

ЭКОЛОГИЯ

Ч Е Л О В Е К А

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

09.2019

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северный государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Основан в 1994 году

Основным направлением деятельности журнала является публикация научных исследований, посвященных проблемам экологии человека и имеющих как фундаментальное, так и прикладное значение. В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры и краткие сообщения по всем аспектам экологии человека и общественного здоровья. Предназначен для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций.

Главный редактор – Любовь Николаевна Горбатова (Архангельск)
Заместители главного редактора: А. Б. Гудков (Архангельск), И. Б. Ушаков (Москва)
Научный редактор – П. И. Сидоров (Архангельск)
Международный редактор – А. М. Гржибовский (Россия/Казахстан)
Ответственный секретарь – О. Н. Попова

Редакционная коллегия: Т. А. Бажукова (Архангельск), В. П. Быков (Архангельск), Н. В. Зайцева (Пермь), Б. В. Лабудин (Архангельск), В. И. Макарова (Архангельск), В. И. Малыгин (Северодвинск), С. И. Малявская (Архангельск), С. Л. Совершаева (Архангельск), А. Г. Соловьев (Архангельск), В. И. Торшин (Москва), Б. Ю. Филиппов (Архангельск), В. П. Чащин (Санкт-Петербург)

Председатель редакционного совета – В. А. Черешнев (Москва)

Редакционный совет: Р. В. Бузинов (Архангельск), А. Т. Быков (Сочи), А. Н. Глушков (Кемерово), С. Ф. Гончаров (Москва), В. А. Грачев (Москва), А. В. Грибанов (Архангельск), Ронда Джонсон (США), Н. В. Доршакова (Петрозаводск), С. А. Ефименко (Москва), П. С. Журавлев (Архангельск), Е. А. Ильин (Москва), Рамуне Каледене (Литва), С. И. Колесников (Москва), Пер Магнус (Норвегия), И. Г. Мосягин (Санкт-Петербург), Йон Ойвинд Одланд (Норвегия), Г. Г. Онищенко (Москва), В. И. Покровский (Москва), Керсти Пярна (Эстония), Арья Раутио (Финляндия), Ю. А. Рахманин (Москва), Г. А. Софронов (Санкт-Петербург), В. С. Фортыгин (Архангельск), Л. С. Щёголева (Архангельск), Кью Янг (Канада)

Редактор Н. С. Дурасова **Переводчик** О. В. Калашникова **Дизайн обложки и верстка** Г. Е. Волкова

Перепечатка текстов без разрешения журнала запрещена. При цитировании материалов ссылка на журнал обязательна

Адрес редакции и издателя: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, 51.

Тел. (8182) 20-65-63; e-mail: rio@nsmu.ru; rionsmu@yandex.ru

Адрес типографии:

ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51. Тел. (8182) 28-56-64, факс (8182) 20-61-90

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 13 октября 2016 г. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-67426

Подписано в печать 28.08.19. Дата выхода в свет 10.09.19. Формат 60×90/8. Печать цифровая.

Уч.-изд. л. 7,6. Тираж 1000 экз., зак. 2134.

Индекс 20454. Цена свободная

© Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

HUMAN

ECOLOGY

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC JOURNAL

09.2019

Publisher - Northern State Medical University
In continuous publication since 1994

Human Ecology is a peer-reviewed nationally and internationally circulated Russian journal with the main focus on research and practice in the fields of human ecology and public health. The Journal publishes original articles, reviews, short communications, educational materials and news. The primary audience of the Journal includes health professionals, environmental specialists, researchers and doctoral students. The journal is recommended by the Higher Attestation Committee of the Russian Federation for publication of materials from doctoral theses in health sciences.

Editor-in-Chief - Liubov Nikolaevna Gorbatova (Arkhangelsk)

Deputy Editors-in-Chief: A. B. Gudkov (Arkhangelsk), I. B. Ushakov (Moscow)

Science Editor - P. I. Sidorov (Arkhangelsk)

International Editor - A. M. Grjibovski (Russia/Kazakhstan)

Executive Secretary - O. N. Popova

Editorial Board: T. A. Bazhukova (Arkhangelsk), V. P. Bykov (Arkhangelsk), N. V. Zaitseva (Perm), B. V. Labudin (Arkhangelsk), V. I. Makarova (Arkhangelsk), V. I. Malygin (Severodvinsk), S. I. Malyavskaya (Arkhangelsk), S. L. Sovershaeva (Arkhangelsk), A. G. Soloviev (Arkhangelsk), V. I. Torshin (Moscow), B. Yu. Filippov (Arkhangelsk), V. P. Chashchin (Saint Petersburg)

Chairman of Editorial Council - V. A. Chereshnev (Moscow)

Editorial Council: R. V. Buzinov (Arkhangelsk), A. T. Bykov (Sochi), A. N. Glushkov (Kemerovo), S. F. Goncharov (Moscow), V. A. Grachev (Moscow), A. V. Griбанov (Arkhangelsk), Rhonda Johnson (USA), N. V. Dorshakova (Petrozavodsk), S. A. Efimenko (Moscow), P. S. Zuravlev (Arkhangelsk), E. A. Ilyin (Moscow), Ramune Kalediene (Lithuania), S. I. Kolesnikov (Moscow), Per Magnus (Norway), I. G. Mosyagin (Saint Petersburg), Jon Øyvind Odland (Norway), G. G. Onishchenko (Moscow), V. I. Pokrovsky (Moscow), Kersti Pärna (Estonia), Arja Rautio (Finland), Yu. A. Rakhmanin (Moscow), G. A. Sofronov (Saint Petersburg), V. S. Fortygin (Arkhangelsk), L. S. Shchegoleva (Arkhangelsk), Kue Young (Canada)

Editor N. S. Durasova **Translator** O. V. Kalashnikova **Cover design and make-up** G. E. Volkova

Editorial office: Troitsky Ave. 51, 163000 Arkhangelsk, Russia.

Tel. +7 (8182) 20 65 63; email: rio@nsmu.ru; rionsmu@yandex.ru

Publisher: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University»
of Ministry of Healthcare of Russian Federation

Troitsky Ave. 51, 163000 Arkhangelsk, Russia. Tel. +7 (8182) 28 56 64, fax +7 (8182) 20 61 90.

Registered by the Federal Supervision Agency for Information Technologies and Communications on 13.10.2016.

Certificate of Mass Media Registration ПИ № ФС 77-67426.

Format 60×90/8. Digital printing. Index 20454. Free price

© Northern State Medical University, Arkhangelsk

СОДЕРЖАНИЕ

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

- Зайцева Н. В., Землянова М. А., Чашин В. П., Гудков А. Б.**
Научные принципы применения биомаркеров
в медико-экологических исследованиях (обзор литературы)..... 4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

- Типисова Е. В., Лобанов А. А., Попкова В. А.,
Горенко И. Н., Андронов С. В., Попов А. И.**
Соотношение дофамина, гормонов, аутоантител системы
гипофиз – щитовидная железа и факторов рациона
питания у коренного населения Ямала 15

- Филатова О. Е., Башкатова Ю. В.,
Филатова Д. Ю., Иляшенко Л. К.**
Организм человека в условиях гомеостатической динамики
метеопараметров Севера Российской Федерации 24

- Бердников Д. В., Бобынцев И. И.,
Апчел В. Я., Андриуца Н. С.**
Половые различия регуляции операторской деятельности
и её нейрофизиологического обеспечения 31

- Аверьянова И. В.**
Особенности перестроек кардиогемодинамики и газообмена
в ответ на пробу с респирацией у юношей при различных
сроках адаптации к условиям Северо-Востока России 41

МЕНТАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Грибанов А. В., Депутат И. С., Нехорошкова А. Н.,
Кожевникова И. С., Панков М. Н., Иорданова Ю. А.,
Старцева Л. Ф., Иконникова И. В.**
Психофизиологическая характеристика тревожности
и интеллектуальной деятельности в детском возрасте (обзор)..... 50

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Евдокимова В. П., Бахматова Ю. А., Сеницкая Е. Н.**
Продукты питания как источник обеспечения селеном
жителей Европейского Севера России 59

НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМАРКЕРОВ В МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

© 2019 г. ^{1,2}Н. В. Зайцева, ¹М. А. Землянова, ^{3,4}В. П. Чашин, ⁵А. Б. Гудков

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь; ²ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пермь; ³ФБУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья», г. Санкт-Петербург; ⁴ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург; ⁵ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Архангельск

В статье представлен критический анализ накопленного международного и национального опыта, освещающего становление и основные этапы развития теоретических основ и практической значимости применения биомаркеров в медико-экологических исследованиях и экспертизах на примере воздействия на организм вредных химических факторов. Показано, что для доказательства причинно-следственной связи возникновения негативных эффектов и их развития с воздействием вредных факторов окружающей среды актуализируется необходимость расширения научных исследований в области применения биомаркеров, критериев их выбора и оценки. В соответствии с экспертным докладом, опубликованном международными организациями, выделяются биомаркеры трех классов: 1. Биомаркеры экспозиции. 2. Биомаркеры восприимчивости организма к вредному воздействию. 3. Биомаркеры вредных эффектов. С учетом современных международных подходов и национальных компетенций дана характеристика и показана практическая значимость каждого класса биологических маркеров при обосновании причинно-следственных связей в системе «окружающая среда – здоровье человека», сформулированы основные требования к порядку их применения в медико-экологических исследованиях.

Ключевые слова: биомаркеры экспозиции, биомаркеры чувствительности, биомаркеры эффекта, биомониторинг, референтные значения, вредные факторы окружающей среды, экология и здоровье человека

SCIENTIFIC PRINCIPLES OF USE OF BIOMARKERS IN MEDICO-ECOLOGICAL STUDIES (REVIEW)

¹⁻²N. V. Zaitseva, ¹M. A. Zemlyanova, ^{3,4}V. P. Chashchin, ⁵A. B. Gudkov

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm;
²Perm State Medical University named after E. A. Wagner, Perm; ³Northwest Public Health Research Center,
Saint-Petersburg; ⁴North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, Saint-Petersburg;
⁵Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

The article presents an overview and summarizes the accumulated international and national experience, highlighting the formation and main stages of the development of the theoretical foundations and practical significance of the use of biomarkers in medico-ecological studies and evaluations in terms of influence of harmful chemical factors on the human organism. It is shown that in order to increase the effectiveness of evidentiary causal relationships of developing negative effects and modifying the mechanism of their development with the adverse effects of environmental factors, the need to expand scientific research in the field of biomarkers, their selection criteria, and justification of reference levels is becoming more urgent. In accordance with the opinion of experts from the Ad Hoc Collaborating Organizations on Biomarkers (UNEP, ILO and WHO), biomarkers of three classes were identified – exposure biomarkers, reflecting exposure, sensitivity, characterizing the degree of organism susceptibility to exposure and markers of negative effects, indicating the development of the body's response to the effects of risk factors. Based on the currently existing international approaches and taking into account national competencies, a characteristic was given and the practical significance of each class of biological markers was shown when solving problems of substantiating cause-effect relationships in the system «environment – human health» and making adequate management decisions.

Key words: biomarkers of exposure, biomarkers of sensitivity, biomarkers of effect, biomonitoring, reference values, harmful environmental factors, ecology and human health

Библиографическая ссылка:

Зайцева Н. В., Землянова М. А., Чашин В. П., Гудков А. Б. Научные принципы применения биомаркеров в медико-экологических исследованиях (обзор литературы) // Экология человека. 2019. № 9. С. 4–14.

Zaitseva N. V., Zemlyanova M. A., Chashchin V. P., Gudkov A. B. Scientific Principles of Use of Biomarkers in Medico-Ecological Studies (Review). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 9, pp. 4-14.

К главным стратегическим задачам, поставленным перед здравоохранением, отнесено развитие персонализированной медицины, основанной на современных научных достижениях, а также внедрение молекулярно-генетических методов прогнозирования, диагностики и мониторинга заболеваний (О Стратегии развития здравоохранения Российской Федерации до 2015 г. Указ Президента РФ от 06.06.2019 г. № 54). Однако если персонализированные подходы в клинической практике уже получили достаточно широкое признание, то в профилактической медицине все еще преобладают преимущественно популяционные модели оценки и управления рисками, основанные на допущении, что все субъекты в популяции одинаковы и предлагаемые способы профилактики подходят всем. Не отрицая полезности использования биомаркеров в популяционных исследованиях, следует все же отметить, что решение ряда практических задач требует персонализации оценок, например с целью реализации предусмотренного действующим законодательством права граждан на возмещение вреда при проведении экспертизы по установлению причинной связи между нарушениями здоровья и противоправными действиями (бездействием) должностных лиц, повлекших недопустимое загрязнение окружающей среды (Гражданский кодекс Российской Федерации. Ч. 2. Ст. 1084 и 1085).

Среди основных причин и факторов, способствующих ухудшению состояния здоровья населения как в мире, так и в Российской Федерации, стабильно выделяются вредные факторы среды обитания (природного и антропогенного характера), воздействие которых обуславливает увеличение частоты и распространенности нарушений здоровья среди населения, проживающего в районах экологического неблагополучия.

По данным ООН, от 25 до 33 % регистрируемых в мире заболеваний тесно связаны с низким качеством среды обитания. По оценкам экспертов Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), во всем мире около 24 % бремени болезней (потерянные годы здоровой жизни) и 23 % всех случаев смерти (преждевременная смертность) обусловлены вредными факторами окружающей среды [9, 37], в первую очередь загрязнениями химическими веществами. Среди детей 0–14 лет доля смертей, связанных с загрязнением окружающей среды, достигала 36 % [38]. При этом ВОЗ признает, что загрязнение воздуха является критическим фактором риска для развития неинфекционных заболеваний, вызывая, по оценкам, одну четверть (24 %) всех смертей взрослых от болезней сердца, 25 % – от инсульта, 43 % – от хронической обструктивной болезни легких и 29 % – от рака легких [11]. Анализ экологических детерминант здоровья населения в РФ свидетельствует, что в настоящее время порядка 106,1 млн человек (74 % населения страны) проживает в условиях неудовлетворительного качества окружающей среды, в том числе 17,1 млн человек – в городах с высоким

и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха (17 % городского населения). Вследствие загрязнения питьевой воды химическими веществами и микроорганизмами увеличивается риск смертности (в среднем на 11 тыс. случаев ежегодно) и заболеваемости населения (в среднем на 3 млн случаев ежегодно) (О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Указ Президента РФ от 19.04.2017 г. № 176).

Подготовленный ВОЗ Глобальный план действий по профилактике и контролю неинфекционных заболеваний на 2013–2020 годы в качестве одной из основных своих целей определяет содействие развитию национального потенциала стран для проведения эффективной научно-исследовательской деятельности в области профилактики неинфекционных заболеваний и борьбы с ними, что в конечном итоге должно способствовать увеличению продолжительности жизни человека.

Для предотвращения и снижения уровня заболеваемости и преждевременной смертности населения, связанных с воздействием вредных факторов окружающей и производственной среды, особую актуальность сохраняют исследования, направленные на развитие и использование критически важных технологий и компетенций, гармонизированных с международно признанными подходами, для выявления и оценки причинно-следственных связей негативных последствий для здоровья с воздействием факторов окружающей среды. При этом выявление и оценка вклада факторов окружающей среды в возникновение заболеваний у человека нередко затрудняются большим перечнем вызываемых ими негативных эффектов, многие из которых встречаются среди населения, не подвергающегося данному воздействию. В этом случае особое внимание, как и прежде, уделяется биологическим маркерам, отражающим факт воздействия (экспозиции), степень чувствительности организма к воздействию и развитие ответных реакций в виде негативных эффектов на воздействие факторов риска [11, 16, 36], критериям отбора и обоснования биомаркеров [22].

Проблема доказательности причинно-следственной связи развивающихся негативных эффектов и модификации механизма их развития с воздействием факторов экспозиции актуализирует необходимость расширить теоретические знания в области биомаркеров и их практического использования. Адекватный выбор биомаркеров в тесной связи с анализом токсических процессов и механизмов позволяет повысить точность и объективность оценки риска, прежде всего количественной, для индивидов и подгрупп населения, обеспечивает системный доказательный подход при осуществлении экспертных оценок результатов углубленных эпидемиологических исследований реализации риска и причиненного вреда здоровью, скрининга, биомониторинга, прогнозирования состояния здоровья, а также оценок реального загрязнения объектов (атмосферного воздуха, питьевой воды, по-

чвы, продуктов питания) среды обитания. Широкий спектр решаемых задач требует междисциплинарных исследований, что вполне очевидно, когда речь идет о ведущих возникающих в состоянии здоровья проблемах, инициируемых негативным воздействием факторов окружающей среды: о канцерогенезе, нейротоксичности, иммунотоксичности, кардиотоксичности, репротоксичности, респираторной токсичности и др. [15].

Задача сохранения человеческого потенциала актуальна в части не только разработки современных способов борьбы с нарастающими угрозами (появление новых химических веществ с опасными и неизученными свойствами, развитие nanoиндустрии, глобальное потепление климата и др.) для безопасности населения, но и развития теоретических основ, существенно расширяющих возможности анализа, оценки, прогноза ситуации [5] для принятия эффективных мер, направленных на сохранение здоровье человека. В этой связи для инициирования новых знаний и компетенций, повышающих интенсивность процесса, надежность оценок при установлении связи нарушений здоровья с воздействием факторов окружающей среды, при доказательстве экологической детерминированности заболеваний на уровне популяции, субпопуляции и/или отдельного индивидуума, необходимым является обобщение накопленного международного и национального опыта, освещающего становление и основные этапы развития теоретических основ и практической значимости применения биомаркеров в различных отраслях знаний, в том числе в экологии человека.

Целью аналитического обзора является обобщение основных проблем, достижений и тенденций развития в области применения биологических маркеров в медико-экологических научных исследованиях.

Термин «биологический маркер» («биомаркер») впервые введен Национальной академией наук США (US NRC) в 1989 году для биологического мониторинга населения [15]. Согласно определению в широком смысле биомаркером является любой количественный показатель, отражающий взаимодействие между биологической системой и потенциально опасным для нее агентом, который может иметь физическую, химическую или биологическую природу. Определяемый показатель ответной реакции может быть функциональным и физиологическим, биохимическим на клеточном уровне или межмолекулярным взаимодействием [26]. В дальнейшем (2001) эксперты рабочей группы Национального института здоровья (США), Международной программы по химической безопасности, возглавляемой ВОЗ, в координации с ООН и Международной организацией труда стандартизировали определение биомаркера как «характеристика, которую можно объективно измерить в организме и которая может служить в качестве индикатора физиологических и патологических биологических процессов или для прогнозирования частоты исхода (outcomes) или заболевания (end-points)» [17, 45].

В своем отчете о валидности биомаркеров в оценке риска для окружающей среды ВОЗ подтвердила данное определение [18].

Согласно дефинициям, положенным в основу концепций относительно применения биомаркеров, экспертами Специальной группы по биомаркерам, включающей три сотрудничающие организации (ЮНЕП, МОТ и ВОЗ) (1992), выделены биомаркеры трех классов: экспозиции, чувствительности и эффекта [26].

Биомаркеры экспозиции

Биомаркер экспозиции представляет собой экзогенное химическое вещество или его метаболит либо продукт взаимодействия между веществом и какой-либо молекулой-мишенью или клеткой-мишенью, количественно определяемый в том или ином отделе организма [26]. Данное определение сохранило свою правомерность и в настоящее время при решении практических задач в рамках экологии человека [3]. Биомаркеры экспозиции позволяют оценивать и параметризовать связи типа «внешняя экспозиция — внутренняя доза — концентрация вещества в биосреде». Содержание конкретного вещества в организме при его экзогенном поступлении из объектов окружающей среды определяется такими факторами, как концентрация данного загрязнителя в окружающей среде, длительность экспозиции, его физические и химические свойства [7].

При существовании большого числа биологических материалов, которые можно использовать для определения содержания химического вещества при экзогенном поступлении в организм (кровь, моча, волосы, грудное молоко, слюна, выдыхаемый воздух и др.), их индивидуальные физико-химические свойства (скорость поглощения, метаболизма и экскреции) ограничивают возможности применения конкретных типов биосубстратов [3]. Однако современные аналитические методы с крайне низкими пределами количественного определения позволяют расширять имеющиеся возможности и применять биологические материалы с относительно низким содержанием ксенобиотиков. Так, концентрация диоксинов (липофильных соединений) в 1980-х годах измерялась в жировой ткани с содержанием 65–95 % жира, а в настоящее время измеряется в сыворотке крови, где содержание жира на уровне 0,5–0,6 %.

Анализ преимуществ и ограничений при использовании тех или иных биоматериалов для исследований показал, что кровь, несмотря на инвазивность отбора проб, — один из наиболее часто применяемых и предпочтительных биосубстратов для многих химических веществ, так как она постоянно контактирует и находится в состоянии равновесия с органами и тканями, в которых депонируют химические вещества. Кровь является надежным биологическим материалом для определения биомаркеров длительной экспозиции определенными металлами (ртутью, свинцом), но не отражает их кратковременное воздействие [27, 30].

Корреляции между уровнями свинца в материнской и пуповинной крови, а также между уровнями свинца в крови матери и новорожденного подтверждают проникновение свинца из организма матери в организм плода [39]. Уровень ртути в крови отражает кратковременную экспозицию органической и неорганической ртути, но не дает информации о длительном воздействии. Уровень кадмия в крови в основном говорит об экспозиции в течение предшествующих 2–3 месяцев и частично отражает долговременное воздействие на организм [12].

