИ ЦЕРЕБРАЛЬНОГО ЭНЕРГООБМЕНА У МОЛОДЫХ ЖИТЕЛЕЙ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА С РАЗЛИЧНЫМ ВЕГЕТАТИВНЫМ ТОНУСОМ

Волокитина Т.В.¹, Аникина Н.Ю.², Котцова О.Н.¹, Грибанов А.В.^{1,2}

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Архангельск, e-mail: t.volokitina@narfu.ru;

²ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», Архангельск, e-mail: anikinanatalja@yandex.ru

Изучение физиологических механизмов адаптации человека в Арктическом регионе представляется актуальной задачей в современных социально-экономических условиях развития северных территорий. Цель исследования – определить особенности развития и состояния экологической адаптированности церебрального энергообмена у молодых жителей Арктического региона при разном исходном вегетативном тоне. Церебральные энергозатраты и вариабельность сердечного ритма изучались у 103 молодых людей (средний возраст $19 \pm 0,22$), постоянно проживающих в г. Архангельске. Оценка энергетического метаболизма головного мозга осуществлялась с помощью регистрации уровня постоянного потенциала головного мозга на аппаратно-программном комплексе «Нейро-КМ». Исследование вегетативной регуляции сердечного ритма проводилось методом кардиоритмографии с регистрацией фоновой электрокардиограммы в состоянии покоя с помощью аппаратного комплекса «Варикард». Особенности структуры и взаимоотношений показателей экологической адаптированности церебрального энергетического метаболизма у молодых людей с различным тоном вегетативной нервной системы устанавливались с помощью факторного анализа с варимакс-вращением. Анализ факторных структур у симпатотоников и ваготоников позволил выявить различные нейрофизиологические механизмы, отражающие экологическую адаптированность молодых жителей Арктического региона. Высокие значения энергозатрат лобных отделов у симпатотоников свидетельствуют о значительном напряжении управляющих функций и высокой централизации регуляторных процессов, то есть у симпатотоников адаптационные процессы еще не закончены и экологическая адаптированность энергетических процессов окончательно не сформирована. В отличие от симпатотоников, у ваготоников выявлены высокие значения энергозатрат в центральных отделах, которые тесно связаны с подкорковыми структурами головного мозга. Нейрофизиологические процессы, связанные с энергообеспечением головного мозга, у ваготоников протекают менее напряженно.

Ключевые слова: Арктический регион, молодые жители, адаптация, экологическая адаптированность, вегетативный тонус, уровень постоянного потенциала, церебральные энергетические процессы.

MANIFESTATIONS OF ECOLOGICAL ADAPTEDNESS OF CEREBRAL POWER EXCHANGE AT YOUNG INHABITANTS OF THE ARCTIC REGION WITH VARIOUS VEGETATIVE TONE

Volokitina T.V.¹, Anikina N.Y.², Kottsova O.N.¹, Griбанov A.V.^{1,2}

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, e-mail: t.volokitina@narfu.ru;

²North State Medical University, Arkhangelsk, e-mail: anikinanatalja@yandex.ru

The study of physiological mechanisms of human adaptation in the Arctic region is represented a relevant task in modern socio-economic conditions of development of northern territories. A research objective – to define features of development and a condition of ecological adaptability of cerebral power exchange at young inhabitants of the Arctic region at a different initial vegetative tonus. Cerebral energy consumption and variability of a cordial rhythm were studied at 103 young people (mean age $19 \pm 0,22$) permanently residing in Arkhangelsk. The assessment of the energy metabolism of a brain was carried out using the registration of the level of the constant potential of the brain on the Neuro-KM hardware-software complex. The research of a vegetative regulation of a cordial rhythm was carried out by the method of cardiac rhythmography with the registration of the background electrocardiogram at rest with the help of the “Varicard” hardware complex. The characteristics of the structure and interrelationships of the indicators of the ecological adaptability of cerebral energy metabolism in young people with different tones of the autonomic nervous system were established using factor analysis with varimax rotation. The analysis of factorial structures in sympathotonics and vagotonics

allowed us to identify various neurophysiological mechanisms that reflect the ecological adaptation of young people in the Arctic region. High values of energy consumption of the frontal divisions in sympathotonics indicate a significant stress in the control functions and a high centralization of regulatory processes, that is, in sympathotonics, adaptation processes have not yet been completed, and the ecological adaptation of energy processes has not been completely formed. In contrast to sympathotonics, vagotonics have high values of energy consumption in the central regions, which are closely related to the subcortical structures of the brain. **Neurophysiological processes associated with energy supply of the brain in vagotonics proceed less stressful.**