Кровь, пуповинная кровь, плацента и грудное молоко обычно используются для анализа содержания стойких биоаккумулируемых соединений, таких как перфторированные соединения, хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы, диоксины, бромсодержащие ингибиторы горения, оловоорганические соединения и металлы. При этом плацента и/или пуповинная кровь предоставляет информацию об экспозиции матерей и пренатальной экспозиции их детей [43]. Эти биоматериалы позволяют оценить экспозицию во внутриутробном периоде жизни, когда уязвимость к негативному воздействию факторов окружающей среды крайне высока [28]. Мочу, как биосубстрат для биомаркеров экспозиции, используют для быстро метаболизируемых и экскретируемых веществ, таких как нестойкие пестициды, бисфенол А, парабены, фталаты, летучие органические соединения и полициклические ароматические углеводороды. Мочу также применяют для оценки экспозиции некоторыми металлами, таким как мышьяк, неорганическая ртуть, кадмий. Содержание ртути в моче отражает уровень недавней экспозиции неорганической ртути, а также экспозиции органическими соединениями ртути [34]. Уровень кадмия в моче в основном выявляет общее содержание кадмия в организме в результате более длительной экспозиции [12]. В то же время существуют свидетельства того, что при очень низком уровне экспозиции уровень кадмия в моче зависит от целого ряда факторов, практически не связанных с токсическим воздействием кадмия и его накоплением [23].

В исследованиях в качестве биосубстратов также могут быть включены волосы, ногти, слюна и молочные зубы. Структура и гистогенез волос и ногтей позволяют использовать их для оценки содержания следовых элементов долговременной экспозиции металлов, стойких органических загрязнителей, в том числе общей ртути, метилртути, мышьяка, кадмия, парабенов, хлорорганических соединений [14]. В работах отечественных авторов доказано, что волосы являются эффективным индикатором воздействия мышьяка, брома, фтора, группы редкоземельных и урановых элементов, ртути [1, 2], что согласуется с выводами и зарубежних исследователей.

Число публикаций на тему использования биологических маркеров для решения практических задач в мировой литературе неуклонно растет. Появились журналы «Cancer Epidemiology, Biomarkers

& Prevention» (1991), «Biomarkers» (1996) и др., которые рассматривают применение биомаркеров для оценки риска здоровью населения при воздействии химических факторов окружающей среды. Стремительно растет число научных публикаций о биомаркерах экспозиции для новых и уже используемых в промышленности веществ. Регулярно публикуемый журнал «Analytical Chemistry» (1946) обновляемый и дополняемый список биомаркеров экспозиции насчитывает уже более 400 наименований. Такой подход обусловлен в первую очередь необходимостью более точно оценивать величину экспозиции для определения реального риска при контакте с тем или иным промышленным веществом для каждого работающего, возможности выделения лиц с повышенным индивидуальным риском, ранними признаками интоксикации при биологическом мониторинге [18].

Биомаркеры экспозиции могут быть использованы для подтверждения факта количественной оценки компонентов экспозиции человека, отраженной в установленных концентрациях биомаркеров в биологическом материале на индивидуальном, групповом, популяционном уровне, то есть количества поступившего в организм вещества в течение конкретного периода времени (его внутренней дозы). В Четвертом национальном докладе об экспозиции человека химическими веществами окружающей среды, подготовленном Центром по контролю заболеваний США (CDC), опубликованы результаты исследования содержания 212 химических веществ в крови и моче (порядка 2 400 человек каждые два года с 1999 по 2004 год), 75 из которых, например акриламид, мышьяк, бифенол А, триклозан, перхлорат, до сих пор не исследовали в биосредах [24].

На основе оценки биомаркеров экспозиции можно осуществлять реконструкцию экспозиции, т. е. качественно и количественно восстанавливать компоненты загрязнений окружающей среды. Разработано несколько техник разного уровня сложности реконструкции экспозиции. Они варьируют от факторов конвертации экспозиции (ECF) [46] до комбинированных оценок максимальной вероятности в сочетании с физиологически обоснованными биокинетическими РВВК на основе синтетических данных о биомаркерах с использованием байесовской статистики [25]. Реконструкция позволяет измерять величину, время и источники экспозиции на основе предшествующей информации о ее факторах и условиях.

Применение биомаркеров экспозиции в зонах влияния различных видов промышленных производств дает возможность выполнять приоритизацию химических веществ в зависимости от действующих факторов экспозиции населения [7] и выявлять группы повышенного риска. В результате консолидации международных усилий по мониторингу экспозиции химическими загрязнителями, выполненному в 17 странах Европейского союза (Проекты DEMOCOPHES и COPHES, реализуемые в Испании, Дании, Германии, Франции, Италии, Фландрии и др.), обоснованы и ранжирова-

ны по степени значимости в качестве биомаркеров экспозиции к приоритетным загрязнителям при популяционных исследованиях порядка 30 веществ [3, 7]. К биомаркерам экспозиции высокого приоритета отнесли общее содержание ртути в волосах матери, кадмия в моче матери, котинина в моче матери и свинца в пуповинной крови; среднего приоритета — содержание мышьяка в волосах матери или пуповинной крови, ртути в моче матери (биомаркер экспозиции к неорганической/элементарной ртути); метаболитов фталатов, метаболита полициклических ароматических углеводородов (1-ОН пирен) и нестойких пестицидов в моче матери; содержание стойких органических загрязнителей, кроме диоксиноподобных соединений, в пуповинной крови; низкого приоритета — содержание парабенов и пентахлорофенола в моче матери; содержание полихлорированных дибензодиоксинов/дибензофуранов, диоксиноподобных полихлорированных бифенилов в пуповинной крови [7].

Использование биомаркеров экспозиции в биомониторинге человека как части национальных систем оценки окружающей среды позволяет разрабатывать стратегии на уровне отдельных регионов и стран, оценивать эффективность принятия мер (управленческих действий), направленных на обеспечение надлежащего качества объектов окружающей среды и безопасности для здоровья человека. В ряде исследований показано, что при производстве пластика и строительных материалов в Швеции и Германии в качестве антипиренов добавляют полибромированные дифениловые эфиры, которые в последующем обнаруживали в грудном молоке [44]. Полибромированные дифениловые эфиры по своим токсическим свойствам схожи с диоксинами, являющимися высокотоксичными ксенобиотиками для человека. Увеличение содержания полибромированных дифениловых эфиров в грудном молоке в логарифмической прогрессии в течение последующих 5 лет явилось основанием для запрета их применения в производстве в этих странах. Крупные исследования, проведенные в США, России и странах Евросоюза, показали, что при неконтролируемом применении этилированного топлива содержание свинца в крови и тканях организма значительно возрастает (в США — до 120 раз, в России — до 10 раз [6, 21]. Выявлена связь между содержанием в крови ребенка свинца и степенью выраженности тех или иных отклонений в состоянии здоровья: повышение содержания свинца в крови детей дошкольного возраста на 1 мкг/дл ведет к снижению их интеллектуального развития на 1/2–1/4 балла, причем негативные последствия обнаруживаются и через 10 лет после воздействия свинца в раннем детстве [8]. В результате запрета на использование тетраэтилсвинца и производство двигателей, рассчитанных на этилированный бензин, в США за последующие 15 лет содержание свинца в крови детей снизилось на 78 % (до 3 мкг/дл при биологически допустимом уровне свинца в крови 10 мкг/дл [24]).

Интерпретацию измеряемых уровней биомаркеров экспозиции химическими веществами осуществляют на основе сравнения с допустимыми (референтными) значениями. В мировой практике определение допустимых уровней воздействия базируется на комплексном подходе. Референтные уровни содержания биомаркеров экспозиции в организме человека базируются на критериях, разработанных Комиссией по биомониторингу человека Федерального агентства по окружающей среде Германии [41]. В качестве референтного значения принимается уровень ксенобиотика в биологических материалах человека, ниже которого, по современным данным, не наблюдается риска негативного воздействия на здоровье и не требуется принятия никаких мер. На практике это значения, определенные на основе выявления взаимосвязей «экспозиция — последствия для здоровья» (например, для кадмия, свинца, ртути и пентахлорфенола) или полученные на основе значений допустимого суточного потребления. Для соединений, оценка которых основана на эпидемиологических исследованиях, референтное значение получено посредством выявления концентрации вещества в соответствующих биологических материалах, при которой появляются негативные последствия для здоровья. В соответствии с этими подходами рекомендованы референтные уровни содержания для небольшого перечня металлов и органических соединений в информативных биосредах человека. Примеры таких значений для отдельных загрязнителей приведены в таблице.

Референтные уровни биомаркеров экспозиции для отдельных химических веществ в информативных биосредах человека по данным международных и национальных организаций

Химическое вещество/биологический материал	Популяционная группа (возрастной диапазон)	Референтное значение	Источник
Пентахлорфенол в сыворотке крови	Общая популяция	40 мкг/л	[6]
Пентахлорфенол в моче	Общая популяция	25 мкг/л или 20 мкг/г креатинина	
Метаболиты ди(2-этилгексил)фталата: 5-оксо- и 5-ОН-МЭГФ в моче	Дети в возрасте 6–13 лет	500 мкг/л	[6]
	Женщины репродуктивного возраста	300 мкг/л	
	Мужчины ≥ 14 лет, общая популяция	750 мкг/л	
Бисфенол А в моче	Дети	1 500 мкг/л	[6]
	Взрослые	2 500 мкг/л	
Кадмий в моче	Дети и подростки	0,5 мкг/л	[6]
	Взрослые	1 мкг/л	
Свинец в крови	Общая популяция	Приостановлено	[50]
Ртуть в моче	Дети и взрослые	5–7 мкг/г креатинина	[6]
Ртуть в крови	Дети и взрослые	5 мкг/л	

В РФ сдерживается развитие данного направления, что обусловлено комплексом причин. Важнейшим вопросом является разработка подходов нормативно-методического регулирования, (гармонизация методов и процедур биомониторинга с международными требованиями). Несмотря на это исследования по обоснованию допустимых уровней содержания химических веществ промышленного происхождения в биосредах человека ведутся. Полученные после статистической обработки результаты (50-й перцентиль; медиана; 95-й перцентиль; доля уровней, превышающих референтные значения) используются, как и в зарубежных исследованиях, для экспертных оценок уровня внешней экспозиции, при объединении с клиническими наблюдениями для изучения воздействия на здоровье экспонированного населения и работающих [4, 8, 10]. Накапливается опыт для совершенствования и гармонизации нормативно-методической базы в области обоснования биомаркеров и их применения в практике обеспечения благополучной окружающей среды и снижения негативных последствий для здоровья населения.

Биомаркеры чувствительности

Биомаркер чувствительности является индикатором присущей (врожденной) или приобретенной организмом человека способности реагировать на воздействие экспозиции конкретным химическим веществом [3, 18, 45].

Биомаркеры чувствительности помогают уточнить выраженность ответной реакции индивидов на экспозицию. В качестве биомаркеров чувствительности могут быть использованы полиморфизмы соответствующих ферментов, участвующих в метаболизме ксенобиотиков. В исследованиях показано, что индукция цитохрома P450, семейство 1, подсемейство A, полипептид 1 (CYP1A1) (особенно аллеля *2C I462V) связана с развитием рака легкого [47]. Более того, аллельные варианты цитохрома P450, семейство 2, подсемейство E, полипептид 1 (CYP2E1) модулируют риск алкогольного повреждения печени [40] и онкологических заболеваний. Полиморфизм ферментов N-оксидации ассоциирован с повышенным риском развития рака толстой кишки [29], а полиморфизм глутатион-S-трансферазы увеличивает риск развития рака легкого [42]. Биомаркеры генетической чувствительности становятся особенно востребованными в сфере проблемы возникновения неврологических заболеваний. Авторами показано, что выявление аллельного варианта гена, например аполипопротеина E (APOE), играет важную роль в оценке риска развития, а также дает дополнительную информацию о патогенезе болезни Альцгеймера [35].

Биомаркеры эффекта

Биомаркер эффекта количественно характеризует биохимическое, физиологическое, поведенческое или другое изменение в организме, в зависимости от степени которого определяется фактическое или

потенциальное нарушение здоровья или развитие болезни. С помощью маркеров эффекта на основе установления причинно-следственной связи между экспозицией и эффектом посредством определения связей «доза — маркер экспозиции — маркер эффекта — ответ» оценивается действие факторов экспозиции на здоровье человека.

В серии специальных исследований выявлено, что биомаркеры эффекта могут быть специфическими и неспецифическими. Специфические биомаркеры указывают на биологический эффект конкретного фактора воздействия, а также группы факторов, обладающих однонаправленным токсическим действием на органы-мишени или характеризующихся однотипным токсическим действием (мутагены, канцерогены, репротоксиканты и др.). Известно, что специфическим маркером эффекта при экспозиции окиси углерода является образование карбоксигемоглобина в крови человека [48]. В исследованиях показано, что при воздействии кадмия увеличивается экспрессия гена металлотионина, связывающего кадмий, в результате чего нарушается выведение токсиканта из организма [33]; возрастает экскреция микроальбумина с мочой и повышается уровень микроглобулина в сыворотке крови. При воздействии химических мутагенов, например окисла этилена, определяется повышенное образование аддуктов ДНК в лейкоцитах крови или тканях, а после выщепления пораженной основы N-7-(2-гидроксиэтил) гуанин выводится с мочой [49]. Экспозиция фосфорорганических соединений обуславливает повышение активности холинэстеразы в сыворотке крови [32].

Неспецифические маркеры не указывают на конкретную причину эффекта, но отражают общий комплексный эффект комбинированного воздействия. В зависимости от экзогенного воздействия на здоровье в ряде ранее выполненных исследованиях выявлены серии биомаркеров эффекта — от биомолекул, обнаруживаемых в тканях или биологических жидкостях, до измерений физиологических показателей, таких как исследования функции легких и визуализация артерий. По проблеме раннего выявления канцерогенных эффектов наиболее изученные биомаркеры отражают генотоксическое действие [13, 19]. Цитогенетические параметры, такие как индукция микроядер, хромосомные aberrации и сестринский хроматидный обмен, считаются биомаркерами раннего канцерогенного (генотоксического) действия и предикторами риска онкологических заболеваний у человека [20]. Аддукты ДНК и аддукты белков, особенно гемоглобина, являются более точными предикторами риска онкологических заболеваний по сравнению с биомаркерами экспозиции. Биомаркеры воспалительных процессов включают интерлейкин-1 бета (ИЛ-1, 1бета), рост регулирующий онкоген-альфа (GRO-alpha), моноцитарный хемотаксический белок 1 (MCP-1), фактор некроза опухоли альфа (ФНО-альфа) и С-реактивный белок (СРБ) [31].

В целом в результате реализации крупных проектов международными организациями (Международное агентство по изучению рака (IARC), Центр по контролю и профилактике заболеваний США, Комиссия по биомониторингу человека Федерального агентства по окружающей среде Германии) сформулированы научно обоснованные критерии выбора биомаркеров. Биомаркеры должны: отражать взаимодействие (качественное или количественное) биологической системы с изучаемым фактором воздействия (химическим, физическим и др.); иметь достаточную специфичность, чувствительность и воспроизводимость в качественном и количественном отношении; быть применимы для всех индивидов в пределах одной популяции или ее подгруппы; иметь известные пределы вариабельности, соответствующие неэкспонированной популяции. При этом метод количественного анализа биомаркера должен иметь известную и достаточную точность и прецизионность. В настоящее время требования к валидности биомаркеров расширяются. Необходима гармонизация методов оценки и разработки стандартизованных подходов к интерпретации данных, включая установку референтных значений и изучение системного воздействия.

Заключение

Таким образом, адекватный выбор биомаркеров экспозиции и эффекта с учетом биомаркеров чувствительности в тесной связи с анализом токсических процессов и механизмов и их применение в практической деятельности в сфере экологии человека позволяет повысить точность и объективность оценки риска здоровью, прежде всего количественной, для индивидов, подгрупп населения, популяции; обеспечивает системный доказательный подход при экспертных оценках результатов углубленных эпидемиологических исследований реализации риска и причиненного вреда здоровью, скрининга, биомониторинга; дает возможность оценить реальное загрязнение объектов окружающей среды и выполнить адекватное прогнозирование состояния здоровья населения для принятия управленческих решений.

Основным преимуществом применения биомаркеров является возможность существенного повышения эффективности профилактики неинфекционных заболеваний путем разработки новой стратегии, ориентированной не только на популяционные показатели риска, но и получение прецизионных (персонализированных) оценок экспозиции и восприимчивости организма к вредным факторам и их индивидуальной профилактики.

При этом основными условиями, определяющими обоснованность и целесообразность применения биомаркеров экспозиции для оценки риска нарушений здоровья, являются:

- доступность надежной научной информации о токсикокинетике вещества, характеризующей закономерности его поступления в организм, абсорбции, распределения, образования устойчивых продуктов метаболизма и выведения из организма;

- достоверность, специфичность, точность и чувствительность методов определения биомаркера, исключающих возможность неправильной интерпретации результатов этого определения;

- наличие доступных методов и средств, предотвращающих разрушение биомаркеров и контаминацию проб биологических материалов при их хранении, транспортировке и обработке;

- соответствие методов отбора проб и порядка использования результатов их анализа требованиям биомедицинской этики;

- возможность получения достаточного количества проб и их объема, обеспечивающих приемлемый уровень достоверности количественного определения биомаркера;

- возможность применения метрологически обеспеченных методов химического анализа;

- стандартизация всех процедур обработки и анализа биологических проб и их безопасной утилизации.

Показанием для определения биомаркеров экспозиции является необходимость получения основанной на доказательстве оценки:

- суммарного поступления вредного вещества в организм из разных сред (например из воздуха, воды, с пищевыми продуктами) или различными путями (ингаляционным, через пищеварительный тракт, неповрежденную кожу и слизистые оболочки);

- риска развития интоксикаций и других нарушений здоровья, связанных с вредным воздействием на организм органических и неорганических загрязнителей среды обитания;

- эффективности методов и средств, снижающих интенсивность экспозиции или ускоряющих обезвреживание и выведение загрязняющих веществ и их метаболитов, а также других мер по профилактике их вредного воздействия на здоровье населения.

Общими противопоказаниями для определения биомаркеров экспозиции являются хронические заболевания в стадии декомпенсации, сопровождающиеся клинически выраженными нарушениями функций (функциональной недостаточностью) органов кровообращения, дыхания, детоксикационных функций, а также инфекционных заболеваний и осложнений беременности. Однако применение биомаркеров в медико-экологических исследованиях должно предусматривать обязательное выполнение условий более тесной координации международных и национальных усилий, направленных на расширение деятельности по определению влияния на здоровье человека факторов окружающей среды и созданию рациональной основы для установления приоритетных направлений деятельности по проблеме эффективного применения биомаркеров при решении задач защиты здоровья населения.

Авторство

Зайцева Н. В. участвовала в аналитическом обобщении материала, формулировании научных принципов и утвердила присланную в редакцию рукопись; Землянова М. А.

внесла существенный вклад в концепцию и дизайн статьи, участвовала в аналитическом обобщении материала, подготовила первый вариант статьи, переработала содержание статьи; Чашин В. П. участвовал в аналитическом обобщении материала, формулировании научных принципов и утвердил присланную в редакцию рукопись; Гудков А. Б. участвовал в аналитическом обобщении материала и утвердил присланную в редакцию рукопись.

Зайцева Нина Владимировна – ORCID 0000-0003-2356-1145; SPIN 7036-3511

Землянова Марина Александровна – ORCID 0000-0002-8013-9613; SPIN 4308-0295

Чашин Валерий Петрович – ORCID 0000-0002-2600-0522; SPIN 6989-1648

Гудков Андрей Борисович – ORCID 0000-0001-5923-0941; SPIN 4369-3372

Список литературы

1. Агаджанян И. А., Скальный А. В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М., 2001. 83 с.

2. Барановская Н. В. Элементный состав биологических материалов и его использование для выявления антропогенноизмененных территорий на примере южной части Томской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2003. 20 с.

3. Биомониторинг человека: факты и цифры. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2015. 88 с.

4. Зайцева Н. В., Землянова М. А., Звездин В. Н., Кирьянов Д. А. Способ определения предельно допустимой концентрации тяжелых металлов в крови детей при многосредовой экспозиции: пат. 2536268 Рос. Федерация. № 2013147177/15; заявл. 22.10.2013; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35. 20 с.

5. Зайцева Н. В., Май И. В., Шур П. З., Алексеев В. Б., Лебедева-Несевря Н. А. Практика оценки и управления рисками здоровью на базе новых методов и подходов // Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития. Пермь: Изд-во Пермск. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. С. 625–711.

6. Зайцева Н. В., Тырыкина Т. И., Землянова М. А., Уланова Т. С., Долгих О. В., Шур П. З., Суетина Г. Н., Вотинова И. В. Влияние выбросов автотранспорта как источника свинца на здоровье населения // Гигиена и санитария. 1999. № 3. С. 3–4.

7. Показатели на основе биомониторинга экспозиции к химическим загрязнителям. Отчет о совещании / Европейское региональное бюро ВОЗ. Катания, Италия, 19–20 апреля, 2012. 45 с.

8. Ревич Б. А. Биомониторинг металлов в организме человека // Микроэлементы в медицине. 2005. № 6 (4). С. 11–16.