Keywords: Arctic region, young inhabitants, adaptation, ecological adaptedness, vegetative tone, level of constant potential, cerebral power processes.

Известно, что особенностью физиологических систем у человека на Севере и в Арктике является функциональное напряжение [1-3]. Кроме того, в течение годовых циклов происходят адаптивные изменения практически во всех органах и системах. Так, например, под влиянием изменений естественной освещенности меняется функциональное состояние центральной нервной системы [4]. Перестройки различных функциональных систем, происходящие под влиянием суровых климатогеографических условий высоких широт, формируют новое состояние организма – экологическую адаптированность, которое достигается ценой определенной биосоциальной платы [5; 6]. В то же время активизация деятельности человека в Арктике и реализация новой стратегии социально-экономического развития северных регионов диктует необходимость изучения не только физиологических механизмов адаптационных перестроек, но и физиологических характеристик функциональных систем как результата этих перестроек. Формирование экологической адаптированности церебрального энергообмена происходит при значительном увеличении его интенсивности в центральной нервной системе, что соответствует признакам синдрома адаптационного профицита церебрального энергообмена [7].

Однако данных о формировании экологической адаптированности энергетического состояния головного мозга в климатогеографических условиях Арктической зоны явно недостаточно, не описаны ее структура и характер. Нет данных о влиянии различных факторов на особенности формирования экологической адаптированности, как то: возраста, пола, состояния здоровья, межполушарной асимметрии головного мозга, исходного вегетативного тонуса и др., что, по нашему мнению, является весьма важным для разработки вопросов сохранения и укрепления здоровья, обоснования и применения лечебно-диагностических и коррекционно-реабилитационных мероприятий.

Цель настоящей работы – определить особенности развития и состояния экологической адаптированности церебрального энергообмена у молодых жителей Арктического региона при разном исходном вегетативном тонусе.

Материал и методы исследования. На первом этапе данной работы определялся исходный вегетативный тонус методом кардиоритмографии с регистрацией фоновой электрокардиограммы (ЭКГ) в состоянии относительного покоя (после предварительно

отдыха в положении сидя) в первой половине дня с помощью аппаратно-программного комплекса «Варикард». Исследовались временные параметры variability сердечного ритма у 103 молодых людей (45 юношей, 58 девушек, средний возраст $19 \pm 0,22$ года), родившихся и постоянно проживающих в г. Архангельске: стандартное отклонение средней продолжительности интервалов RR (SDNN); квадратный корень из среднего квадрата разности последовательных интервалов RR (RMSSD); процент последовательных интервалов RR, разница между которыми превышает 50 мс (pNN50, %). Увеличение временных параметров variability сердечного ритма расценивали как усиление парасимпатических влияний (группа ваготоников), снижение – как активацию симпатических влияний (группа симпатотоников). Оценивали параметры сердечного ритма в трех частотных диапазонах: высокочастотные колебания (0,4–0,15 Гц), HF (мс^2), характеризующие влияние парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС); низкочастотные колебания (0,15–0,04 Гц), LF (мс^2), отражающие преимущественно активность симпатического отдела; сверхнизкочастотные колебания (0,04–0,003 Гц), VLF (мс^2), которые характеризуют степень связи автономных сегментарных уровней регуляции кровообращения с надсегментарными. Также оценивали суммарную мощность спектра TF (мс^2) и рассчитывали индекс LF/HF, отражающий баланс симпатической и парасимпатической активности [8].