9. Содействовать движению Европы по пути к здоровью и благополучию: резюме доклада о состоянии здравоохранения в Европе 2012 г. ВОЗ, 2012. 17 с.

10. Ткачева Т. А. Биологические маркеры экспозиции и эффекта // Профессиональный риск для здоровья работников: руководство. М.: Тровант, 2003. С. 232–241.

11. 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action. WHO, 2018. Available at: <https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018> (accessed: 28.03.19).

12. Adams S. V., Newcomb P. A. Cadmium blood and urine concentrations as measures of exposure: NHANES

1999-2010 // Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. 2014. Vol. 24, N 2. P. 163–170.

13. Albertini R. J., Anderson D., Douglas G. R., Hagmar L., Hemminki K., Merlo F., Natarajan A. T., Norppa H., Shuker D. E. G., Tice R., Waters M. D., Aitio A. IPCS guidelines for the monitoring of genotoxic effects of carcinogens in humans. International Programme on Chemical Safety // Mutation Research. 2000. Vol. 463, N 2. P. 111–172.

14. Appenzeller B. M., Tsatsakis A. M. Hair analysis for biomonitoring of environmental and occupational exposure to organic pollutants: state of the art, critical review and future needs // Toxicology Letters. 2012. Vol. 210, N 2. P. 119–140.

15. Biologic markers in reproductive toxicology. Washington, DC, National Academy Press, 1989. 395 p.

16. Biomarkers and human biomonitoring. Children's Health and the Environment WHO Training Package for the Health Sector World Health Organization. 2011. Available at: www.who.int/ceh/capacity/biomarkers.pdf (accessed: 12.04.19).

17. Biomarkers Definition Working Group. Biomarkers and surrogate endpoints: preferred definitions and conceptual framework // Clinical Pharmacology and Therapeutics. 2001. Vol. 69, N 3. P. 89–95.

18. Biomarkers in Risk Assessment: Validity and Validation (Environmental health criteria; 222). WHO International Programme on Chemical Safety, 2001. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc222.htm> (accessed: 28.03.19).

19. Bonassi S., Ugolini D., Kirsch-Volders M., Stromberg U., Vermeulen R., Tucker J. D. Human population studies with cytogenetic biomarkers: review of the literature and future perspectives // Environmental and Molecular Mutagenesis. 2005. Vol. 45, N 2–3. P. 258–270.

20. Brandt H. C., Watson W. P. Monitoring human occupational and environmental exposures to polycyclic aromatic compounds // Annals of Occupational Hygiene. 2003. Vol. 47, N 5. P. 349–378.

21. Bridbord K., Hanson D. A personal perspective on the initial federal health-based regulation to remove lead from gasoline // Environmental Health Perspectives. 2009. Vol. 117, N 8. P. 1195–1201.

22. Centers for Disease Control and Prevention: National Biomonitoring Program. CDC, 2011. Available at: www.cdc.gov/biomonitoring (accessed: 08.04.19).

23. Chaumont A., Voisin C., Deumer G., Haufroid V., Annesi-Maesano I., Roels H., Thijs L., Staessen J., Bernard A. Associations of urinary cadmium with age and urinary proteins: Further evidence of physiological variations unrelated to metal accumulation and toxicity // Environmental Health Perspectives. 2013. Vol. 121, N 9. P. 1047–1053.

24. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, 2009. Available at: www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport.pdf (accessed: 28.03.19).

25. Georgopoulos P. G., Sasso A. F., Isukapalli S. S., Liou P. J., Vallero D. A., Okino M., Reiter L. Reconstructing population exposures to environmental chemicals from biomarkers: Challenges and opportunities // Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. 2009. Vol. 19, N 2. P. 149–171.

26. International Programme on Chemical Safety. WHO, 1993. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc155.htm> (accessed: 28.03.19).

27. Jakubowski M. Lead // Biomarkers and Human Biomonitoring. Knudsen L. E., Merlo D. F. (ed.). Cambridge, UK, 2012. P. 322-337.

28. Jurewicz J., Polańska K., Hanke W. Chemical exposure early in life and the neurodevelopment of children - an overview of current epidemiological evidence // *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2013. Vol. 20 (3). P. 465–486.
29. Kadlubar F. F., Butler M. A., Kaderlik K. R., Chou H. C., Lang N. P. Polymorphisms for aromaticamine metabolism in humans: relevance for human carcinogenesis // *Environmental Health Perspectives*. 1992. Vol. 98. P. 69–74.
30. Lauwerys R. R., Hoet P. *Industrial Chemical Exposure: Guidelines for Biological Monitoring*. Boca Raton, FL, Lewis Publishers, 2001. 638 p.
31. Leng S. X., McElhaney J. E., Walston J. D., Xie D., Fedarko N. S., Kuchel G. A. ELISA and multiplex technologies for cytokine measurement in inflammation and aging research // *Journal of Gerontology. Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2008. Vol. 63, N 8. P. 879–884.
32. Lionetto M. G., Caricato R., Calisi A., Giordano M. E., Schettino T. Acetylcholinesterase as a Biomarker in Environmental and Occupational Medicine: New Insights and Future Perspectives // *BioMed Research International*. 2013. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3727120> (accessed: 22.05.19).
33. Lu J., Jin T., Nordberg G., Nordberg M. Metallothionein gene expression in peripheral lymphocytes from cadmium-exposed workers // *Cell Stress Chaperones*. 2001. Vol. 6, N 2. P. 97–104.
34. Mason R. P., Lawson N. M., Sheu G. R. Mercury in the atlantic ocean: factors controlling air-sea exchange of mercury and its distribution in the upper waters // *Deep-Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2001. Vol. 48, N 13. P. 2829–2853.
35. Majeux R. Biomarkers: potential uses and limitations // *NeuroRx*. 2004. Vol. 1, N 2. P. 182–188.
36. Principles for evaluating health risks in children associated with exposure to chemicals (Environmental Health Criteria 237). WHO, 2006. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43604> (accessed: 08.04.19).
37. Prüss-Üstün A., Corvalán C. Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease. WHO, 2006. 105 p.
38. Prüss-Üstün A., Wolf J., Corvalán C., Bos R., Neira M. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. WHO, 2016. 149 p.
39. Sanders T., Liu Y., Buchner V., Tchounwou P. B. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: a review // *Reviews on Environmental Health*. 2009. Vol. 24, N 1. P. 15–45.
40. Savolainen V. T., Pajarinen J., Perola M., Penttilä A., Karhunen P. J. Polymorphism in the cytochrome P450 2E1 gene and the risk of alcoholic liver disease // *Journal of Hepatology*. 1997. Vol. 26, N 1. P. 55–61.
41. Schulz C., Wilhelm M., Heudorf U., Kolossa-Gehring M. Reprint of «Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission» // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2012. Vol. 215, N 2. P. 150–158.
42. Seidegard J., Pero R. W., Markowitz M. M., Roush G., Miller D. G., Beattie E. J. Isoenzyme(s) of glutathione transferase (class Mu) as a marker for the susceptibility to lung cancer: a follow up study // *Carcinogenesis*. 1990. Vol. 11, N 1. P. 33–36.
43. Smolders R., Den H. E., Koppen G., Govarts E., Willems H., Casteleyn L., Kolossa-Gehring M., Fiddicke U., Castaño A., Koch H. M., Angerer J., Esteban M., Sepai O., Exley K., Bloemen L., Horvat M., Knudsen L. E., Joas A., Joas R., Biot P., Aerts D., Katsonouri A., Hadjipanayis A., Cerna M., Krskova A., Schwedler G., Seiwert M., Nielsen J. K., Rudnai P., Közepeszy S., Evans D. S., Ryan M. P., Gulleb A. C., Fischer M. E., Ligočka D., Jakubowski M., Reis M. F., Namorado S., Lupsa I. R., Gurzau A. E., Halzlova K., Fabianova E., Mazej D., Tratnik S. J., Gomez S., González S., Berglund M., Larsson K., Lehmann A., Crettaz P., Schoeters G. Interpreting biomarker data from the COPHES/DEMOCOPHES twin projects: Using external exposure data to understand biomarker differences among countries // *Environmental Research*. 2015. Vol. 141. P. 86–95.
44. Solomon G. M., Weiss P. M. Chemical Contaminants in Breast Milk: time trends and regional variability // *Environmental Health Perspectives*. 2002. Vol. 110 (6). P. 341.
45. Strimbu K., Tavel J. A. What are Biomarkers? // *Current Opinion in HIV and AIDS*. 2010. Vol. 5, N 6. P. 463–466.
46. Tan Y. M., Liao K., Conolly R., Blount B., Mason A., Clewell H. Use of a physiologically based pharmacokinetic model to identify exposures consistent with human biomonitoring data for chloroform // *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A: Current Issues*. 2006. Vol. 69, N 1). P. 1727–1756.
47. Thier R., Bruning T., Roos P. H., Rihs H. P., Golka K., Ko Y., Bolt H. M. Markers of genetic susceptibility in human environmental hygiene and toxicology: the role of selected CYP, NAT and GST genes // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2003. Vol. 206, N 3. P. 149–171.
48. Toxicological profile for carbon monoxide. U. S. Department of Health and Human Services Public Health Service: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2012. 308 p.
49. Tretyakova N., Goggin M., Janis G. Quantitation of DNA adducts by stable isotope dilution mass spectrometry // *Chemical Research in Toxicology*. 2012. Vol. 25, N 1. P. 2007–2035.
50. Wilhelm M., Heinzow B., Angerer J., Schulz C. Reassessment of critical lead effects by the German Human Biomonitoring Commission results in suspension of the human biomonitoring values (HBM I and IBM II) for lead in blood of children and adults // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2010. Vol. 213, N 4. P. 265–269.

References

1. Agadzhanian I. A., Skal'nyi A. V. *Khimicheskie elementy v srede obitaniya i ekologicheskii portret cheloveka* [Chemical elements in the environment and ecological portrait of a person]. Moscow, 2001, 83 p.
2. Baranovskaya N. V. *Elementnyi sostav biologicheskikh materialov i ego ispol'zovanie dlya vyyavleniya antropogennoizmenennykh territorii na primere yuzhnoi chasti tomskoi oblasti (avto-ref. kand. diss.)* [The Elemental Composition of Biological Materials and Its Use for the Identification of Anthropogenically Changed Territories on the Example of the Southern Part of the Tomsk Region. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Tomsk, 2003. 20 p.
3. *Biomonitoring cheloveka: fakty i tsifry* [Human biomonitoring: facts and figures]. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2015, 88 p.
4. Zaitseva N. V., Zemlyanova M. A., Zvezdin V. N., Kir'yanov D. A. *Sposob opredeleniya predel'no-dopustimoi kontsentratsii tyazhelykh metallov v krovi detei pri*

- mnogosredovoi ekspozitsii, pat. 2536268, Russia. N 2013147177/15, zayavl. 22.10.2013, opubl. 20.12.2014, Byul. N 35* [The means of determining the maximum permissible concentration of heavy metals in the blood of children in the multiple environmental exposures. Patent 2536268, Russian Federation. 22.10.2013, published 20.12.2014, Bulletin No 35]. 20 p.
5. Zaitseva N. V., Mai I. V., Shur P. Z., Alekseev V. B., Lebedeva-Nesevrya N. A. Praktika otsenki i upravleniya riskami zdorov'yu na baze novykh metodov i podkhodov [Practice of health risk assessment and management based on new methods and approaches]. In: *Analiz riska zdorov'yu v strategii gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya* [Analysis of health risk in the strategy of state socio-economic development]. Perm, 2014, pp. 625-711.
6. Zaitseva N. V., Tyrykina T. I., Zemlyanova M. A., Ulanova T. S., Dolgikh O. V., Shur P. Z., Suetina G. N., Votnova I. V. Impact of vehicle emissions as a source of lead on public health. *Gigiena i Sanitariya*. 1999, 3, pp. 3-4. [In Russian]
7. Pokazateli na osnove biomonitoringa ekspozitsii k khimicheskim zagryaznitelyam. Otchet o soveshchanii [Indicators based on biomonitoring exposure to chemical pollutants. Meeting Report]. WHO Regional Office for Europe. Catania, Italy, April 19-20, 2012, 45 p.
8. Revich B. A. Biomonitoring of metals in the human body. *Mikroelementy v meditsine* [Microelements in medicine]. 2005, 6 (4), pp. 3-12. [In Russian]
9. Sodeistvovat' dvizheniyu Evropy po puti k zdorov'yu i blagopoluchiyu: rezюме doklada o sostoyanii zdavookhraneniya v Evrope 2012 g. [To contribute to the movement of Europe towards health and well-being: a summary of the European health report 2012]. WHO, 2012, 17 p.
10. Tkacheva T. A. Biologicheskie markery ekspozitsii i efekta [Biological markers of exposure and effect]. In: *Professional'nyi risk dlya zdorov'ya rabotnikov: rukovodstvo* [Occupational health risk for workers: a guide.]. Moscow, 2003, pp. 232-241.
11. 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action. WHO, 2018. Available at: <https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018> (accessed: 28.03.19).
12. Adams S. V., Newcomb P. A. Cadmium blood and urine concentrations as measures of exposure: NHANES 1999-2010. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2014, 24 (2), pp. 163-170.
13. Albertini R. J., Anderson D., Douglas G. R., Hagmar L., Hemminki K., Merlo F., Natarajan A. T., Norppa H., Shuker D. E. G., Tice R., Waters M. D., Aitio A. IPCS guidelines for the monitoring of genotoxic effects of carcinogens in humans. International Programme on Chemical Safety. *Mutation Research*. 2000, 463 (2), pp. 111-172.
14. Appenzeller B. M., Tsatsakis A. M. Hair analysis for biomonitoring of environmental and occupational exposure to organic pollutants: state of the art, critical review and future needs. *Toxicology Letters*. 2012, 210 (2), pp. 119-140.
15. Biologic markers in reproductive toxicology. Washington, DC, National Academy Press, 1989, 395 p.
16. *Biomarkers and human biomonitoring*. Children's Health and the Environment WHO Training Package for the Health Sector World Health Organization. 2011. Available at: www.who.int/ceh/capacity/biomarkers.pdf (accessed: 12.04.19).
17. Biomarkers Definition Working Group. Biomarkers and surrogate endpoints: preferred definitions and conceptual framework. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*. 2001, 69 (3), pp. 89-95.
18. Biomarkers in Risk Assessment: Validity and Validation (Environmental health criteria; 222). WHO International Programme on Chemical Safety, 2001. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehec/ehec/ehec222.htm> (accessed: 28.03.19).
19. Bonassi S., Ugolini D., Kirsch-Volders M., Stromberg U., Vermeulen R., Tucker J. D. Human population studies with cytogenetic biomarkers: review of the literature and future perspectives. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 2005, 45 (2-3), pp. 258-270.
20. Brandt H. C., Watson W. P. Monitoring human occupational and environmental exposures to polycyclic aromatic compounds. *Annals of Occupational Hygiene*. 2003, 47 (5), pp. 349-378.
21. Bridbord K., Hanson D. A personal perspective on the initial federal health-based regulation to remove lead from gasoline. *Environmental Health Perspectives*. 2009, 117 (8), pp. 1195-1201.
22. Centers for Disease Control and Prevention: National Biomonitoring Program. CDC, 2011. Available at: www.cdc.gov/biomonitoring (accessed: 08.04.19).
23. Chaumont A., Voisin C., Deumer G., Haufroid V., Annesi-Maesano I., Roels H., Thijs L., Staessen J., Bernard A. Associations of urinary cadmium with age and urinary proteins: Further evidence of physiological variations unrelated to metal accumulation and toxicity. *Environmental Health Perspectives*. 2013, 121 (9), pp. 1047-1053.
24. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, 2009. Available at: www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport.pdf (accessed: 28.03.19).
25. Georgopoulos P. G., Sasso A. F., Isukapalli S. S., Lioy P. J., Vallero D. A., Okino M., Reiter L. Reconstructing population exposures to environmental chemicals from biomarkers: Challenges and opportunities. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 2009, 19 (2), pp. 149-171.
26. International Programme on Chemical Safet. WHO, 1993. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehec/ehec/ehec155.htm> (accessed: 28.03.19).
27. Jakubowski M. Lead. In: *Biomarkers and Human Biomonitoring*. Knudsen L. E., Merlo D. F. (ed.). Cambridge, UK, 2012, pp. 322-337.
28. Jurewicz J., Polańska K., Hanke W. Chemical exposure early in life and the neurodevelopment of children - an overview of current epidemiological evidence. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2013, 20 (3), pp. 465-486.
29. Kadlubar F. F., Butler M. A., Kaderlik K. R., Chou H. C., Lang N. P. Polymorphisms for aromaticamine metabolism in humans: relevance for human carcinogenesis. *Environmental Health Perspectives*. 1992, 98, pp. 69-74.
30. Lauwerys R. R., Hoet P. *Industrial Chemical Exposure: Guidelines for Biological Monitoring*. Boca Raton, FL, Lewis Publishers, 2001, 638 p.
31. Leng S. X., McElhaney J. E., Walston J. D., Xie D., Fedarko N. S., Kuchel G. A. ELISA and multiplex technologies for cytokine measurement in inflammation and aging research. *Journal of Gerontology. Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2008, 63 (8), pp. 879-884.
32. Lionetto M. G., Caricato R., Calisi A., Giordano M. E., Schettino T. Acetylcholinesterase as a Biomarker in Environmental and Occupational Medicine: New Insights and Future Perspectives. *BioMed Research International*. 2013. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3727120> (accessed: 22.05.19).

33. Lu J., Jin T., Nordberg G., Nordberg M. Metallothionein gene expression in peripheral lymphocytes from cadmium-exposed workers. *Cell Stress Chaperones*. 2001, 6 (2), pp. 97-104.
34. Mason R. P., Lawson N. M., Sheu G. R. Mercury in the atlantic ocean: factors controlling air-sea exchange of mercury and its distribution in the upper waters. *Deep-Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2001, 48 (13), pp. 2829-2853.
35. Mayeux R. Biomarkers: potential uses and limitations. *NeuroRx*. 2004, 1 (2), pp. 182-188.
36. Principles for evaluating health risks in children associated with exposure to chemicals (Environmental Health Criteria 237). WHO, 2006. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43604> (accessed: 08.04.19).
37. Prüss-Üstün A., Corvalán C. *Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease*. WHO, 2006. 105 p.
38. Prüss-Üstün A., Wolf J., Corvalán C., Bos R., Neira M. *Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks*. WHO, 2016. 149 p.
39. Sanders T., Liu Y., Buchner V., Tchounwou P. B. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: a review. *Reviews on Environmental Health*. 2009, 24 (1), pp. 15-45.
40. Savolainen V. T., Pajarinen J., Perola M., Penttilä A., Karhunen P. J. Polymorphism in the cytochrome P450 2E1 gene and the risk of alcoholic liver disease. *Journal of Hepatology*. 1997, 26 (1), pp. 55-61.
41. Schulz C., Wilhelm M., Heudorf U., Kolossa-Gehring M. Reprint of «Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission». *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2012, 215 (2), pp. 150-158.
42. Seidegard J., Pero R. W., Markowitz M. M., Roush G., Miller D. G., Beattie E. J. Isoenzyme(s) of glutathione transferase (class Mu) as a marker for the susceptibility to lung cancer: a follow up study. *Carcinogenesis*. 1990, 11 (1), pp. 33-36.
43. Smolders R., Den H. E., Koppen G., Govarts E., Willems H., Casteleyn L., Kolossa-Gehring M., Fiddicke U., Castaño A., Koch H. M., Angerer J., Esteban M., Sepai O., Exley K., Bloemen L., Horvat M., Knudsen L. E., Joas A., Joas R., Biot P., Aerts D., Katsonouri A., Hadjipanayis A., Cerna M., Krskova A., Schwedler G., Seiwert M., Nielsen J. K., Rudnai P., Közepeszy S., Evans D. S., Ryan M. P., Gutleb A. C., Fischer M. E., Ligocka D., Jakubowski M., Reis M. F., Namorado S., Lupsa I. R., Gurzau A. E., Halzlova K., Fabianova E., Mazej D., Tratnik S. J., Gomez S., González S., Berglund M., Larsson K., Lehmann A., Crettaz P., Schoeters G. Interpreting biomarker data from the COPHES/DEMOCOPHES twin projects: Using external exposure data to understand biomarker differences among countries. *Environmental Research*. 2015, 141, pp. 86-95.
44. Solomon G. M., Weiss P. M. Chemical Contaminants in Breast Milk: time trends and regional variability. *Environmental Health Perspectives*. 2002, 110 (6), p. 341.
45. Strimbu K., Tavel J. A. What are Biomarkers? *Current Opinion in HIV and AIDS*. 2010, 5 (6), pp. 463-466.
46. Tan Y. M., Liao K., Conolly R., Blount B., Mason A., Clewell H. Use of a physiologically based pharmacokinetic model to identify exposures consistent with human biomonitoring data for chloroform. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A: Current Issues*. 2006, 69 (18), pp. 1727-1756.
47. Thier R., Bruning T., Roos P. H., Rihs H. P., Golka K., Ko Y., Bolt H. M. Markers of genetic susceptibility in human environmental hygiene and toxicology: the role of selected CYP, NAT and GST genes. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2003, 206 (3), pp. 149-171.
48. Toxicological profile for carbon monoxide. U. S. Department of Health and Human Services Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2012, 308 p.
49. Tretyakova N., Goggin M., Janis G. Quantitation of DNA adducts by stable isotope dilution mass spectrometry. *Chemical Research in Toxicology*. 2012, 25 (10), pp. 2007-2035.
50. Wilhelm M., Heinzow B., Angerer J., Schulz C. Reassessment of critical lead effects by the German Human Biomonitoring Commission results in suspension of the human biomonitoring values (HBM I and IBM II) for lead in blood of children and adults. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2010, 213 (4), pp. 265-269.