В дальнейшем исследование церебральных энергетических процессов проводилось у двух групп: 1 группа – 30 человек с симпатотонией и 2 группа – 21 человек с ваготонией. Поскольку показатели у юношей и девушек не имели достоверных отличий, то они были объединены в единые группы. К группе со смешанным вегетативным тонусом (амфотония) были отнесены 52 человека (51%).

Для оценки церебральных энергетических процессов осуществлялась регистрация уровня постоянного потенциала (УПП) головного мозга на аппаратно-программном комплексе «Нейро-КМ». Распределение УПП регистрировали монополярно с помощью хлорсеребряных электродов с контролируемой разностью потенциалов 1 мВ и усилителя постоянного тока с входным сопротивлением 100 кОм. Референтный электрод устанавливался на запястье руки. Активные электроды располагали на голове в лобной, центральной, затылочной областях вдоль сагиттальной линии и парасагиттальной в правом и левом височных отделах по схеме 10–20. Регистрацию осуществляли через 5 минут после наложения электродов с прокладками, смоченными насыщенным раствором NaCl для снижения кожного сопротивления и уменьшения величины кожных потенциалов. Во время регистрации проводили контроль кожного сопротивления.

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием программных продуктов SPSS-20 фирмы IBM for Windows. Проверка на нормальность распределения осуществлялась тестом Колмогорова-Смирнова. В случае нормального распределения переменных применялись параметрические методы для независимых выборок (t-Стьюдента). Результаты параметрических методов обработки данных представлялись в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (σ). Для всех приведенных результатов различия считались значимыми при уровне $p < 0,05$. Особенности структуры и взаимоотношений показателей экологической адаптированности церебрального энергетического метаболизма у молодых людей устанавливались с помощью факторного анализа с варимакс-вращением.

Методика проведенного научного исследования составлена и проведена в соответствии со статьями 5, 6 и 7 Всеобщей декларации о биоэтике и правах человека.

До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. При сборе материала для составления выборок соблюдались все необходимые условия: регистрация физиологических показателей проводилась в утреннее время, через 1,5–2 ч после приема пищи при максимальном физическом и психическом покое.

Результаты исследования и обсуждение. Сравнительный анализ значений распределения УПП выявил некоторые особенности энергозатрат по коре головного мозга у жителей Арктического региона в зависимости от вегетативного тонуса (таблица).

Распределение УПП головного мозга в однополярных отведениях у молодых людей с различным вегетативным тонусом, проживающих в Арктическом регионе ($M \pm \sigma$), мВ

Показатель	Симпатотоники ($n = 30$)	Парасимпатотоники ($n = 21$)
Fz	14,28 \pm 2,28	10,58 \pm 2,02 *
Cz	17,23 \pm 1,94	17,82 \pm 2,30
Oz	13,16 \pm 2,25	15,86 \pm 2,06
Td	12,04 \pm 2,12	9,37 \pm 1,70 *
Ts	10,78 \pm 2,12	9,49 \pm 1,36 *
Sum	67,49 \pm 9,27	63,12 \pm 7,61

Примечание. Звездочкой * обозначены статистически значимые различия между группами, $p < 0,05$.

Так, у молодых людей симпатотоников значения УПП во всех пяти монополярных отведениях были выше нормативных данных средней полосы. Минимальное отклонение от эталона регистрировалось в левом височном отделе. А в группе ваготоников значения уровня

потенциала в височных отведениях были ниже нормативов (рис. 1), что указывает на минимизацию энергетических процессов в данных отделах мозга.