Контактная информация:

Чащин Валерий Петрович – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, директор международного центра общественного здравоохранения имени А. Коха и И. И. Мечникова ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Минздрава России
Адрес: 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41
E-mail: valerych05@mail.ru

УДК 613.2:616.432:616.441(571.121)

DOI: 10.33396/1728-0869-2019-9-15-23

СООТНОШЕНИЕ ДОФАМИНА, ГОРМОНОВ, АУТОАНТИТЕЛ СИСТЕМЫ ГИПОФИЗ – ЩИТОВИДНАЯ ЖЕЛЕЗА И ФАКТОРОВ РАЦИОНА ПИТАНИЯ У КОРЕННОГО НАСЕЛЕНИЯ ЯМАЛА

© 2019 г. **Е. В. Типисова, *А. А. Лобанов, В. А. Попкова, И. Н. Горенко,
*С. В. Андронов, *А. И. Попов**

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова
Российской академии наук», г. Архангельск; *ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард

Цель: изучение проблемы влияния фактического питания на состояние системы гипофиз – щитовидная железа у коренного населения Ямало-Ненецкого автономного округа в связи со сменой традиционного питания и ухудшающейся экологической ситуацией. *Методы.* Обследованы 212 человек – тундровое (63 человека) и поселковое (149) население от 21 до 50 лет. Иммуноферментным и радиоизотопным методами в сыворотке и плазме крови определяли уровни гормонов, аутоантител, дофамина, циклического аденозинмонофосфата (цАМФ). Рассчитаны абсолютные значения фактических величин среднесуточного рациона питания, медианы показателей, проценты их отклонений от референсных границ, коэффициенты корреляции Спирмена. *Результаты.* Тундровое население по сравнению с поселковым отличается более низким содержанием свободного тироксина, интегрального тиреоидного индекса на фоне более высоких уровней тиротропина и тиреоглобулина при снижении уровней антител к тиреоглобулину. У тундрового населения выше суточное потребление крови оленя, шокура, сливочного масла, макарон, муки, а у поселкового – курицы, сыра, яблок. У тундрового населения положительные корреляции с содержанием цАМФ выявлены при потреблении шокура, ряпушки, местных ягод, моркови, лука, растительного масла и отрицательные – при потреблении копченой колбасы и чая. Потребление щуки, корюшки отрицательно коррелировало с содержанием общих и свободных фракций тироксина. Между количеством потребления шокура и содержанием тиреоглобулина установлены отрицательные связи, а содержанием антител к тиреоглобулину и тиреопероксидазе – положительные. *Выводы.* Тиреоидный статус и характер питания у тундрового и поселкового коренного населения отличаются. Традиционные продукты питания положительно коррелируют с содержанием цАМФ. Потребление местной рыбы отрицательно коррелирует с содержанием тиреоглобулина, йодтиронинов и положительно – с уровнями аутоантител.

Ключевые слова: традиционное питание, коренные народы, Арктика, щитовидная железа, аутоантитела, дофамин

RATIO OF DOPAMINE, HORMONES, AUTOANTIBODIES OF THE PITUITARY-THYROID BODY AND REGIMEN FACTORS IN THE INDIGENOUS POPULATION OF YAMAL

E. V. Tipisova, *A. A. Lobanov, V. A. Popkova, I. N. Gorenko, *S. V. Andronov, *A. I. Popov

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (FCIARctic);

*Arctic Research Center of the Yamal-Nenets autonomous district

The aim is to study the problem of the actual nutrition effect on the state of the pituitary-thyroid body in the indigenous population of the Yamalo-Nenets Autonomous District in connection with the change of traditional nutrition and the deteriorating environmental situation. *Methods.* 212 inhabitants (aged 21-50 years old) were surveyed, among them 63 - representatives of tundra and 149 - settlement population. The levels of hormones, autoantibodies, dopamine, cyclic adenosine monophosphate (cAMP) were determined by immunoenzyme and radioisotope methods in serum and plasma. The absolute values of the actual magnitudes of the daily average diet, the medians of the indicators, the percentages of their deviations from the reference limits, the Spearman's correlation coefficients were calculated. *Results.* The tundra population in comparison with the settlement is characterized by a lower content of free thyroxine, an integral thyroid index against the background of higher levels of thyrotropine and thyroglobulin with lowering levels of antibodies to thyroglobulin. In the tundra population, the daily intake of deer's blood, broad whitefish, butter, macaroni and flour is higher, while in the settlement - chicken, cheese, and apples. In the tundra population, positive correlations with cAMP content were revealed with the consumption of broad whitefish, vendace, local berries, carrots, onions, vegetable oil and negative - with the consumption of smoked sausage and tea. Consumption of pike, smelt negatively correlated with the content of total and free thyroxine fractions. Negative links were found between the amount of broad whitefish consumption and the thyroglobulin content, and the antibodies content to thyroglobulin and thyroperoxidase - positive. *Conclusions.* The thyroid status and feeding habits in tundra and settlement indigenous people are different. Traditional foods are positively correlated with cAMP content. The consumption of local fish negatively correlates with the content of thyroglobulin, iodothyronines and positively with the levels of autoantibodies.

Key words: traditional food, indigenous people, Arctic, thyroid gland, autoantibodies, dopamine

Библиографическая ссылка:

Типисова Е. В., Лобанов А. А., Попкова В. А., Горенко И. Н., Андронов С. В., Попов А. И. Соотношение дофамина, гормонов, аутоантител системы гипофиз – щитовидная железа и факторов рациона питания у коренного населения Ямала // Экология человека. 2019. № 9. С. 15–23.

Tipisova E. V., Lobanov A. A., Popkova V. A., Gorenko I. N., Andronov S. V., Popov A. I. Ratio of Dopamine, Hormones, Autoantibodies of the Pituitary-Thyroid Body and Regimen Factors in the Indigenous Population of Yamal. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 9, pp. 15-23.

Проживание в климатогеографических условиях Арктики накладывает отпечаток на функционирование сердечно-сосудистой, нервной, иммунной, симпатoadrenalовой и других систем организма человека [9, 13, 18]. Особому напряжению подвергается функциональная активность щитовидной железы, что ведет к снижению ее резервных возможностей и раннему развитию патологических процессов [17], особенно у лиц с экстремальными условиями труда и жизнедеятельности [10, 14]. Одним из регуляторов работы системы гипоталамо-гипофиз – щитовидная железа выступает дофаминергическая система [19]. В то же время важным компонентом, необходимым для нормального функционирования всего организма человека, в том числе и эндокринной системы, является рациональное питание, что особенно актуально при проживании в условиях Арктики [3, 11]. Для поддержания нормального функционирования щитовидной железы и синтеза дофамина необходимыми компонентами являются йод, другие микроэлементы, жирные кислоты [4] и витамины, а также синтезируемая из фенилаланина аминокислота тирозин, которыми богаты традиционные продукты питания северных народов. Как доступность пищи, так и разнообразие субстратов влияет на содержание гормонов щитовидной железы [26]. При изучении влияния диеты, обогащенной рыбьим жиром, показано, что уровни дофамина были на 40 % больше в лобной доле у крыс, которых кормили рыбьим жиром, чем у контрольной группы [22]. Подобное повышение уровней дофамина в стриатуме наблюдали при введении крысам селена [27]. Для усиления синтеза дофамина при лечении синдрома дефицита внимания и гиперактивности предлагают [23] прием сульфата цинка, так как цинк необходим для синтеза мелатонина, который стимулирует образование дофамина.

Ввиду малоизученности проблемы влияния традиционного питания населения Ямала на функциональную активность щитовидной железы, особенно в связи с переходом коренного населения на оседлый образ жизни, представляется актуальным проведение исследований в отдельных популяционных группах – поселковые коренные народы и тундровое кочующее коренное население.

Цель исследования – изучение соотношения потребления отдельных продуктов питания и уровней гормонов щитовидной железы, дофамина и циклического аденозинмонофосфата (цАМФ) в крови у поселкового и тундрового коренного населения Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО).

Методы

Аналитическое количественное выборочное одномоментное контролируемое исследование проводилось на территории ЯНАО в период увеличения светового дня (март): в 2015 году в с. Се-Яха (70°10' с. ш.), в 2016-м в пос. Тазовский (67°33' с. ш.), с. Ыда (70°53' с. ш.). Обследованы 212 человек коренного населения (ненцы) в возрасте от 21 года до 50 лет.

Обследованных делили на группы: первая группа проживала в поселках (149 человек), вторая вел кочующий образ жизни в условиях тундры (63 человек). Средний возраст – 40 лет и 42 года соответственно. На момент обследования наблюдаемые не имели зарегистрированной эндокринной патологии, обострений хронических заболеваний.

В период с 8 до 10 часов утра натошак осуществлялся забор крови из локтевой вены в пробирки типа «Improvacuter» для получения сыворотки и плазмы крови. При этом соблюдались нормы биомедицинской этики в соответствии с документом «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов исследования» (Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации 1964 года с изменениями и дополнениями 2008). Пробирку с образцами крови центрифугировали в течение 10–15 мин при скорости 1 500–2 000 об./мин. Полученные сыворотку и плазму расфасовывали по микропробиркам и хранили в замороженном состоянии до проведения анализа. Методом иммуноферментного *in vitro* анализа на планшетном автоматическом анализаторе ELISYS Uno («Human», Германия) с помощью тест-наборов фирмы «Алкор Био» (Россия) в сыворотке крови определяли уровни тиротропина (ТТГ), общего и свободного тироксина (Т₄, св. Т₄), трийодтиронина (Т₃, св. Т₃), тиреоглобулина (ТГ), антител к тиреоглобулину (анти ТГ), антител к тиреоидной пероксидазе (анти ТПО); с помощью тест-наборов фирмы «LDN» (Германия) в плазме крови определяли уровни дофамина; методом радиоиммунологического *in vitro* анализа на установке «АРИАН» («Наркотест», ООО «Витако», Россия) с помощью тест-наборов «Immunotech» (Чехия) в плазме крови определяли уровни циклического аденозинмонофосфата (цАМФ).

Проводился анализ анкетных данных по питанию обследованных лиц, в которых было указано название продукта питания, порции в граммах и частота потребления данного продукта. Были получены абсолютные значения фактических величин среднесуточного рациона питания.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью компьютерного пакета прикладных программ «Statistica 10.0» (Stat Soft, США). В связи с тем, что выборки не подчиняются закону нормального распределения, для проведения анализа были использованы непараметрические методы статистики [21]. В процессе проведения статистического анализа рассчитывались медианы показателей (Me), пределы колебаний значений (10–90 %), проценты отклонений от референсных границ, коэффициенты корреляции Спирмена. В данном анализе пороговое значение уровня значимости принималось равным 0,05. За нормы принимали величины, указанные в качестве референсных значений в инструкциях к тест-наборам.

Результаты

Анализ содержания в крови уровней гормонов, ТГ и аутоантител, уровня дофамина и цАМФ у различных групп коренного населения показал, что у жителей тундры по сравнению с поселковым населением статистически значимо выше содержание в крови ТТГ, ТГ и ниже уровни св. Т₄, анти ТГ и интегрального тиреоидного индекса (ИТИ) (табл. 1). Частота выявления концентраций ТТГ выше нормы составила для поселкового населения 9,7 % и для тундрового населения 16,7 %. Высокое содержание ТГ было отмечено у 3,2 % поселкового и 14,8 % тундрового населения (p = 0,039). Напротив, частота выявления уровней антител к антигенам щитовидной железы была статистически значимо выше у жителей поселков. Так, повышенные уровни анти ТПО имеют 28,5 % поселковых жителей и 15,4 % тундровиков, а анти ТГ – 16,4 и 3,7 % лиц (p = 0,05) соответственно. Для поселкового и тундрового населения характерным является наличие низкого содержания цАМФ относительно норм у 30 и 47,8 % лиц соответственно. Относительно содержания дофамина было показано наличие 23,4 % лиц с высокими его уровнями среди поселкового населения и 30 % лиц среди тундрового населения.

Показано статистически значимое увеличение количества суточного потребления таких продуктов традиционного питания, как кровь оленя (в 2 раза), щокур (в 2,85 раза), а также сливочного масла – в 1,75 раза, макарон – в 2 раза, муки – в 6,43 раза у тундрового населения по сравнению с поселковым (табл. 2), а среди поселкового – курицы в 2 раза, сыра – в 2,58 раза, яблок – в 3,21 раза.

У поселкового населения корреляционный анализ показал положительную связь уровней ТГ с потреблением сыра (r = 0,46; p = 0,014), гречи (r = 0,37;

p = 0,03), зелени (r = 0,43; p = 0,03) и репчатого лука (r = 0,38; p = 0,02). Регистрировали наличие обратной связи между содержанием анти ТПО и потреблением репчатого лука (r = –0,44; p = 0,006) и свеклы (r = –0,41; p = 0,013), а анти ТГ – репчатого лука (r = –0,36; p = 0,03). Напротив, положительные корреляционные связи уровней анти ТПО выявили с потреблением хлебобулочных изделий: батона, булочек (r = 0,56; p = 0,009), вафель (r = 0,77; p = 0,005) и анти ТГ – с потреблением вафель (r = 0,73; p = 0,014). Показаны положительные корреляционные связи между содержанием ТТГ в крови и потреблением макарон (r = 0,34; p = 0,016) и свинины (r = 0,58; p = 0,046), напротив, отрицательные корреляционные связи регистрировали между уровнями ТТГ и потреблением свеклы (r = –0,31; p = 0,018).

У тундрового населения положительные корреляционные связи с содержанием цАМФ имело потребление таких традиционных продуктов питания, как щокур (r = 0,44; p = 0,023), ряпушка (r = 0,72; p = 0,042), местные ягоды (r = 0,47; p = 0,019). Также прямые корреляции уровней цАМФ были выявлены с потреблением моркови (r = 0,46; p = 0,043), лука (r = 0,47; p = 0,043), растительного масла (r = 0,43; p = 0,044) и отрицательные – с использованием в пищу копченой колбасы (r = –0,78; p = 0,037) и чая (r = –0,58; p = 0,006). Суточное потребление курицы у поселкового населения отрицательно коррелировало с содержанием цАМФ (r = –0,78; p = 0,002), в то же время показатели суточного потребления растительного масла имели положительные корреляционные связи с содержанием цАМФ (r = 0,49; p = 0,04).

Суточное количество потребления тундровиками крови оленя отрицательно коррелировало с содержа-

Таблица 1

Содержание показателей системы гипофиз – щитовидная железа, дофамина и цАМФ в крови жителей поселков и тундры Ямало-Ненецкого автономного округа

Показатель, ед. изм.	Референсные значения тест-набора	Жители поселков	Жители тундры	Значимость различий (p)
		Ме (10–90 %)	Ме (10–90 %)	
Тиротропин, мкЕд/мл	0,23–3,40	2,24 (0,96–3,27)	2,54 (1,18–4,22)	0,018
Тироксин, нмоль/л	53–158	112,3 (81,6–129,3)	113,2 (85,4–128,5)	>0,05
Свободные фракции тироксина, пмоль/л	10,0–23,2	14,1 (11,5–16,9)	13,1 (11,7–17,4)	0,044
Трийодтиронин, нмоль/л	1,0–2,8	1,53 (1,10–4,70)	1,60 (1,35–3,30)	>0,05
Свободные фракции трийодтиронина, пмоль/л	2,7–7,5	5,48 (3,97–6,95)	5,61 (4,32–6,09)	>0,05
Тиреоглобулин, нг/мл	До 55	16,38 (2,40–41,81)	28,9 (8,07–77,89)	0,005
Антитела к тиреоглобулину, ед/мл	0–65	2,58 (0–83,87)	1,37 (0–9,45)	0,009
Антитела к тиреопероксидазе, ед/мл	0–30	5,79 (0,68–96,13)	2,47 (1,77–68,04)	>0,05
Циклический АМФ, нмоль/л	17,97–45,4	20,07 (10,89–47,19)	19,19 (10,89–30,91)	>0,05
Дофамин, нмоль/л	0–0,653	0,503 (0,020–0,870)	0,559 (0,078–0,896)	>0,05
св. Т ₃ /св. Т ₄ (ИпПК)	–	0,393 (0,291–0,521)	0,394 (0,332–0,511)	>0,05
св. Т ₄ / св. Т ₃ (ИпПК)	1,37–4,43	2,50 (1,92–3,45)	2,60 (1,95–3,68)	>0,05
св. Т ₃ +св. Т ₄ / ТТГ (ИТИ)	7,04–27,21	8,65 (5,05–19,00)	7,55 (4,69–12,31)	0,016

Примечание. Ме – медиана; (10–90 %) – значения 10-го и 90-го перцентилей.

Таблица 2

Потребление продуктов питания из среднего расчета граммов в сутки тундровыми и поселковыми жителями Ямало-Ненецкого автономного округа

Продукт	Поселок			Тундра			Значимость различий (р)
	Ме	10 %	90 %	Ме	10 %	90 %	
Оленина	600,0	85,7	800,0	600,0	128,6	800,0	>0,05
Печень оленя	20,0	13,3	33,3	23,4	13,3	85,7	>0,05
Кровь оленя	13,3	3,3	26,7	26,7	6,7	100,0	<0,001
Муксун	40,0	20,0	257,1	66,7	26,7	1000,0	>0,05
Щокур	171,4	26,7	1000,0	490,0	40,0	1400,0	0,003
Ряпушка	66,7	1,1	600,0	128,6	0,8	800,0	>0,05
Корюшка	33,4	5,0	600,0	10,0	6,7	600,0	>0,05
Щука	33,3	0,8	607,1	26,7	0,5	128,6	>0,05
Налим	3,3	3,3	171,4	43,3	13,3	128,6	>0,05
Пыжьян	128,6	3,3	600,0	128,6	16,7	800,0	>0,05
Ягоды местные	42,9	4,5	200,0	64,3	2,2	400,0	>0,05
Говядина	26,7	13,3	128,6	20,0	20,0	20,0	>0,05
Свинина	40,0	20,0	400,0	20,0	20,0	128,6	>0,05
Курица	40,0	13,3	128,6	20,0	13,3	128,6	0,046
Колбаса вареная	26,7	4,7	200,0	13,3	6,7	42,9	>0,05
Колбаса копченая	26,7	6,7	200,0	13,3	6,7	26,7	>0,05
Пельмени	26,7	13,3	53,3	33,3	13,3	128,6	>0,05
Консервы мясные	26,7	16,7	85,7	26,7	13,3	53,3	>0,05
Рыба привозная	2,0	2,0	2,0	0	-	-	-
Консервы рыбные	16,7	13,3	85,7	13,3	13,3	33,3	>0,05
Картофель	400,0	85,7	600,0	400,0	85,7	600,0	>0,05
Морковь	200,0	42,9	200,0	200,0	13,3	200,0	>0,05
Свекла	26,7	6,7	128,6	21,4	3,7	41,5	>0,05
Лук	200,0	40,0	400,0	200,0	17,1	400,0	>0,05
Капуста	85,7	20,0	128,6	128,6	13,3	128,6	>0,05
Помидоры	20,0	10,0	85,7	16,7	6,7	85,7	>0,05
Огурцы	20,0	13,3	85,7	16,7	13,3	85,7	>0,05
Зелень	20,0	6,4	200,0	20,0	10,0	40,0	>0,05
Греча	40,0	20,0	128,6	128,6	32,1	128,6	>0,05
Рис	42,9	20,0	128,6	128,6	40,0	128,6	>0,05
Овсяные хлопья	85,7	13,3	400,0	128,6	26,7	400,0	>0,05
Бобовые	26,7	13,3	53,3	16,7	6,7	40,0	>0,05
Молоко	85,7	13,3	400,0	76,2	13,3	400,0	>0,05
Кефир	85,7	13,3	400,0	20,0	13,3	66,7	>0,05
Сметана	25,7	6,7	200,0	13,3	6,7	42,9	>0,05
Творог	26,7	10,0	85,7	13,3	6,7	400,0	>0,05
Сыр	17,4	4,0	200,0	6,7	3,3	13,3	0,002
Мороженое	10,0	6,7	26,7	6,7	6,7	200,0	>0,05
Масло сливочное	40,0	3,7	120,0	70,0	40,0	150,0	<0,001
Масло растительное	200,0	25,7	200,0	200,0	29,1	200,0	>0,05
Маргарин	13,3	13,3	13,3	0	-	-	-
Сало свиное	6,7	6,7	30,0	6,7	6,7	13,3	>0,05
Хлеб белый	400,0	140,0	1000,0	400,0	100,0	1000,0	>0,05
Хлеб серый	400,0	70,0	800,0	550,0	125,0	800,0	>0,05
Батон (булочки)	85,7	13,3	400,0	85,7	13,3	400,0	>0,05
Макаронны	64,3	20,0	128,6	128,6	85,7	600,0	<0,001
Мука	66,7	26,7	214,2	428,6	40,0	2000,0	0,004
Сахар	40,0	20,0	70,0	25,0	20,0	75,0	>0,05
Варенье	100,0	6,7	120,0	100,0	12,9	500,0	>0,05
Сгущенное молоко	100,0	3,3	100,0	100,0	6,7	100,0	>0,05
Мёд	4,3	0,7	21,4	6,7	3,9	100,0	>0,05
Конфеты карамель	12,9	0,7	60,0	20,0	1,3	48,0	>0,05
Конфеты шоколадные	8,6	0,7	96,0	6,5	0,8	40,0	>0,05
Халва	3,3	3,3	21,4	6,7	6,7	6,7	>0,05

Продолжение таблицы 2

Продукт	Поселок			Тундра			Значимость различий (p)
	Me	10 %	90 %	Me	10 %	90 %	
Шоколад	6,7	3,3	21,4	6,7	1,3	42,9	>0,05
Вафли	100,0	13,3	200,0	42,9	13,3	200,0	>0,05
Пряники	51,5	13,3	200,0	42,9	13,3	200,0	>0,05
Печенье	100,0	13,3	200,0	42,9	13,3	200,0	>0,05
Яблоки	85,7	13,3	400,0	26,7	13,3	128,6	0,004
Ягоды привозные	0	–	–	0	–	–	–
Чай	1000	800	1000	1000	1000	1600	0,035
Кофе	400,0	13,3	800,0	400,0	13,3	400,0	>0,05
Сладкие газированные напитки	0	–	–	0	–	–	–

Примечания: Me – медиана; (10–90 %) – значения 10-го и 90-го перцентилей; жирным обозначены статистически значимые отличия в массе потребления изучаемых продуктов питания тундровым и поселковым населением.

нием дофамина ($r = -0,34$; $p = 0,049$). У поселкового населения выявлены положительные корреляции между содержанием дофамина и употреблением таких мясных продуктов, как варёная колбаса ($r = 0,38$; $p = 0,01$), копчёная колбаса ($r = 0,40$; $p = 0,007$), пельмени ($r = 0,41$; $p = 0,003$), свиное сало ($r = 0,45$; $p = 0,016$).

У тундрового населения показаны корреляционные связи между количеством потребления такого продукта традиционного питания, как шокур, с содержанием ТГ, однако они носят отрицательный характер ($r = -0,65$; $p = 0,02$). В то же время показано наличие положительных связей между количеством потребления шокура и содержанием анти ТГ и анти ТПО соответственно ($r = 0,7$; $p = 0,007$; $r = 0,62$; $p = 0,02$). Отрицательные корреляции показаны у тундрового населения относительно содержания T_4 и употребления местных ягод ($r = -0,46$; $p = 0,03$). Суточное потребление щуки ($r = -0,89$; $p = 0,01$), корюшки ($r = -0,35$; $p = 0,03$) у поселкового населения отрицательно коррелировало с содержанием общих и свободных фракций тироксина соответственно.

Выявлен факт отрицательной корреляции употребления сливочного масла у тундрового населения с уровнем св. T_4 ($r = -0,47$; $p = 0,006$) и положительной корреляции с индексом прогрессирующей периферической конверсии (ИпПК) ($r = 0,48$; $p = 0,018$).

Обсуждение результатов

Нами показано, что тиреоидный статус и характер питания у тундрового и поселкового населения отличается, а традиционные продукты питания оказывают неоднозначное влияние на исследуемые показатели. Мы описали наиболее значимые связи фактического питания, в том числе и традиционного, у коренного населения ЯНАО и состояния системы гипофиз – щитовидная железа, уровней дофамина и цАМФ, что позволит обратить внимание на возможные последствия изменения традиционного питания и разработать рекомендации с помощью изменения приоритетов в фактическом питании. Методологически исследование проведено в один и тот же фотопериод года, в утренние часы, натощак,

у одной возрастной группы лиц, не отличающихся статистически по возрасту. Обсуждение полученных результатов носит дискуссионный характер и требует проведения дальнейших исследований этого вопроса. Кроме того, предполагается провести анализ результатов с учетом пола.

В литературе имеются сведения о различиях в состоянии системы гипофиз – щитовидная железа среди пришлого и коренного населения Севера, проживающего в поселках, на территориях Сибири и Урала [7, 8], однако данных по сравнению изучаемых показателей у коренных народов, ведущих оседлый образ жизни в поселках и кочующий образ жизни, нами не обнаружено. В наших исследованиях [6, 19, 20] были показаны некоторые особенности активности рассматриваемой системы у данных групп населения, включая Европейский и Азиатский Север. В настоящем исследовании, касающемся рассмотрения только Азиатского Севера, впервые показаны отличия в гипофизарной активности системы гипофиз – щитовидная железа, заключающиеся в более высоком уровне ТТГ у тундровиков по сравнению с поселковым населением. Вероятно, это связано с тем, что жизнь кочующих оленеводов в климатических условиях ЯНАО подвергается воздействию более низких температур по сравнению с Европейским Севером. Снижение уровней св. T_4 у тундровиков по сравнению с жителями поселков было показано ранее и, вероятно, связано с усилением процессов периферической конверсии йодтиронинов [8, 19], однако в данном исследовании ИпПК статистически значимо не изменяется.

В настоящей работе мы демонстрируем более высокие уровни ТГ у жителей тундры по сравнению с поселковым населением. Схожие результаты были показаны в работе Корчина В. И. [8], где у представителей коренного населения (ханты, манси), однако проживающих в поселках, содержание ТГ было выше, чем у пришлого населения. Ранее нами было показано снижение уровней анти ТПО у кочующего населения [19], что согласуется с полученными ныне данными о снижении также и уровней анти ТГ. В работе Колесниковой Л. И. с соавторами [7] отмечены более высокие уровни ИТИ у коренного населения

(тофалары, эвенки) по сравнению с пришлыми жителями. Нами получены сведения о снижении ИТИ в группе кочующих оленеводов по сравнению с поселковым населением.

Более низкое содержание анти ТГ и соответственно увеличение содержания ТГ у тундровиков по сравнению с поселковым населением демонстрирует наличие физиологической регуляции уровня ТГ и достаточно высокие резервы для синтеза йодтиронинов у тундрового населения. Повышение уровней ТТГ при снижении содержания св. T_4 у кочующих оленеводов объясняется физиологическими механизмами обратной регуляции в системе гипофиз — щитовидная железа. Однако наличие превышающих норму значений ТТГ у коренного населения может как служить адаптационной реакцией при расширении пределов колебаний показателей у жителей Севера [16], так и приводить к срыву адаптационных механизмов и являться признаком субклинического гипотиреоза. На этом фоне более низкие значения ИТИ у жителей тундры могут служить критериями риска развития дезадаптивных нарушений со стороны щитовидной железы.

Наибольшее количество корреляционных связей между суточным потреблением продуктов питания и уровнем показателей системы гипофиз — щитовидная железа у поселкового населения отмечено относительно репчатого лука. Вероятно, что большое содержание в нём витамина С может оказывать положительное влияние на синтез тиреоглобулина — белка щитовидной железы, участвующего в синтезе тиреоидных гормонов. Однако есть сведения об обратном влиянии основного летучего компонента N-пропилдисульфид репчатого лука (*Allium* сера) у крыс [25]. В то же время отрицательные связи между содержанием аутоантител, нарушающих работу щитовидной железы, и потреблением репчатого лука позволяют предположить возможную роль этого продукта в снижении аутоиммунизации щитовидной железы, что является актуальным ввиду выявления большой доли лиц с высокими уровнями антител. Можно предположить и пользу свеклы в снижении аутоиммунизации щитовидной железы, а также положительный эффект на синтез тиреоглобулина продуктов питания, богатых аминокислотами, витаминами и микроэлементами, таких как сыр [15], гречневая крупа [5] и зелень [12].

Неоднозначный результат получен по корреляциям традиционных продуктов питания и показателей системы гипофиз — щитовидная железа и цАМФ. Положительные связи между содержанием антител к антигенам щитовидной железы и продуктами питания, вероятно, могут свидетельствовать о возможной роли этих продуктов питания в аутоиммунизации щитовидной железы. К таким продуктам можно отнести хлебобулочные изделия и шокур. Известно, что местные традиционные продукты питания могут являться источниками тяжелых металлов [2], которые, в свою

очередь, могут оказывать повреждающее действие на щитовидную железу [1]. Кроме того, отрицательные корреляции показаны между потреблением местной рыбы, ягод и содержанием тиреоглобулина и тироксина. С другой стороны, у тундрового населения традиционные продукты питания, такие как шокур, ряпушка, местные ягоды, а также морковь, лук, растительное масло, по результатам корреляционного анализа, возможно, оказывают положительное влияние на содержание цАМФ, а потребление копченой колбасы и чая — отрицательное. Повышение потребления курицы у поселкового населения, вероятно, может негативным образом сказываться на уровне цАМФ. Ввиду того, что большая доля лиц коренного населения имеет значения цАМФ ниже нормативных показателей, ограничение мясных деликатесов для данной популяции лиц, возможно, будет являться мерой, направленной на нормализацию метаболических процессов в клетке.

Напряжение системы гипофиз — щитовидная железа, связанное с повышением уровней ТТГ, по результатам корреляционного анализа, могло повлиять на употребление макарон и свинины у поселкового населения. Напротив, отрицательные связи уровней ТТГ и свеклы могут предполагать ее положительный эффект на указанную систему. Известно, что чрезмерные уровни дофамина могут ингибировать функцию щитовидной железы [24]. В связи с этим наличие отрицательной связи между суточным количеством потребления тундровиками крови оленя и уровнем дофамина, возможно, связано с нормализацией психоэмоционального состояния организма при употреблении данного продукта, что вызывает интерес в свете практического её использования для снижения высоких уровней дофамина у жителей Арктики.

Выводы

1. Тундровое население по сравнению с поселковым отличается более низким содержанием свободного тироксина и интегрального тиреоидного индекса на фоне более высокого уровня тиреотропина и тиреоглобулина при снижении уровней антител к тиреоглобулину, что свидетельствует как о большей адаптационной способности гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы, так и о риске развития субклинического гипотиреоза.

2. Отрицательные корреляционные связи между содержанием аутоантител к тиреопероксидазе и тиреоглобулину, нарушающих работу щитовидной железы, и потреблением репчатого лука и свеклы у поселкового населения позволяют предположить возможную роль этих продуктов в снижении аутоиммунизации щитовидной железы, что является актуальным ввиду выявления большой доли лиц с высокими уровнями антител.

3. Выявлены положительные корреляционные связи между содержанием аутоантител к антигенам щитовидной железы и употреблением хлебобулочных

изделий, а также между концентрацией тиреотропина и потреблением макарон и свинины у поселкового населения, что может указывать на их роль как в развитии аутоиммунных процессов, так и на напряжение со стороны гипофизарной регуляции гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы.

4. У тундрового населения выявлены положительные корреляционные связи содержания цАМФ в крови с потреблением щокура, ряпушки, местных ягод, моркови, лука, растительного масла и отрицательные — с употреблением копченой колбасы и чая, что позволяет проводить коррекцию активности метаболических процессов в клетке с учетом использования данных продуктов питания.

5. Потребление местной рыбы поселковым населением и тундровиками отрицательно коррелирует с содержанием тиреоглобулина, йодтиронинов и положительно — с уровнями аутоантител к антигенам щитовидной железы, что, возможно, связано с повреждающим воздействием на щитовидную железу содержащихся в ней тяжелых металлов.

6. У тундрового населения отрицательные связи между потреблением крови оленя и содержанием дофамина, возможно, связаны с нормализацией психоэмоционального состояния организма при употреблении данного продукта, что вызывает интерес в свете практического её использования для снижения высоких уровней дофамина у жителей Арктики.

Работа выполнена в соответствии с планом ФНИР ФГБУН ФИЦКИА РАН по теме «Выяснение модулирующего влияния содержания катехоламинов в крови на гормональный профиль у человека и гидробионтов Европейского Севера» (номер гос. регистрации АААА-А15-115122810188-4).

Авторство

Типисова Е. В. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, подготовила статью, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Лобанов А. А. внес существенный вклад в получение их, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Попкова В. А. внесла существенный вклад в получение данных, анализ и интерпретацию данных, подготовила статью, принимала участие в окончательном её утверждении; Горенко И. Н. внесла существенный вклад в получение данных, анализ и интерпретацию данных; принимала участие в подготовке статьи, ее окончательном утверждении; Андронов С. В. внес существенный вклад в получение данных, принимал участие в окончательном утверждении статьи; Попов А. И. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение данных, окончательное утверждение статьи.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Типисова Елена Васильевна — ORCID 0000-0003-2097-3806; SPIN: 9490-2026

Лобанов Андрей Аалександрович — ORCID 0000-0002-6615-733X; SPIN: 5793-4055

Попкова Виктория Анатольевна — ORCID 0000-0002-0818-7274; SPIN: 2351-1080

Горенко Ирина Николаевна — ORCID 0000-0003-3097-9427; SPIN: 2220-1377

Андронов Сергей Васильевич — ORCID 0000-0002-5616-5897; SPIN: 6926-4831

Попов Андрей Иванович — ORCID 0000-0002-0614-8116; SPIN: 1250-1679

Список литературы

1. *Абрамова Н. А., Фадеева В. В., Герасимов Г. А., Мельниченко Г. А.* Зобогенные вещества и факторы (Обзор литературы) // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2006. Т. 2, № 1. С. 21–32.

2. *Агбалян Е. В.* Содержание тяжелых металлов и риск для здоровья населения на Ямальском Севере // Гигиена и санитария. 2012. № 1. С. 14–16.

3. *Агбалян Е. В., Лобанова Л. П., Буганов А. А.* Проблемы питания и здоровья на Крайнем Севере // Здоровье населения и среда обитания. 2009. № 6. С. 16–19.

4. *Бичкаева Ф. А., Волкова Н. И., Бичкаев А. А. и др.* Взаимосвязи параметров углеводного обмена и насыщенных жирных кислот в сыворотке крови у лиц пожилого возраста // Успехи геронтологии. 2018. Т. 31, № 2. С. 231–238.

5. *Захарова И. Н., Дмитриева Ю. А.* Каша — важнейший вид прикорма у детей раннего возраста // Вопросы современной педиатрии. 2009. Т. 8, № 4. С. 116–120.

6. *Киприянова К. Е., Типисова Е. В., Горенко И. Н. и др.* Содержание гормонов систем гипофиз — щитовидная железа и гипофиз — гонады в крови у жительниц Европейского Севера Российской Федерации в постменопаузе в зависимости от возраста // Успехи геронтологии. 2018. Т. 31, № 1. С. 75–81.

7. *Колесникова Л. И., Даренская М. А., Гребенкина Л. А. и др.* Тиреоидный статус и витамины-антиоксиданты у девушек различных этносов // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2015. Т. 101, № 2. С. 214–221.

8. *Корчин В. И.* Особенности тиреоидного статуса взрослого населения Ханты-Мансийского автономного округа — Югры в зависимости от этнической принадлежности // Вестник СурГУ. 2016. № 3 (13). С. 77–81.

9. *Кривоногова Е. В., Поскотинова Л. В., Дёмин Д. Б., Ставинская О. А.* Биоуправление параметрами variability ритма сердца и уровень серотонина у молодых лиц Ненецкого автономного округа и Архангельской области // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-1. С. 25–29.

10. *Кубасов Р. В., Иванов А. М., Барачевский Ю. Е.* Клинико-лабораторные особенности секреторной функции тиреоидного звена регуляции у лиц опасных профессий // Клиническая лабораторная диагностика. 2017. Т. 62, № 2. С. 103–107.

11. *Лобанова Л. П., Лобанов А. А., Попов А. И.* Пример урбанизированного углеводного типа питания в ненецком поселении // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2014. № 2 (83). С. 87–90.

12. *Остриков А. Н., Складчикова Ю. В.* Комплексная оценка качества белых корней петрушки, сельдерея и пастернака // Нива Поволжья. 2009. № 1 (10). С. 97–100.

13. *Патракеева В. П.* Взаимосвязь функционального состояния эритроцитов и лимфоцитов периферической крови у практически здоровых людей // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2018. Т. 15, № 2. С. 205–210.

14. *Попкова В. А., Типисова Е. В., Юрьев Ю. Ю.* Специфика эндокринного профиля у работников целлюлозно-бумажного производства г. Архангельска // Экология человека. 2009. № 3. С. 26–30.

15. *Просекова А. Ю., Ермолаев В. А., Солдатова Л. С.*

Аминокислотный состав сыров до и после вакуумной сушки // Сыроделие и маслоделие. 2010. № 1. С. 30–31.

16. *Туписова Е. В.* Реактивность и компенсаторные реакции эндокринной системы у мужского населения Европейского Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 202 с.

17. *Туписова Е. В.* Этноэкологические и онтогенетические аспекты резервных возможностей щитовидной железы // Материалы Итоговой науч.-практ. конф. ГУ НИИ медицинских проблем Севера СО РАМН за 2004 год (с междунар. участием) «Вопросы сохранения и развития здоровья населения Севера и Сибири», Красноярск, 2005. Вып. 4. С. 105–107.

18. *Туписова Е. В., Елфимова А. Э., Горенко И. Н., Попкова В. А.* Эндокринный профиль мужского населения России в зависимости от географической широты проживания // Экология человека. 2016. № 2. С. 36–41.

19. *Туписова Е. В., Киприянова К. Е., Горенко И. Н. и др.* Содержание дофамина и гормонов системы гипофиз – щитовидная железа в крови у кочующего, оседлого и местного населения Арктики // Клиническая лабораторная диагностика. 2017. Т. 62, № 5. С. 291–296.

20. *Туписова Е. В., Молодовская И. Н.* Соотношение гормонов системы гипофиз – щитовидная железа с уровнем дофамина и циклического АМФ у мужчин Европейского Севера // Клиническая лабораторная диагностика. 2014. № 3. С. 52–56.

21. *Трухачёва Н. В.* Математическая статистика в медико-биологических исследованиях с применением пакета Statistica. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 384 с.

22. *Chalon S., Delion-Vancassel S., Belzung C.* [et al.] Dietary fish oil affects monoaminergic neurotransmission and behavior in rats // Journal of Nutrition. 1998. Vol. 128 (12). P. 2512–2519.

23. *Dodig-Curković K., Dovhanj J., Curković M., Dodig-Radić J., Degmečić D.* Uloga cinka u liječenju hiperaktivnog poremećaja u djece // Acta medica Croatica. 2009. Vol. 63, N 4. P. 307–313.

24. *Haugen B. R.* Drugs that suppress tsh or cause central hypothyroidism // Best Pract Res Clin Endocrinol Metab. 2009. Vol. 23 (6). P. 793–800.

25. *Nagarathna P. K. M., Jha D. K.* Study on antithyroid property of some herbal plants (Review) // International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. 2013. Vol. 23, Iss. 2. P. 203–211.

26. *Pałkowska-Goździk E., Lachowicz K., Rosołowska-Huszcz D.* Effects of dietary protein on thyroid axis activity (Review) // Nutrients. 2018. Vol. 10, Iss. 1. P. 5.

27. *Rasekh H. R., Davis M. D., Cooke L. W.* [et al.] The effect of selenium on the central dopaminergic system: a microdialysis study // Life Sciences. 1997. Vol. 61 (11). P. 1029–1035.

References

1. *Abramova N. A., Fadeeva V. V., Gerasimov G. A., Mel'nichenko G. A.* Environmental goitrogens and goitrogenic factors (Review of literature). *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya* [Clinical and experimental thyroidology]. 2006, 2 (1), pp. 21-32. [In Russian]

2. *Agbalyan E. V.* The content of heavy metals in foodstuffs and a health risk to the North Yamal population. *Gigiena i Sanitariya*. 2012, 1, pp. 14-16. [In Russian]

3. *Agbalyan E. V., Lobanova L. P., Buganov A. A.* Nutrition and health problems in the Far North. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Population Health and Life Environment]. 2009, 6, pp. 16-19. [In Russian]

4. *Bichkaeva F. A., Volkova N. I., Bichkaev A. A. i dr.* Correlation of parameters of carbohydrate metabolism and saturated fatty acids in blood serum in elderly people. *Uspekhi gerontologii* [Advances in Gerontology]. 2018, 31 (2), pp. 231-238. [In Russian]

5. *Zaharova I. N., Dmitrieva Yu. A.* Porridge - the main type of additional food in infants. *Voprosy sovremennoi pediatrii* [Current Pediatrics]. 2009, 8 (4), pp. 116-120. [In Russian]

6. *Kipriyanova K. E., Tipisova E. V., Gorenko I. N. i dr.* Pituitary-gonadal and pituitary-thyroid axis hormone serum levels in postmenopausal women of the European north of the Russian Federation, depending on the age. *Uspekhi gerontologii* [Advances in Gerontology]. 2018, 31 (1), pp. 75-81 [In Russian]

7. *Kolesnikova L. I., Darenskaya M. A., Grebenkina L. A. i dr.* Thyroid status and antioxidant vitamins in the girls of different ethnic groups. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk*. 2015, 101 (2), pp. 214-221. [In Russian]

8. *Korchin V. I.* Ethnicity-related thyreoid status in the adult population, Khanty-Mansi autonomous okrug - Ugra. *Vestnik SurGU* [Surgut State University Journal]. 2016, 3(13), pp. 77-81. [In Russian]

9. *Krivosogova E. V., Poskotinova L. V., Demin D. B., Stavinskaya O. A.* A biofeedback by hrv-parametres and serotonin levels in young people of the Nenets Autonomous district and Arkhangelsk area. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2012, 11-1, pp. 25-29. [In Russian]

10. *Kubasov R. V., Ivanov A. M., Barachevsky Yu. E.* The clinical laboratory characteristics of secretory function of thyroidal chain of regulation in individuals of dangerous professions. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Russian Clinical Laboratory Diagnostics]. 2017, 62 (2), pp. 103-107. [In Russian]

11. *Lobanova L. P., Lobanov A. A., Popov A. I.* An example of an urbanized carbohydrate type of nutrition in the Nenets settlement. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District]. 2014, 2 (83), pp. 87-90. [In Russian]

12. *Ostrikov A. N., Skladchikova Yu. V.* Integrated assessment of the quality of white roots of parsley, celery and parsnip. *Niva Povolzh'ya* [Niva of Volga River basin]. 2009, 1 (10), pp. 97-100. [In Russian]

13. *Patrakeeva V. P.* Interrelation of the functional state of erythrocytes and lymphocytes of peripheral blood in healthy people. *Vestnik Ural'skoi meditsinskoi akademicheskoi nauki* [Journal of Ural Medical Academic Science]. 2018, 15 (2), pp. 205-210. [In Russian]

14. *Popkova V. A., Tipisova E. V., Yuriev Yu. Yu.* Endocrine profile specific at pulp and paper industry workers in Arkhangelsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2009, 3, pp. 26-30. [In Russian]

15. *Prosekova A. Yu., Ermolaev V. A., Soldatova L. S.* Dynamics of change amino acid of structure of cheeses before and after vacuum drying. *Syrodelle i maslodelle* [Magazine cheesemaking and buttermaking]. 2010, 1, pp. 30-31. [In Russian]

16. *Tipisova E. V.* *Reaktivnost' i kompensatornye reaktivnoe endokrinnoi sistemy u muzhskogo naseleniya Evropeiskogo Severa* [Reactivity and compensatory reactions of the endocrine system in the male population of the European North]. Yekaterinburg, 2009, 202 p.