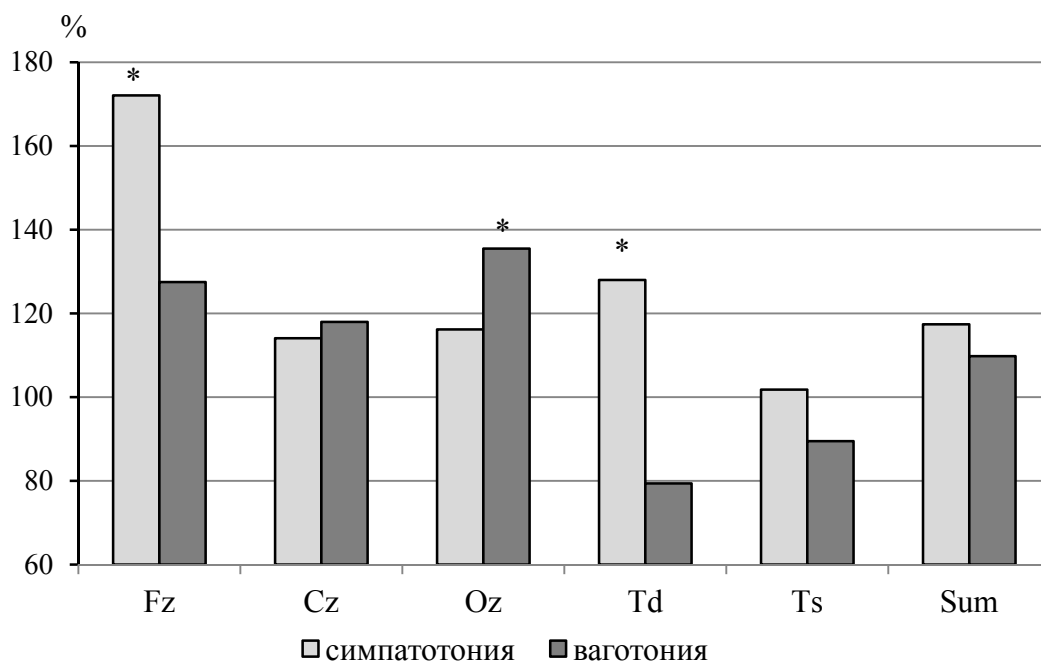


Рис. 1. Распределение УПП головного мозга у молодых людей Арктической зоны РФ в %% по отношению к нормативным значениям средней полосы

Примечание. Звездочкой * обозначены статистически значимые различия между фактическими и нормативными показателями, $p < 0,05$.

Межгрупповое сравнение свидетельствует о преобладании энергетических процессов во фронтальных отделах мозга у симпатотоников, что находит свое отражение в высоких значениях УПП в лобном отведении и положительных значениях локального (Fz-X) и межэлектродных градиентов постоянных потенциалов.

В группе ваготоников повышенная интенсивность энергетических процессов регистрируется в затылочном отведении при резком падении уровня потенциала в височных отделах и снижение энергозатрат во фронтальной области.

Обращает на себя внимание и значения межвисочной разности потенциала, характеризующие межполушарную асимметрию головного мозга [9]. В группе симпатотоников разность $Td - Ts = 1,25$ мВ, что указывает на доминирование активности правого полушария. В группе ваготоников данная разность отрицательна $Td - Ts = -0,12$ мВ и имеет значение меньше одного милливольт, что может свидетельствовать о тесном межполушарном взаимодействии с незначительным преобладанием активности левого полушария.

Суммарные значения УПП в группе симпатотоников были на 4,37% выше, чем в группе ваготоников. В группе ваготоников УПП в затылочных отделах был несколько выше, чем у симпатотоников.

Факторный анализ с использованием варимакс-ротации также выявил различия в состоянии экологической адаптированности церебральных энергетических процессов у молодых жителей Арктической зоны РФ при симпатотонии и ваготонии (рис. 2).