17. *Tipisova E. V.* *Etno-ekologicheskie i ontogeneticheskie aspekty rezervnykh vozmozhnostei schitovidnoi zhelezy* [Ethno-ecological and ontogenetic aspects of reserve

possibilities of the thyroid gland]. In: *Materialy itogovoi nauch.-prakt. konferentsii GU NII meditsinskikh problem Severa SO RAMN za 2004 god (s mezhdunar. uchastiem) «Voprosy sokhraneniya i razvitiya zdorov'ya naseleniya Severa i Sibiri»*, Krasnoyarsk, 2005 [Materials of the Final Scientific-Practical. Conf. Research Institute of Medical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences for 2004 (with international participation) "Issues of preservation and development of the health in the population of the North and Siberia", Krasnoyarsk, 2005]. Krasnoyarsk, iss. 4, pp. 105-107.

18. Tipisova E. V., Elfimova A. E., Gorenko I. N., Popkova V. A. Endocrine profile of the male population in Russia depending on the geographic latitude of occupation. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 2, pp. 36-41. [In Russian]

19. Tipisova E. V., Kipriyanova K. E., Gorenko I. N. i dr. The content of dopamine and hormones of system "hypophysis-thyroid" in blood of nomadic, settled and local population of the Arctic. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Russian Clinical Laboratory Diagnostics]. 2017, 62 (5), pp. 291-296. [In Russian]

20. Tipisova E. V., Molodovskaya I. N. The ratio of hormones of system "hypophysis-thyroid" with level of dopamine and cyclic adenosine monophosphate of males in European North. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Russian Clinical Laboratory Diagnostics]. 2014, 3, pp. 52-56. [In Russian]

21. Trukhachova N. V. *Matematicheskaya statistika v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh s primeneniem paketa Statistica* [Mathematical statistics in biomedical research using the Statistica package]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2013, 384 p.

22. Chalon S., Delion-Vancassel S., Belzung C. [et al.] Dietary fish oil affects monoaminergic neurotransmission and behavior in rats. *Journal of Nutrition*. 1998, 128 (12), pp. 2512-2519.

23. Dodig-Curković K., Dovhanj J., Curković M., Dodig-Radić J., Degmečić D. Uloga cinka u liječenju hiperaktivnog poremećaja u djece. *Acta medica Croatica*. 2009, 63 (4), pp. 307-313.

24. Haugen B. R. Drugs that suppress tsh or cause central hypothyroidism. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2009, 23 (6), pp. 793-800.

25. Nagarathna P. K. M., Jha D. K. Study on antithyroid property of some herbal plants (Review). *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. 2013, 23, iss. 2, pp. 203-211.

26. Pałkowska-Goździk E., Lachowicz K., Rosołowska-Huszcz D. Effects of dietary protein on thyroid axis activity (Review). *Nutrients*. 2018, 10, iss. 1, p. 5.

27. Rasekh H. R., Davis M. D., Cooke L. W. [et al.] The effect of selenium on the central dopaminergic system: a microdialysis study. *Life Sciences*. 1997, 61 (11), pp. 1029-1035.

Контактная информация:

Попкова Виктория Анатольевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории эндокринологии им. проф. А. В. Ткачёва ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова РАН»

Адрес: 163061, г. Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249
E-mail: victoria-popcova@yandex.ru

ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ГОМЕОСТАТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ СЕВЕРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2019 г. О. Е. Филатова, Ю. В. Башкатова, Д. Ю. Филатова, *Л. К. Иляшенко

БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет», Институт естественных и технических наук,
г. Сургут; *Филиал ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Сургут

Проблема гомеостаза и особого гомеостатического поведения параметров функциональных систем организма человека на Севере Российской Федерации (в работе рассматривается сердечно-сосудистая система – ССС человека) рассматривается с новых позиций (новой теории хаоса – самоорганизации). После доказательства гипотезы Н. А. Бернштейна о «повторении без повторений» в биомеханике в виде статистической неустойчивости подряд получаемых выборок (у одного испытуемого в неизменном гомеостазе) возникает проблема объяснения механизмов такой неустойчивости. Одним из таких механизмов в появлении хаоса для кардиоинтервалов и других параметров ССС может быть хаотическая динамика параметров внешней среды обитания человека. Цель исследования – оценка влияния внешнего хаоса (параметров среды обитания человека) на внутренние регуляторные функции. Методами матриц парного сравнения выборок метеопараметров и расчета параметров квазиаттракторов получали информацию о состоянии метеопараметров среды обитания человека, которые демонстрируют стохастическую неустойчивость подряд получаемых выборок (одинаковые месяцы и одинаковые сезоны года). Результаты исследования показали, что средние значения площадей квазиаттракторов двух фазовых координат (Т, Р) различаются весьма существенно. Высказывается предположение, что такая хаотическая динамика способна индуцировать хаос параметров ССС. В работе доказывается гомеостатичность в поведении метеопараметров, которые могут существенно влиять на системы регуляции основных функций организма человека. Показана статистическая неустойчивость параметров среды обитания, которая весьма подобна динамике тремора и теппинга в эффекте Еськова – Зинченко. Выводы. Статистическая неустойчивость метеопараметров подобна гомеостазу живых систем. При этом механизмы регуляции ССС и метеопараметров среды обитания человека, безусловно, различны. Общим является особый хаос параметров x_i , который проявляется в статистической неустойчивости подряд получаемых выборок. Такая статистическая неустойчивость получила название эффекта Еськова – Зинченко, и она не имеет аналога в таких системах.

Ключевые слова: гомеостаз, метеопараметры, кардиоинтервалы, эффект Еськова-Зинченко, тремор, теппинг

HUMAN ORGANISM IN THE CONDITIONS OF HOMEOSTATIC DYNAMICS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS OF THE RUSSIAN NORTH

O. E. Filatova, Yu. V. Bashkatova, D. Yu. Filatova, *L. K. Ilyashenko

Surgut State University Khanty-Mansiysk Autonomous Area, Institute of Natural and Technical Sciences, Surgut;
*Tyumen Industrial University, Surgut Branch, Surgut, Russia

The problem of homeostasis and especially homeostatic behavior of different parameters of the human body functional systems in the Russian North (human's cardiovascular system (CVS) is considered in the work) was reviewed from new perspective (new theory of chaos and self-organization). After proving of N. A. Bernstein's hypothesis about "repetition without repetition" in biomechanics as a statistical instability of obtained samples (in one subject with universal homeostasis) a problem explaining mechanisms of such instability appeared. One of the mechanisms of such stochastic chaos for RR intervals and over parameters of cardiovascular system may be connected with chaotic dynamics of parameters of the human environment. The purpose of the study is to assess the influence of external chaos (parameters of the human environment) on internal regulatory functions. Using the methods of paired comparison of samples of meteorological parameters and calculation of quasi-attractors' parameters, we obtained information on the state of meteorological parameters of the human environment, which demonstrate stochastic instability in succession of samples obtained (identical months and the same seasons of the year). The results of the study showed that the average values of the areas of quasi-attractors of two phase coordinates (T, P) differ very significantly. It is suggested that such chaotic dynamics can induce chaos of the CVS parameters. The paper proves homeostasis in the behavior of meteorological parameters, which can significantly affect the systems of regulation of the main functions of the human body. The statistical instability of the parameters of the human environment is shown, which is very similar to the dynamics of tremor and tapping in the Eskov-Zinchenko effect. Conclusions. The statistical instability of meteorological parameters is similar to the homeostasis of living systems. At the same time, the mechanisms of regulation of the CVS and meteorological parameters of the human environment are, of course, different. A common feature is the special chaos of the x_i parameters, which is manifested in the statistical instability in a row of the resulting samples. Such a statistical instability is called the Eskov - Zinchenko effect, and has no analogue in such systems.

Key words: homeostasis, meteorological parameters, RR intervals, Eskov-Zinchenko effect, tremor, tapping

Библиографическая ссылка:

Филатова О. Е., Башкатова Ю. В., Филатова Д. Ю., Иляшенко Л. К. Организм человека в условиях гомеостатической динамики метеопараметров Севера Российской Федерации //Экология человека. 2019. № 9. С. 24–30.

Filatova O. E., Bashkatova Yu. V., Filatova D. Yu., Ilyashenko L. K. Human Organism in the Conditions of Homeostatic Dynamics of Meteorological Parameters of the Russian North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 9, pp. 24-30.

Общеизвестно влияние климата и метеопараметров среды обитания на весь растительный и животный мир нашей планеты. Резкие похолодания или потепления могут влиять на численность особей в популяциях или на психическое состояние животных и человека. И если проблемам солнечного ветра и магнитных бурь на Земле было посвящено большое количество работ, то хаос метеопараметров среды обитания человека и его влияние на психическое и физиологическое состояние целых популяций (и отдельного человека) остается малоизученной проблемой экологии человека и естествознания в целом [1–5, 10–16].

Особенную актуальность эта проблема приобретает в связи с доказательством реальности эффекта Еськова – Зинченко, в котором показано отсутствие статистической устойчивости для подряд получаемых выборок треморограмм (ТМГ), теппинграмм (ТПГ), а затем и кардиоинтервалов, электромиограмм, электроэнцефалограмм и многих других параметров гомеостаза человека [10–18]. Неустойчивость любых параметров x_i гомеостаза организма человека порождает закономерную проблему объяснения механизмов такой статистической неустойчивости этих x_i .

Отметим, что внутренним механизмам эффекта Еськова – Зинченко уделяется особое внимание в рамках новой теории хаоса – самоорганизации – ТХС, где имеется статистический хаос как непрерывная хаотическая самоорганизация систем регуляции основных функциональных систем организма (ФСО) человека [1–16, 12–20]. При этом не лишена интереса и проблема влияния внешнего хаоса (параметров среды обитания человека) на внутренние регуляторные функции. Именно этой проблеме (с позиций «человек и среда обитания») и посвящается настоящее исследование, в котором доказывалось наличие аналогичного (гомеостатического) хаоса метеопараметров среды обитания человека, который может породить хаос x_i для ФСО [12–20].

Методы

Общеизвестна проблема влияния колебаний электрических и магнитных полей на системы регуляции ФСО. В первую очередь речь идет о сердечно-сосудистой системе (ССС), которую в 1-й половине 20-го века активно изучал выдающийся биофизик профессор А. Л. Чижевский. Менее изучено влияние электромагнитных полей и гелиовозмущений на базовую ФСО человека – нервно-мышечную систему (НМС) организма человека. Хотя и здесь имеется целый ряд фундаментальных работ. Однако проблема влияния хаотически изменяющихся метеопараметров среды обитания (x_1 – T – температура, x_2 – P – давление, x_3 – R – относительная влажность) на состояние СССР и НМС остается все-таки наименее изученной проблемой экологии человека [1–5, 10–15, 18–20].

Именно этой проблеме мы и посвящаем наше со-общение, но исходно мы рассматриваем ее с позиций гомеостатического поведения, нового понимания гомеостаза не только живых систем, но и других

природных систем. При этом главное внимание мы уделяем именно статистической неустойчивости поведения этих параметров, которые в общем случае образуют вектор состояния метеопараметров $x = x(t) = (x_1, x_2, x_3)^T$, в некотором трехмерном фазовом пространстве состояний (ФПС) [12–18].

Напомним, что в эффекте Еськова – Зинченко доказывалось отсутствие статистической устойчивости для подряд получаемых выборок, например, ТПГ [10–15]. Демонстрация такой неустойчивости представляется в виде матриц парного сравнения выборок ТМГ (или ТПГ) [13–18]. Именно в таких матрицах (при получении подряд 15 выборок ТМГ у испытуемого, находящегося в одном и том же гомеостазе) мы рассчитывали число пар k выборок (из всех 105 независимых пар сравнения в матрице 15×15), которые позволяют различать произвольные движения (тремор, с $k_1 \leq 5\%$ из всех разных 105 пар) от произвольных движений (ТПГ, для которого $k_2 \leq 20\%$ из всех 105 пар сравнения).

Результаты

1. Человек и внешняя среда обитания

Для примера мы показываем характерную матрицу парных сравнений 15 ТПГ от одного человека (в неизменном гомеостатическом состоянии), которые получены подряд при их регистрации. Для 15 ТПГ в табл. 1 демонстрируется $k_2 = 17$, и это весьма небольшая доля стохастики (из всех 105 пар сравнения). Очевидно, что теппинг реализуется с участием высшей нервной деятельности и ЦНС, где имеются определенные драйвы (управления), но они реализуются хаотически (доля стохастики менее 20%), и это происходит не только в НМС, но и в СССР [1–5, 10, 11, 20].

Сейчас мы высказываем гипотезу, что для метеопараметров среды обитания человека существуют тоже некоторые механизмы регуляции (безусловно, они бессознательные), но которые обеспечивают для нашего трехмерного вектора $x(t)$ некоторую картину, сходную по матрицам вида табл. 1. Для проверки этого утверждения достаточно изучить подряд (на протяжении 15 лет) выборки T, P, R для определенных месяцев года и построить по таким выборкам таблицы, подобные табл. 1. Мы это выполнили для 12 месяцев года в Югре за 15 лет наблюдения и получили по 12 матриц для каждого метеопараметра x_1, x_2, x_3 для каждого месяца года. Характерные примеры (для температуры $x_1 = T$) для таких матриц для января и июля (за 15 лет наблюдения) мы представляем в табл. 2 и табл. 3. Легко видеть, что эти матрицы различаются по числу k_3 и k_4 числа статистических совпадений выборок (у нас для T) по этим 15 повторным измерениям (выборкам) температуры (за один месяц года).

Еще более существенные различия мы имеем для осени (октябрь) и для весны (апрель). Здесь доля стохастики по температуре T минимальна. Анализируя эти значения k (как доли стохастики), мы можем утверж-

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок теппинграмм испытуемого ГДВ (число повторов $N = 15$), использовался критерий Вилкоксона (уровень значимости $p < 0.05$, число совпадений $k_2 = 17$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		.56	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	.56		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3	.00	.00		.00	.01	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	.00	.00	.00		.73	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	.00	.00	.01	.73		.00	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6	.00	.00	.04	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7	.00	.00	.00	.02	.05	.00		.00	.00	.02	.00	.00	.00	.12	.00
8	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.44	.01	.72	.00	.62	.11	.70
9	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.44		.00	.96	.00	.03	.00	.48
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.01	.00		.01	.00	.11	.33	.00
11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.72	.96	.01		.00	.28	.03	.36
12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.62	.03	.11	.28	.00		.48	.16
14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.12	.11	.00	.33	.03	.00	.48		.09
15	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.70	.48	.00	.36	.00	.16	.09	

Таблица 2

Матрица парного сравнения выборок температуры Т за январь 1991–2009 гг., использовался критерий Вилкоксона (уровень значимости $p < 0.05$, число совпадений $k_3 = 30$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1991		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.62	.00	.00	.00	.00
1992	.00		.03	.01	.38	.50	.00	.98	.22	.15	.00	.00	.00	.80	.97
1993	.00	.03		.00	.05	.00	.37	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
1994	.00	.01	.00		.11	.01	.00	.00	.20	.06	.04	.00	.00	.00	.00
1995	.00	.38	.05	.11		.71	.01	.66	.12	.59	.00	.00	.00	.76	.63
1996	.00	.50	.00	.01	.71		.00	.37	.98	.62	.01	.00	.00	.51	.32
1997	.00	.00	.37	.00	.01	.00		.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
1998	.00	.98	.02	.00	.66	.37	.01		.23	.05	.00	.00	.00	.56	.67
1999	.00	.22	.00	.20	.12	.98	.00	.23		.94	.00	.00	.00	.40	.08
2000	.00	.15	.00	.06	.59	.62	.00	.05	.94		.00	.00	.00	.01	.05
2001	.62	.00	.00	.04	.00	.01	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00
2002	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00
2003	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00
2004	.00	.80	.00	.00	.76	.51	.00	.56	.40	.01	.00	.00	.00		.97
2005	.00	.97	.00	.00	.63	.32	.00	.67	.08	.05	.00	.00	.00	0.97	

дать, что осень и весна — это наиболее хаотические сезоны года. Для этих месяцев (октябрь и апрель) доля стохастики минимальна, а хаос (статистических функций распределения $f(x)$) превалирует, т. е. мы имеем максимальную статистическую неустойчивость метеопараметров именно осенью и весной.

С биологической точки зрения можно ожидать, что большая доля хаоса способствует «расшатыванию» параметров ФСО, в первую очередь ССС и НМС. Это влияет и на психическое состояние человека, возникают процессы низкой стохастической устойчивости параметров ССС и НМС. В итоге люди должны чаще болеть (обостряются и хронические заболевания), снижается иммунитет и т. д. [14, 15, 20].

Одновременно возникает и проблема описания такого особого хаоса метеопараметров, но не в рамках стохастики, которая демонстрирует низкую эффективность [11–20]. Сейчас для описания статистической неустойчивости параметров ФСО мы активно привлекаем аппарат компартментно-кластерной теории биосистем, который был разработан В. М. Еськовым в конце 20-го века [6–9].

2. Квазиаттракторы $x(t)$ как модели метеопараметров

Очевидно, что использовать статистические таблицы (вида табл. 2 и табл. 3) можно, но это все очень громоздко и требует затрат большого времени на сбор и обработку данных. В рамках новой ТХС мы

Таблица 3

Матрица парного сравнения выборок температуры Т за июль 1991–2009 гг., использовался критерий Вилкоксона (уровень значимости $p < 0.05$, число совпадений $k_4 = 39$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1995		.06	.00	.01	.02	.06	.02	.02	.09	.16	.39	.87	.00	.45	.93
1996	.06		.00	.44	.00	.00	.00	.85	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.15
1997	.00	.00		.00	.00	.00	.02	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00
1998	.01	.44	.00		.00	.00	.00	.38	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00
1999	.02	.00	.00	.00		.60	.20	.00	.81	.95	.06	.11	.00	.22	.19
2000	.06	.00	.00	.00	.60		.15	.00	.92	.41	.09	.11	.00	.04	.02
2001	.02	.00	.02	.00	.20	.15		.00	.34	.05	.03	.01	.00	.00	.00
2002	.02	.85	.00	.38	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.03	.00	.00	.03
2003	.09	.00	.01	.00	.81	.92	.34	.00		.45	.16	.25	.00	.21	.05
2004	.16	.00	.00	.00	.95	.41	.05	.00	.45		.58	.15	.00	.15	.01
2005	.39	.00	.00	.00	.06	.09	.03	.00	.16	.58		.76	.00	.87	.56
2006	.87	.03	.00	.01	.11	.11	.01	.03	.25	.15	.76		.00	.40	.68
2007	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00
2008	.45	.00	.00	.00	.22	.04	.00	.00	.21	.15	.87	.40	.00		.19
2009	.93	.15	.00	.00	.19	.02	.00	.03	.05	.01	.56	.68	.00	.19	

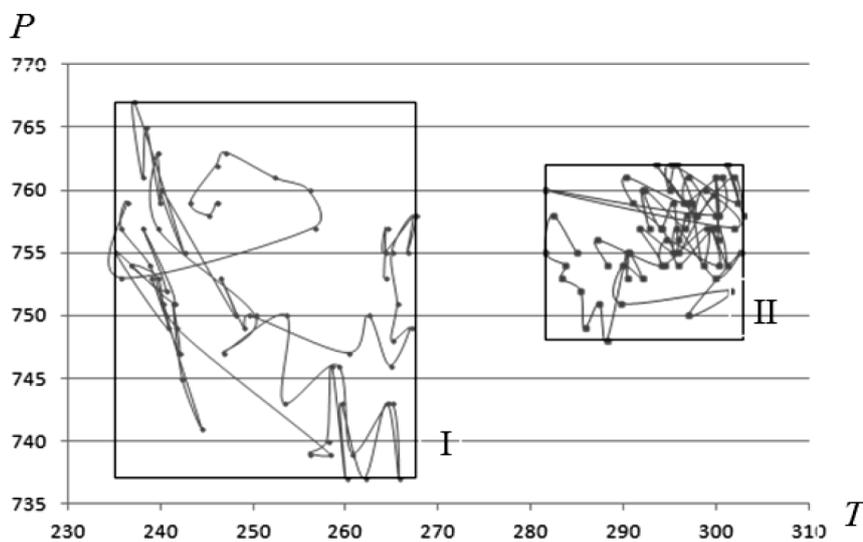
предложили рассчитать параметры квазиаттракторов (КА) для фазовых координат [9–18]. У нас это x_1, x_2, x_3 , для которых можно построить фазовые плоскости или трехмерные фазовые пространства состояний [5, 10–16, 18–20].

Для упрощения иллюстрации выполняемого подхода мы сейчас представляем двумерные фазовые плоскости для двух координат $x_1 - T$ и $x_2 - P$. Внешний вид фазовых плоскостей и фазовых траекторий для координат $(T, P)^T$ мы представляем на рисунке для января – I и июля – II (правый прямоугольник как характерный КА). Очевидно, что они существенно различаются по площади ($S_{июл} = 299$ у. е., $S_{января} = 972$ у. е.) и занимают разные области в этом двумерном ФПС.

Согласно требованиям кинематики для систем тре-

тьего типа – *complexity* (как эволюции гомеостатических систем) мы должны регистрировать двукратное изменение S для КА (см. рисунок) [10–13, 15–20] или выход 2-го КА за пределы 1-го (у нас это на рисунке тоже демонстрируется). Кратное изменение площади 2-го КА₂ по отношению к площади 1-го КА₁ характерно и для табл. 4, где представлены S КА₁ и КА₂. Здесь $S_{января}$ более чем в 3 раза больше $S_{июля}$, и это тоже можно рассматривать как эволюционные изменения гомеостатической системы (у нас речь идет о гомеостазе метеопараметров среды обитания человека), что и показано на рисунке.

Очевидно, что кратные изменения площади КА и выход 2-го КА₂ за пределы 1-го должно приводить к существенным изменениям и в системах регуляции ССС и НМС человека, проживающего на Севере



Динамика изменения площадей S квазиаттракторов погодно-климатических показателей (T, P) (I – для января $S_{января} = 972$ у. е., II – для июля $S_{июля} = 299$ у. е.)

РФ (эти данные мы приводим для Югры). Возникает вопрос об устойчивости таких изменений, т. е. какие существенные изменения характерны для всех 15 январей и 15 июлей?

Таблица 4

Значение площадей S квазиаттракторов погодно-климатических показателей (T, P) для двух месяцев (январь и июль) за 15 лет измерений

	$S_{\text{январь}}$	$S_{\text{июль}}$
1	814,0	434,7
2	1020,0	405,0
3	708,4	385,9
4	1017,6	317,9
5	1092,0	237,6
6	1186,6	354,0
7	1552,5	389,5
8	972,0	299,6
9	705,6	292,6
10	525,2	325,8
11	1330,1	138,0
12	387,8	519,2
13	344,0	168,0
14	431,2	336,0
15	756,0	265,1
<S>	856,2	324,6

Для иллюстрации мы представляем табл. 4 с расчетом площадей S для КА (в координатах (T, P)) для всех 15 лет (в Югре). Очевидно, что средние значения площадей КА этих двух фазовых координат (T, P) различаются весьма существенно. Для января мы имеем среднее значение КА $\langle S_{\text{январь}} \rangle = 856,2$ у. е., а для июля $\langle S_{\text{июль}} \rangle = 324,6$ у. е. Эти кратные (менее чем в 3 раза, но больше, чем в 2 раза!) различия с позиций ТХС можно характеризовать как существенные (эволюционные [10–14, 18]), и они могут существенно изменить состояние ФСО, например ССС, породить статистическую неустойчивость параметров ССС (в том числе и при переездах с Севера РФ на Юг и обратно).

Таким образом, сейчас мы можем говорить о подобии гомеостатического регулирования метеопараметров среды обитания человека гомеостазу самих ФСО (у нас был пример для НМС в виде табл. 1 для теппинга). Очевидно, что механизмы регуляции функций организма (гомеостаза) существенно отличаются от гомеостатического представления метеопараметров. Однако статистический хаос метеопараметров способен существенно влиять на регуляторные механизмы как у ССС, НМС, так и психического состояния человека в целом [1–5, 14, 15, 20].

Обсуждение результатов

Современная теория гомеостаза основывается на статистической неустойчивости у подряд получаемых выборок для одного и того же организма человека,

находящегося в одном, неизменном гомеостазе. Эта гомеостатическая неизменность характеризуется стохастическим хаосом подряд получаемых выборок x_i , но при этом при их парном сравнении для разных видов регуляторных систем (разных ФСО) все-таки регистрируется некоторая (небольшая) доля стохастики. Для тремора (из 105 независимых пар сравнения выборок ТМГ) число пар k_1 , статистически совпадающих, весьма невелико – $k_1 \leq 7$, для теппинга обычно $k_2 \leq 20$.

Таким образом, матрицы парных сравнений выборок параметров ФСО (или у нас – метеопараметров) являются эффективным инструментом оценки гомеостаза для таких сложных (гомеостатических) систем. Оказалось, что метеопараметры среды обитания человека тоже демонстрируют стохастическую неустойчивость подряд получаемых выборок (у нас это одинаковые месяцы и одинаковые сезоны года). Матрицы парных сравнений T, P, R тоже демонстрируют статистическую неустойчивость, и они подобны биологическим гомеостатическим системам (хотя внутренние механизмы регуляции иные).

Для оценки динамики таких (подобных, гомеостатических) систем предлагается также рассчитывать площади (или объемы) КА и производить анализ существенных (или несущественных) различий этих КА. С позиций развиваемой ТХС существенные изменения характеризуются двукратным (и более) изменением площади (объема) КА или выходом 2-го КА₂ за пределы 1-го КА₁. Именно это мы и продемонстрировали на примере сравнения КА для января и июля (за 15 лет наблюдения).

Заключение

Высказывается предположение, что статистическая неустойчивость метеопараметров может влиять на динамику систем регуляции функций организма (у нас это ФСО: НМС и ССС). Косвенно это проявляется в общем и широко известном факте: в осенний и весенний сезоны обостряются хронические заболевания, люди чаще болеют инфекционными заболеваниями, чаще встречаются психические расстройства (и обострения) и особенно обостряются сердечно-сосудистые заболевания. Хаос метеопараметров «расшатывает» и системы регуляции ССС, и чаще наблюдаются инфаркты и инсульты у населения северных территорий РФ (впрочем, и средняя полоса РФ тоже демонстрирует нарастание заболеваний ССС в осенний и весенний сезоны года).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-00161 А «Разработка вычислительной системы мониторинга и моделирования параметров организма жителей Севера РФ».

Авторство

Филатова О. Е. подготовила первый вариант статьи, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Башкатова Ю. В. внесла существенный вклад в получение и анализ данных; Филатова Д. Ю. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования; Иляшенко Л. К. участвовала в анализе данных.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Филатова Ольга Евгеньевна – ORCID 0000-0001-7761-9045; SPIN 9053-6185
 Башкатова Юлия Владимировна – ORCID 0000-0002-5862-3417; SPIN 8991-6566
 Филатова Диана Юрьевна – ORCID 0000-0002-8052-3148; SPIN 5756-3070
 Иляшенко Любовь Кирыловна – ORCID 0000-0002-7637-8590; SPIN 6071-4770

Список литературы

1. Гараева Г. Р., Еськов В. М., Еськов В. В., Гудков А. Б., Филатова О. Е., Химикова О. И. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного населения Югры // Экология человека. 2015. № 9. С. 50–55.
2. Еськов В. В., Филатова О. Е., Гавриленко Т. В., Химикова О. И. Прогнозирование долгожительства у российской народности ханты по хаотической динамике параметров сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2014. № 11. С. 3–8.
3. Еськов В. В. Возможности термодинамического подхода в электромиографии // Вестник кибернетики. 2017. № 4 (28). С. 109–115.
4. Еськов В. В. Эволюция систем третьего типа в фазовом пространстве состояний // Вестник кибернетики. 2017. № 3 (27). С. 53–58.
5. Betelin V. B., Eskov V. M., Galkin V. A., Gavrilenko T. V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems // Doklady Mathematics. 2017. Vol. 95. N 2. P. 1–3.
6. Eskov V. M. Hierarchical respiratory neuron networks // Modelling, Measurement and Control C. 1995. Vol. 48 (1–2). P. 47–63.
7. Eskov V. M., Filatova O. E. Respiratory rhythm generation in rats: The importance of inhibition // Neurophysiology. 1995. Vol. 25 (6). P. 348–353.
8. Eskov V. M., Filatova O. E., Ivashenko V. P. Computer identification of compartmental neuron circuits // Measurement Techniques. 1994. Vol. 37 (8). P. 967–971.
9. Eskov V. M., Kulaev S. V., Popov Yu. M., Filatova O. E. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems // Measurement Techniques. 2006. Vol. 49 (1). P. 59–65.
10. Eskov V. M., Eskov V. V., Braginskii M. Ya., Pashnin A. S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort // Measurement Techniques. 2011. Vol. 54 (7). P. 832–837.
11. Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Kozlova V. V., Filatov M. A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // Measurement Techniques. 2012. Vol. 22 (9). P. 1096–1100.
12. Eskov V. M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development // Emergence: Complexity and Organization. 2014. Vol. 16 (2). P. 107–115.
13. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Zimin M. I. Uncertainty in the quantum mechanics and biophysics of complex systems // Moscow University Physics Bulletin. 2014. Vol. 69 (5). P. 406–411.
14. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vochmina J. V. Biosystem kinematics as evolution: Stationary modes and movement speed of complex systems: Complexity // Moscow University Physics Bulletin. 2015. Vol. 70 (2). P. 140–152.

15. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina J. V., Gavrilenko T. V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems // Moscow University Physics Bulletin. 2016. Vol. 71 (2). P. 143–154.

16. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina Y. V., Gorbunov D. V., Ilyashenko L. K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. 2017. Vol. 72, N 3. P. 309–317.

17. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vochmina Yu. V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” Discovered by N. A. Bernshtein // Biofizika. 2017. Vol. 62, N 1. P. 168–176.

18. Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Eskov V. M., Vochmina Yu. V. Phenomenon of statistical instability of the third type systems – complexity // Technical Physics. 2017. Vol. 62, N 11. P. 1611–1616.

19. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental Verification of the Bernstein Effect “Repetition without Repetition” // Bulletin of experimental biology and medicine. 2017. Vol. 163, N 1. P. 1–5.

20. Zilov V. G., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Eskov V. M. Experimental Study of Statistical Stability of Cardiointerval Samples // Bulletin of experimental biology and medicine. 2017. Vol. 164, N 2. P. 115–117.

References

1. Garaeva G. R., Eskov V. M., Eskov V. V., Gudkov A. B., Filatova O. E., Khimikova O. I. Chaotic dynamics of cardiointervals in three age groups of indigenous people of Ugra. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 9, pp. 50-55. [In Russian]
2. Eskov V. V., Filatova O. E., Gavrilenko T. V., Khimikova O. I. Prediction of Khanty people life expectancy according to chaotic dynamics of their cardiovascular system parameters. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 11, pp. 3-8. [In Russian]
3. Eskov V. V. Possibilities of the thermodynamic approach in electromyography. *Vestnik kibernetiki* [Bulletin of Cybernetics]. 2017, 4 (28), pp. 109-115. [In Russian]
4. Eskov V. V. Evolution of systems of the third type in the phase space of states. *Vestnik kibernetiki* [Bulletin of Cybernetics]. 2017, 3 (27), pp. 53-58. [In Russian]
5. Betelin V. B., Eskov V. M., Galkin V. A., Gavrilenko T. V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems. *Doklady Mathematics*. 2017, 95, 2, pp. 1-3.
6. Eskov V. M. Hierarchical respiratory neuron networks. *Modelling, Measurement and Control C*. 1995, 48 (1-2), pp. 47-63.
7. Eskov V. M., Filatova O. E. Respiratory rhythm generation in rats: The importance of inhibition. *Neurophysiology*. 1995, 25 (6), pp. 348-353.
8. Eskov V. M., Filatova O. E., Ivashenko V. P. Computer identification of compartmental neuron circuits. *Measurement Techniques*. 1994, 37 (8), pp. 967-971.
9. Eskov V. M., Kulaev S. V., Popov Yu. M., Filatova O. E. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems. *Measurement Techniques*. 2006, 49 (1), pp. 59-65.
10. Eskov V. M., Eskov V. V., Braginskii M. Ya., Pashnin A. S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort. *Measurement Techniques*. 2011, 54 (7), pp. 832-837.

11. Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Kozlova V. V., Filatov M. A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems. *Measurement Techniques*. 2012, 22 (9), pp. 1096-1100.
12. Eskov V. M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development. *Emergence: Complexity and Organization*. 2014, 16 (2), pp. 107-115.
13. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Zimin M. I. Uncertainty in the quantum mechanics and biophysics of complex systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2014, 69 (5), pp. 406-411.
14. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vochmina J. V. Biosystem kinematics as evolution: Stationary modes and movement speed of complex systems: Complexity. *Moscow University Physics Bulletin*. 2015, 70 (2), pp. 140-152.
15. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina J. V., Gavrilenko T. V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2016, 71 (2), pp. 143-154.
16. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina Y. V., Gorbunov D. V., Piyashenko L. K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity. *Moscow University Physics Bulletin*. 2017, 72 (3), pp. 309-317.
17. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vochmina Yu. V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” Discovered by N.A. Bernshtein. *Biofizika*. 2017, 62 (1), pp. 168-176.
18. Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Eskov V. M., Vochmina Yu. V. Phenomenon of statistical instability of the third type systems - complexity. *Technical Physics*. 2017, 62 (11), pp. 1611-1616.
19. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental Verification of the Bernstein Effect “Repetition without Repetition”. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2017, 163 (1), pp. 1-5.
20. Zilov V. G., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Eskov V. M. Experimental Study of Statistical Stability of Cardiointerval Samples. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2017, 164 (2), pp. 115-117.

Контактная информация:

Башкатова Юлия Владимировна — кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры экологии и биофизики Института естественных и технических наук БУ ВО «Сургутский государственный университет»
Адрес: 628412, ХМАО, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1
E-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru

ПОЛОВЫЕ РАЗЛИЧИЯ РЕГУЛЯЦИИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЕЁ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

© 2019 г. Д. В. Бердников, И. И. Бобынцев, *В. Я. Апчел, **Н. С. Андриуца

ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет», г. Курск;

*ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена», г. Санкт-Петербург;

**ФГАУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова», г. Москва

В статье исследованы вопросы регуляции деятельности у лиц разного пола. *Цель* – изучить половые различия в психофизиологической регуляции деятельности при разных видах обратной связи и выявить их взаимосвязи с показателями мозговой активности. *Методы*. Используя методики исследования восприятия и отмеривания длительности тона, обследовали 169 женщин и 60 мужчин (229 человек) добровольцев в возрасте 18–26 лет. У 125 женщин и 42 мужчин (167 человек) регистрировали электроэнцефалограмму. *Результаты*. При деятельности на основе внутреннего опыта не установлено половых различий в ее результативности, но мужчины более пластичны, их регуляция взаимосвязана с уменьшением только внутриполушарных связей, а у женщин – со снижением межполушарных и внутриполушарных связей. При использовании внешней обратной связи мужчины точнее, стабильнее и более упорядочены в оценках, меньше переоценивают или недооценивают эталон, более обучаемы, чувствительны к обратной связи и пластичнее в действиях. Их регуляция сопряжена со снижением общей представленности β_1 - и δ -ритмов, разнонаправленными зависимостями от β_2 - и θ -активности с ослаблением обмена информацией между полушариями. Для женщин характерно повышение активации, усиление внутри- и межполушарных связей с преобладанием α -ритмов. Важно, что при ложной обратной связи данные закономерности сохраняются, а отличия в обучаемости нивелируются. *Выводы*: мужчины лучше используют обратную информацию, применяют отличающиеся стратегии достижения результата и опираются на другие свойства регуляции при разных видах обратной связи, успешнее справляются с когнитивным конфликтом; половые различия в регуляции деятельности взаимосвязаны с нейрофизиологическими особенностями.

Ключевые слова: половые различия, психофизиологическая регуляция, деятельность, восприятие, электроэнцефалограмма, межполушарные связи

GENDER DIFFERENCES OF OPERATOR ACTIVITY REGULATION AND ITS NEUROPHYSIOLOGICAL SUPPORT

D. V. Berdnikov, I. I. Bobyntsev, *V. Ya. Apchel, **N. S. Andriutsa

Kursk State Medical University, Kursk; *Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg;

**I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

The article considers the questions of activity regulation in individuals of different sexes. *The aim* is to study gender differences in psychophysiological regulation of activity under a variety of feedbacks and reveal their correlation with brain activity indices. *Methods*: Using the methods of apperception studying and tone value measuring 169 females and 60 males (229 individuals) volunteers aged 18-26 years were examined. EEG was registered in 125 women and 42 men (167 individuals). *Results*. Following the internal experience no gender differences were found in the activity efficiency, but men were more flexible, their regulation is only interrelated with intra-hemispheric links reduction, while that of women - with the reduction of both inter- and intra-hemispheric links. In using the external feedback men are more accurate, stable, well-minded, they, to a less degree, overestimate or underestimate the standard, they are more educable, more sensitive to feedback and more flexible in work. Their regulation is accompanied by reduced general representation of β_1 - and δ -rhythms, multi-directional dependencies of β_2 - and θ -activeness with reduction of information exchange between the hemispheres. Females are characterized by activation increase, strengthening of intra- and interhemispherical links with α -rhythms prevalence. It is important that in case of false feedback these regulations are preserved and differences in educability are neutralized. *Conclusions*: men better use feedback information, apply different strategies in achieving the result and rely on other regulation properties in various kinds of feedback; they are more successive in coping with cognitive conflict. Gender differences in activity regulation are interrelated with neurophysiological peculiarities.

Key words: gender differences, psychophysiological regulation, activity, comprehension, electroencephalogram, interhemispherical links

Библиографическая ссылка:

Бердников Д. В., Бобынцев И. И., Апчел В. Я., Андриуца Н. С. Половые различия регуляции операторской деятельности и её нейрофизиологического обеспечения // Экология человека. 2019. № 9. С. 31–40.

Berdnikov D. V., Bobyntsev I. I., Apchel V. Ya., Andriutsa N. S. Gender Differences of Operator Activity Regulation and Its Neurophysiological Support. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 9, pp. 31-40.

Половые особенности имеют большое значение в процессах функционирования и адаптации организма человека, в том числе в мозговой активности и поведении [2, 7]. Данные различия проявляются не только в подвижности нервных процессов, реакциях

на движущийся объект, особенностях внимания и восприятия, наблюдательности, стрессоустойчивости и надежности профессиональной деятельности, но и в структурных компонентах интеллекта [6, 12]. При этом установлена важность индивидуальных регуляторных

особенностей мужчин и женщин, обусловленных нейрофизиологическими процессами, для формирования стратегии достижения необходимого результата [5, 14], что свидетельствует о значимости учета половых различий не только при специализированной организации профессиональной деятельности, профилактики стрессов, выбора методов психокоррекции и реабилитации, но и при выборе тактики лечения.

Однако в большинстве психофизиологических исследований регуляция деятельности обычно рассматривается в целом, как нечто единое и глобальное. Только в отдельных работах она представляется как последовательная смена этапов/стадий, что по своей сути является «организацией», а не собственно «регуляцией». В подобных работах чаще изучаются именно физиологические процессы. Кроме того, в них редко учитывается наличие/отсутствие внешней обратной связи, которая, повышая осознание, может использоваться как для совершения действий, так и для регуляции функционального состояния. Важно отметить, что подобный подход не учитывает наличия в деятельности собственных системно-информационных регуляторных процессов, обоснованных положениями теории функциональных систем и осуществляющихся фактически одновременно, что подтверждается фазовыми изменениями фокусов мозговой активности [9].

Исходя из вышеизложенного, полагаем, что психофизиологическая регуляция деятельности при разных видах обратной связи имеет половые различия на уровне её характеристик и свойств, нейрофизиологическое обеспечение которых у мужчин и женщин также отличается. Для ее проверки были поставлены следующие задачи: 1) изучить на основе модели операторской деятельности у разделенных по половому признаку испытуемых регуляцию целенаправленного восприятия длительности чистого тона; 2) выявить взаимосвязи процессов регуляции деятельности мужчин и женщин с показателями общей мозговой активности.

Методы

Экспериментальное исследование выполнено в полном соответствии со статьями 5, 6 и 7 «Всеобщей декларации о биоэтике и правах человека». Регуляцию деятельности изучали у 169 женщин и 60 мужчин (229 человек) в возрасте 18–26 лет, добровольцев из числа студентов высших учебных заведений. У 125 женщин и 42 мужчин (167 человек) регистрировали электроэнцефалограмму (ЭЭГ). Критерием включения в исследование служило отсутствие заболеваний в фазе обострения или требующих постоянной медикаментозной терапии.