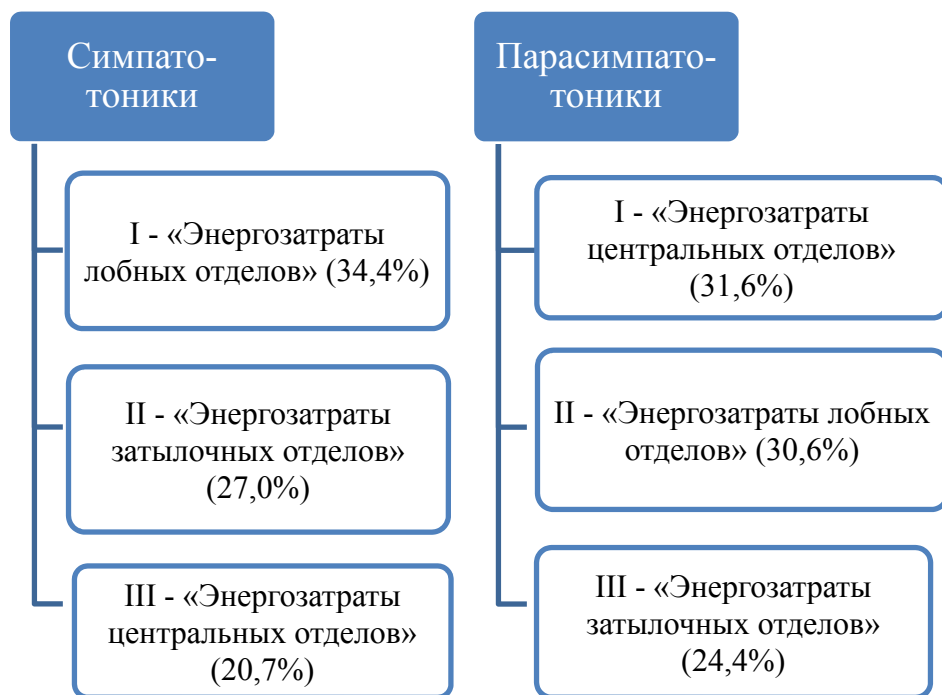


Рис. 2. Факторная структура экологической адаптированности церебрального энергообмена у молодых лиц с различным вегетативным тонусом

Факторные структуры, построенные по результатам исследования, указывают на различия энергетических процессов в коре головного мозга у симпатотоников и ваготоников. Так, первым фактором у симпатотоников являются «энергозатраты лобных отделов мозга». Вторым по значимости фактором выступают «энергозатраты затылочных отделов мозга», а третьим – «энергозатраты центральных отделов». У ваготоников первым является фактор «энергозатраты центральных отделов мозга», вторым – «энергозатраты лобных отделов», а третьим – «энергозатраты затылочных отделов». Следовательно, и распределение значений УПП, и факторные структуры указывают на различные механизмы церебрального энергетического обмена у молодых людей с разным типом регуляции ритма сердца. Так, у симпатотоников значения УПП выше по всей коре головного мозга в сравнении с парасимпатотониками. Известно, что благодаря работе симпатического отдела вегетативной нервной системы скорость окислительных процессов увеличивается [10]. Все это, видимо, и приводит к росту УПП в целом по всем отделам коры больших полушарий.

Кроме того, активность симпатического отдела ВНС отмечается при стрессовых ситуациях, с состоянием стресса также связывают повышение значений уровня постоянного потенциала мозга [11]. Высокие значения уровня постоянного потенциала в группе симпатотоников отмечаются в лобных отделах. Первый фактор в факторной структуре перераспределения энергетических затрат по коре также указывает на активизацию энергетических процессов лобного отдела и фронтальных структур головного мозга. Одной из главных функций лобных долей является анализ и синтез поступающей информации, формирование целевых установок и алгоритмизация дальнейшего функционирования организма.

В группе ваготоников, напротив, выявлено снижение значений УПП в сравнении с симпатотониками, а в височных отделах даже ниже нормативных. Данный факт, вероятно, связан с экономизацией вегетативных функций при повышении активности парасимпатического отдела ВНС. При этом увеличение энергозатрат регистрируется в затылочной области. Высокое значение первого фактора «энергозатраты центральных отделов коры головного мозга» указывает на тесное взаимодействие коры и подкорковых структур (лимбическая система, ретикулярная формация). Отсутствие явного проявления межполушарного доминирования свидетельствует о значительном количестве межполушарных связей, указывает на процесс адаптивных перестроек функциональных систем организма [12].

Заключение. Таким образом, факторные структуры экологической адаптированности церебрального энергообмена у симпатотоников и ваготоников свидетельствуют о том, что нейрофизиологические механизмы энергообеспечения в коре головного мозга у этих групп имеют различный характер: у симпатотоников протекают более напряженно, что находит свое отражение в повышенных значениях УПП во фронтальных и правовисочном отделах. Известно, что правое полушарие более автономно, чем левое, и менее подвержено влиянию корригирующих обратных связей. Кроме того, адаптационные перестройки, как правило, связывают с активацией правого полушария [12]. Высокие значения энергозатрат лобных отделов у симпатотоников, очевидно, свидетельствуют о значительном напряжении управляющих функций и высокой централизации регуляторных процессов [7]. То есть у симпатотоников адаптационные процессы еще не закончены и экологическая адаптированность энергетических процессов окончательно не сформирована.

У ваготоников энергозатраты в лобных отделах представлены во втором факторе, значимость их ниже, чем у симпатотоников. Нейрофизиологические процессы, связанные с энергообеспечением головного мозга, у ваготоников протекают менее напряженно. А высокие значения энергозатрат отмечаются в центральных отделах, которые тесно связаны с

подкорковыми структурами головного мозга. То есть у ваготоников выявлено более тесное взаимодействие коркового и подкоркового уровней, что, в свою очередь, приводит к менее напряженному функционированию центральной нервной системы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства Архангельской области в рамках научного проекта № 18-44-290006.

Список литературы

1. Багнетова Е.А. Особенности адаптации, психологического и функционального состояния организма человека в условиях Севера // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. №4. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-adaptatsii-psiologicheskogo-i-funktsionalnogo-sostoyaniya-organizma-cheloveka-v-usloviyah-severa> (дата обращения: 03.11.2018).
2. Депутат И.С., Джос Ю.С. Адаптация человека на Севере: медико-биологические аспекты // Журнал медико-биологических исследований. 2013. №1. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptatsiya-cheloveka-na-severe-mediko-biologicheskie-aspekty> (дата обращения: 03.11.2018).
3. Гридин Л.А., Шишов А.А., Дворников М.В. Особенности адаптационных реакций человека в условиях Крайнего Севера // ЗНиСО. 2014. №4 (253). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-adaptatsionnyh-reaktsiy-cheloveka-v-usloviyah-kraynego-severa> (дата обращения: 03.11.2018).
4. Грибанов А.В., Джос Ю.С., Багрецова Т.В., Бирюков И.С. Фотопериодизм и изменения биоэлектрической активности головного мозга у школьников в Арктической зоне // Физиология человека. 2016. Т. 42. № 2. С. 16–26.
5. Авцын А.П., Марачев А.Г. Проявление адаптации и дезадаптации у жителей Крайнего Севера // Физиология человека. 1975. № 4. С. 587–600.
6. Агаджанян Н.А., Коновалова Г.М., Ожева Р.Ш., Уракова Т.Ю. Воздействие внешних факторов на формирование адаптационных реакций организма человека // Новые технологии. 2010. № 2. С. 142–144.
7. Грибанов А.В., Аникина Н.Ю., Гудков А.Б. Церебральный энергообмен как маркер адаптивных реакций человека в природно-климатических условиях Арктической зоны Российской Федерации // Экология человека. 2018. № 8. С. 32–40.
8. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability: Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *Circulation*. 1996. Vol. 93. no 5. P. 1043–1065.

9. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В., Кротенкова М.В., Коновалова Р.Н., Танашян М.М., Лагода О.В. Факторы, определяющие динамические свойства функциональной межполушарной асимметрии // Асимметрия. 2011. Т. 5, № 1. С. 5–19.
10. Ашмарина И.П., Стукалова П.В., Ещенко Н.Д. Энергетический обмен в головном мозге. Биохимия мозга. СПб.: 1999, С. 124–168.
11. Хаснулин В.И., Хаснулин П.В. Современные представления о механизмах северного стресса у человека в северных широтах // Экология человека. 2012. № 7. С. 3–11.
12. Леутин В.П., Николаева Е.И., Фомина Е.В. Функциональная асимметрия мозга и незавершенная адаптация. Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / Под ред. В.Ф. Фокина, И.Н. Боголеповой, Б. Гутника, В.И. Кобрина, В.В. Шульговского. М.: Науч. мир, 2009. С. 429–457.