Регуляцию деятельности изучали с помощью методики восприятия и отмеривания длительности чистого тона (700 Гц, 55 дБ, 1 с) [3]. При этом испытуемому на компьютере автоматически предъявляли звук, который после четырех пробных тестов необходимо было последовательно по 50 раз отмерить при следующих условиях: без обратной связи,

с внешней истинной и ложной обратной зрительной связью. Рассчитывали 17 характеризующих структуру ошибок коэффициентов, разделённых на несколько групп, в которых результат регуляции функциональной системы проявлялся средней величиной ошибок без учёта знака (К1). Вариативность оценок (К2) и степень преобладания тенденции к переоценке или недооценке (К3) отражали динамическую, а средние величины переоценок (К4) и недооценок (К5) – качественную характеристику стиля достижения результата. Обучаемость регуляции характеризовалась прогрессом точности воспроизведения эталона (К6), стабилизацией процесса регуляции (К7), степенью уменьшения вариативности последних десяти оценок в сравнении с первыми десятью (К8), отношением средних отклонений первых и последних десяти оценок по модулю (К9) и относительной негэнтропией (К10), отражающей упорядоченность оценок. Степень повышения точности (К11) и стабильности (К12) оценок при введении внешней обратной связи отражали чувствительность к ней в сравнении с результатом при её отсутствии. Другие коэффициенты характеризовали различные аспекты пластичности регуляции. Степень изменения оценки объекта после получения информации о предыдущем результате (К13) связана с гибкостью перепрограммирования деятельности, реактивной пластичностью. В соотношении показателей гибкости перепрограммирования действия при разных видах обратной связи (К14) проявлялась общая пластичность в целом. Скорость перестройки деятельности (К15), степень изменения точности (К16) и вариативности (К17) оценок при изменении параметров эталона отражали направленность на скорейшее достижение нового результата. Регуляцию целенаправленного восприятия без обратной связи оценивали коэффициентами К1–К5, К13, с истинной обратной связью – К1–К14, а с ложной связью учитывали все показатели.

Фоновую ЭЭГ регистрировали в состоянии покоя монополярно по схеме 10–20 с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-спектр» (Россия, Иваново, «Нейрософт»). Референтные электроды крепили на мочках ушей. Безартефактные отрезки ЭЭГ (эпохами 2,56 с) анализировали с использованием пакета программ «Нейрон-спектр 2.0.3.1.». Рассчитывали спектр мощности ЭЭГ по Блекману – Тьюки, кросскорреляцию биопотенциалов лобных, теменных, височных, затылочных областей, внутри- и межполушарную когерентность биопотенциалов (δ -, θ -, α -, β_1 - и β_2 -диапазонов). Затем показатели фоновой ЭЭГ по 8 зонам мозга у каждого испытуемого усредняли и вычисляли средние общемозговые значения индексов, спектров, их мощности, средней пространственно-временной скоррелированности и когерентности биопотенциалов мозга, что позволяло оценить общемозговые характеристики биоэлектрической активности [8].

Характеристики регуляции целенаправленного восприятия у мужчин и женщин сравнивали по

Таблица 1

Показатели регуляции целенаправленного восприятия длительности чистого тона у женщин и мужчин и значимости различий по критерию Колмогорова – Смирнова

Показатель регуляции	Без обратной связи			С обратной связью				
	Женщины	Мужчины		p	Женщины	Мужчины		p
	Me (Q1–Q2)	Me (Q1–Q2)			Me (Q1–Q2)	Me (Q1–Q2)		
K1	23,27 (14,77–35,48)	20,20 (15,15–30,42)		0,177	13,75 (10,68–17,01)	10,14 (8,77–12,90)		0,0001
K2	14,77 (10,24–18,74)	12,47 (8,85–17,03)		0,262	11,10 (8,63–14,18)	7,68 (6,51–11,45)		0,0001
K3	154,0 (57,00–188,0)	144,0 (24,00–180,0)		0,385	80,0 (60,0–103,0)	84,0 (64,0–96,00)		0,784
K4	20,30 (11,80–36,34)	17,29 (8,85–27,01)		0,157	13,55 (10,03–17,42)	9,88 (7,88–13,14)		0,001
K5	11,89 (4,31–18,99)	13,63 (5,15–22,05)		0,813	12,90 (9,69–15,85)	9,53 (7,95–12,09)		0,0001
K6	—	—		—	1,16 (0,80–1,58)	1,20 (0,98–1,71)		0,196
K7	—	—		—	0,56 (0,25–1,03)	0,56 (0,24–0,98)		0,996
K8	—	—		—	0,65 (0,45–0,97)	0,73 (0,60–0,93)		0,027
K9	—	—		—	0,63 (0,46–0,99)	0,72 (0,60–0,90)		0,013
K10	—	—		—	0,67 (0,63–0,72)	0,70 (0,68–0,73)		0,001
K11	—	—		—	0,64 (0,42–0,94)	0,50 (0,38–0,65)		0,001
K12	—	—		—	0,79 (0,55–1,11)	0,74 (0,48–0,87)		0,023
K13	13,39 (10,36–18,03)	10,63	8,42	14,04	0,002	18,05 (14,24–23,11)	13,06 (11,42–17,23)	0,0001
K14	—	—		—	1,32 (1,05–1,73)	1,32 (1,00–1,63)		0,437

Примечание. Me – медиана; Q1 – первый квартиль; Q2 – второй квартиль.

критерию Колмогорова – Смирнова, а также коррелировали по Спирмену с показателями ЭЭГ с использованием программы Statistica 6.0. Проверку на нормальность распределения признаков проводили методом анализа асимметрии и эксцесса и их стандартных ошибок. При проверке статистических гипотез и степени связей за критический уровень значимости принимали $p < 0,05$.

Результаты

Установлено, что при деятельности на основе внутреннего опыта в точности и стиле восприятия, отмеривании длительности тона половые различия отсутствуют. Ключевым отличием является только большая гибкость перепрограммирования действий (K13) у мужчин. При введении обратной связи как мужчины, так и женщины, улучшают показатели своей эффективности. Однако мужчины показывают большую точность (K1), стабильность (K2) и упорядоченность (K10) оценок, меньшие величины переоценок (K4) и недооценок (K5) при отсутствии различий в преобладании какой-либо стилевой тенденции (K3) (табл. 1).

При этом у них лучше чувствительность к обратной связи (K11, K12), гибкость перепрограммирования действий (K13) и обучаемость (K8, K9). Изменение обратной связи на ложную у всех испытуемых вызывает некоторое ухудшение основных показателей (табл. 2). Однако и в данном случае мужчины более эффективны (K1), стабильнее (K2) и упорядоченнее (K10) в оценках. Проявляя лучшую чувствительность к обратной связи (K11, K12) и пластичность (K13), они меньше переоценивают (K4) и недооценивают (K5) эталон, но имеют уже одинаковую с женщинами обучаемость.

Таблица 2

Показатели регуляции восприятия длительности чистого тона с ложной обратной связью у женщин и мужчин и значимости различий по критерию Колмогорова – Смирнова

Показатель регуляции	Женщины	Мужчины	p
	Me (Q1–Q2)	Me (Q1–Q2)	
K1	18,08 (14,43–24,23)	13,52 (11,97–17,82)	0,0001
K2	13,02 (10,10–17,46)	9,41 (8,01–12,52)	0,0001
K3	40,00 (24,00–128,0)	36,00 (20,00–50,00)	0,254
K4	12,22 (6,67–21,84)	9,00 (6,83–12,70)	0,002
K5	17,84 (13,11–23,38)	14,92 (12,54–18,33)	0,009
K6	1,12 (0,93–1,48)	1,15 (0,83–1,47)	0,801
K7	0,67 (0,28–1,02)	0,50 (0,24–1,04)	0,780
K8	0,58 (0,43–0,82)	0,51 (0,40–0,81)	0,550
K9	0,53 (0,40–0,79)	0,49 (0,35–0,87)	0,237
K10	0,71 (0,65–0,77)	0,77 (0,73–0,82)	0,0001
K11	0,87 (0,54–1,33)	0,69 (0,52–0,97)	0,032
K12	0,99 (0,70–1,35)	0,84 (0,61–1,12)	0,069
K13	17,46 (13,82–22,26)	12,94 (11,15–15,19)	0,0001
K14	1,31 (0,98–1,66)	1,21 (0,87–1,49)	0,463
K15	30,50 (9,00–50,00)	27,00 (11,00–50,00)	0,969
K16	1,39 (1,03–2,03)	1,45 (1,03–2,05)	0,985
K17	1,26 (0,84–2,02)	1,39 (0,97–2,02)	0,761

Примечание. Me – медиана; Q1 – первый квартиль; Q2 – второй квартиль.

Взаимосвязи характеристик регуляции деятельности с показателями ЭЭГ также демонстрируют различия между мужчинами и женщинами. Так, тенденция к недооценкам эталонов (K3) без обратной связи у мужчин связана с ростом представленности α -, θ - и β_1 -ритмов, временной синхронизации β_1 -активности

Таблица 3

Корреляция показателей фоновой ЭЭГ и регуляции деятельности без обратной связи

Показатель ЭЭГ		Показатель регуляции					
		Женщины				Мужчины	
		К2	К4	К5	К13	К3	К13
Максимальная мощность ритма β_1		–	–	–	–	$r = -0,32$ $p = 0,037$	–
Средняя мощность ритма	β	–	–	–	–	–	$r = -0,31$ $p = 0,049$
	θ	–	–	–	–	$r = -0,31$ $p = 0,045$	–
	α	–	–	–	–	$r = -0,37$ $p = 0,015$	–
	β_1	–	–	–	–	$r = -0,32$ $p = 0,040$	–
Межполушарная когерентность	θ	$r = 0,21$ $p = 0,020$	–	–	$r = 0,22$ $p = 0,013$	–	–
	β_1	–	–	$r = 0,18$ $p = 0,044$	–	–	–
	β_2	–	–	$r = 0,24$ $p = 0,006$	–	–	–
Внутриполушарная когерентность	δ	–	–	–	–	$r = 0,41$ $p = 0,007$	–
	θ	$r = 0,31$ $p = 0,001$	–	–	$r = 0,28$ $p = 0,002$	–	–
	α	$r = 0,23$ $p = 0,009$	–	–	$r = 0,27$ $p = 0,003$	$r = 0,33$ $p = 0,031$	–
	β_1	$r = 0,29$ $p = 0,001$	$r = 0,19$ $p = 0,031$	–	$r = 0,28$ $p = 0,002$	$r = 0,37$ $p = 0,016$	–
	β_2	$r = 0,23$ $p = 0,009$	–	–	$r = 0,24$ $p = 0,007$	–	–
Индекс θ		–	–	–	$r = 0,22$ $p = 0,015$	–	–
Межполушарная кросскорреляция		$r = 0,23$ $p = 0,011$	–	–	–	–	–
Внутриполушарная кросскорреляция		–	–	–	–	$r = 0,31$ $p = 0,044$	–

при снижении внутриполушарной кросскорреляции всех ритмов и когерентности δ -, α - и β_1 -ритмов (табл. 3). Выраженная гибкость (реактивная пластичность) регуляции (К13) зависит только от усиления δ -активности.

Регуляция деятельности без обратной связи у женщин в большей мере взаимосвязана с изменениями характеристик ЭЭГ. Гибкость регуляции (К13) при этом зависит от снижения индекса и межполушарной когерентности θ -ритма, а также внутриполушарной когерентности θ -, α -, β_1 - и β_2 -ритмов. Стабильность их оценок (К2) связана со снижением межполушарной кросскорреляции всех ритмов, когерентности θ -ритма и внутриполушарной когерентности θ -, α -, β_1 - и β_2 -ритмов. Низкие величины переоценок (К4) зависят от уменьшения внутриполушарной когерентности β_1 -ритма, а недооценок (К5) – от межполушарной когерентности β_1 - и β_2 -ритмов.

Взаимосвязи характеристик ЭЭГ и регуляции деятельности при использовании внешней обратной связи у разных полов более разнообразны (табл. 4). Высокий результат (К1) у мужчин сопровождается ростом внутриполушарной когерентности β_2 -ритма, а у женщин – α -индекса.

Стабильность оценок (К2) у мужчин связана с ростом θ -индекса, тенденция к недооценкам (К3) – со снижением β_1 -индекса, низкие переоценки (К4) – с уменьшением δ -индекса. У женщин стабильность оценок (К2) зависит от роста α -индекса, низкие переоценки (К4) – от снижения внутриполушарной когерентности α -активности, а недооценки (К5) уменьшения представленности медленных ритмов – θ - и δ -индексов. Обучаемость регуляции (К6, К7, К8, К9) у мужчин в большей мере связана со снижением межполушарной кросскорреляции всех ритмов и уменьшением θ -индекса (К6). При этом высокая упорядоченность (К10) оценок сопровождается ростом θ -индекса и снижением межполушарной когерентности β_2 -ритма. У женщин упорядоченность (К10) оценок взаимосвязана со снижением θ -индекса и ростом α -индекса, т. е. со снижением напряжения и увеличением скорости обработки информации (табл. 5). Иные параметры обучаемости сопровождаются ослаблением межполушарной кросскорреляции всех ритмов (К8) и межполушарной когерентности β_1 -ритма (К6, К7). Чувствительность регуляции деятельности к обратной связи у мужчин связана со снижением

Таблица 4

Корреляция показателей фоновой ЭЭГ и регуляции деятельности с внешней обратной связью у мужчин

Показатель ЭЭГ		Показатель регуляции												
		K1	K2	K3	K4	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
Максимальная мощность ритма	β_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = 0,35$ $p = 0,024$
	β_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = 0,34$ $p = 0,029$	-	-	-
Средняя мощность ритма	δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = 0,31$ $p = 0,049$	-	$r = 0,42$ $p = 0,005$
	β_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = 0,40$ $p = 0,008$
Межполушарная когерентность	β_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = 0,33$ $p = 0,036$	-
	β_2	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = -0,31$ $p = 0,048$	-	-	-	-
Внутриполушарная когерентность β_2		$r = -0,37$ $p = 0,016$	-	-	$r = -0,31$ $p = 0,049$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Межполушарная кросскорреляция		-	-	-	-	$r = -0,38$ $p = 0,014$	$r = -0,34$ $p = 0,028$	$r = -0,40$ $p = 0,008$	$r = -0,34$ $p = 0,026$	-	-	-	-	-
Индексы ритмов	δ	-	-	-	$r = 0,35$ $p = 0,021$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	θ	-	$r = -0,32$ $p = 0,038$	-	-	-	-	-	-	$r = 0,33$ $p = 0,032$	-	-	-	-
	β_1	-	-	$r = 0,34$ $p = 0,025$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = 0,35$ $p = 0,024$	-	-	-

максимальной амплитуды и индекса β_2 -ритма (K11), а также δ -активности (K12).

Данный аспект регуляции у женщин зависит от внутри и межполушарных связей, т. е. от усиления межполушарной кросскорреляции всех ритмов (K11, K12) и внутриполушарной когерентности θ - и β_1 -ритмов (K12). Более высокая гибкость перепрограммирования действий (K13) у мужчин сопровождается низкой межполушарной когерентностью β_1 -ритма, а у женщин — низкой внутриполушарной когерентностью θ -ритма. Общая пластичность (K14) у мужчин связана со снижением представленности δ - и β_1 -активности и временной синхронизации β_1 -ритма, тогда как у

женщин данный показатель коррелирует с ростом межполушарной когерентности β_1 -ритма.

Возникновение когнитивного конфликта во время введения ложной обратной связи соответствует большим проявлениям половых различий. При этом у женщин преобладают изменения внутриполушарных взаимосвязей, а у мужчин — проявления отдельных ритмов (табл. 6).

В частности, низкие переоценки (K4) у мужчин взаимосвязаны с уменьшением индекса и межполушарной когерентности δ -ритма, а недооценки (K5) — ослаблением межполушарной когерентности θ -ритма. Точность деятельности не имеет корреля-

Таблица 5

Корреляция показателей регуляции деятельности с внешней обратной связью и фоновой ЭЭГ у женщин

Показатель ЭЭГ		Показатель регуляции												
		K1	K2	K4	K5	K6	K7	K8	K10	K11	K12	K13	K14	
Межполушарная когерентность	β_1	-	-	-	-	$r = -0,19$ $p = 0,037$	$r = -0,20$ $p = 0,029$	-	-	-	-	-	-	$r = -0,20$ $p = 0,023$
	θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = -0,22$ $p = 0,015$	$r = 0,19$ $p = 0,033$	-
Внутриполушарная когерентность	α	-	-	$r = 0,18$ $p = 0,044$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$r = -0,23$ $p = 0,009$	-	-
Межполушарная кросскорреляция		-	-	-	-	-	-	$r = -0,18$ $p = 0,048$	-	$r = -0,20$ $p = 0,025$	$r = -0,30$ $p = 0,001$	-	-	-
Индексы ритмов	δ	-	-	-	$r = 0,18$ $p = 0,044$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	θ	-	-	-	$r = 0,18$ $p = 0,040$	-	-	-	$r = -0,18$ $p = 0,041$	-	-	-	-	-
	α	$r = -0,18$ $p = 0,045$	$r = -0,23$ $p = 0,010$	-	-	-	-	-	$r = 0,18$ $p = 0,041$	-	-	-	-	-

Таблица 6

Корреляция показателей регуляции деятельности с ложной обратной связью и фоновой ЭЭГ у женщин

Показатель ЭЭГ		Показатель регуляции					
		K1	K4	K12	K14	K16	K17
Средняя мощность ритма	θ	-	-	-	-	-	$r = 0,21$ $p = 0,017$
	α	-	-	-	-	-	$r = 0,29$ $p = 0,001$
Максимальная мощность ритма	θ	-	-	-	-	-	$r = 0,29$ $p = 0,001$
	α	-	-	-	-	-	$r = 0,28$ $p = 0,001$
	β_1	-	-	-	-	-	$r = 0,22$ $p = 0,015$
	β_2	-	-	-	-	-	$r = 0,20$ $p = 0,028$
Межполушарная когерентность	β_1	-	-	-	$r = -0,19$ $p = 0,036$	-	-
Внутриполушарная когерентность	θ	-	$r = 0,19$ $p = 0,030$	$r = -0,21$ $p = 0,021$	-	-	-
	α	$r = 0,18$ $p = 0,048$	-	-	-	-	-
	β_1	-	-	$r = -0,23$ $p = 0,011$	$r = -0,18$ $p = 0,043$	-	-
	β_2	-	$r = 0,19$ $p = 0,030$	-	-	-	-
Индексы ритмов	δ	-	-	-	-	-	$r = -0,23$ $p = 0,010$
	θ	-	-	-	-	$r = 0,20$ $p = 0,022$	-
	α	-	-	-	-	-	$r = 0,27$ $p = 0,002$

Таблица 7

Корреляция показателей регуляции деятельности с ложной обратной связью и фоновой ЭЭГ у мужчин

Показатель ЭЭГ		Показатель регуляции					
		K4	K5	K7	K14	K15	K17
Средняя мощность ритма	δ	—	—	$r = 0,40$ $p = 0,009$	$r = 0,41$ $p = 0,006$	—	—
	θ	—	—	—	—	—	—
	α	—	—	—	$r = 0,36$ $p = 0,020$	—	—
Максимальная мощность ритма	δ	—	—	$r = 0,39$ $p = 0,012$	$r = 0,37$ $p = 0,017$	—	—
	α	—	—	—	$r = 0,31$ $p = 0,045$	—	—
Внутриполушарная кросскорреляция		—	—	—	—	—	$r = 0,39$ $p = 0,011$
Межполушарная когерентность	δ	$r = 0,39$ $p = 0,011$	—	—	—	—	—
	θ	—	$r = 0,32$ $p = 0,036$	—	—	—	—
	α	—	—	—	—	$r = -0,34$ $p = 0,029$	—
	β_2	—	—	—	—	$r = -0,40$ $p = 0,009$	—
Внутриполушарная когерентность		θ	—	—	—	—	$r = 0,39$ $p = 0,010$
Индексы ритмов		δ	$r = 0,38$ $p = 0,013$	—	—	—	—

ционных связей с показателями ЭЭГ. У женщин же хорошая результативность (K1) зависит от снижения внутриполушарной когерентности α -ритма, а низкие переоценки (K4) — от ослабления внутриполушарной когерентности θ -ритма и β_2 -ритма. Если у женщин в подобных условиях нет зависимостей характеристик обучаемости с мозговой активностью, то у мужчин она (K7) связана с увеличением представленности и временной синхронизации медленного δ -ритма (табл. 7). Высокая чувствительность к обратной связи у мужчин (K12) взаимосвязана со снижением представленности θ -ритма, у женщин — с усилением внутриполушарной когерентности θ -ритма и β_1 -ритма.

Общая пластичность регуляции (K14) деятельности у мужчин зависит от снижения представленности и временной синхронизации δ - и α -ритма, у женщин — от повышения межполушарной и внутриполушарной когерентности β_1 -ритма. При этом выраженная направленность к перестройке деятельности на новый эталон у мужчин связана с ростом межполушарной когерентности α - и β_2 -ритмов (K15) и снижением внутриполушарной когерентности θ -ритма. У женщин данный аспект пластичности взаимосвязан с снижением временной синхронизации θ -, α -, β_1 - и β_2 -ритмов (K17), θ - и α -индексов (K16, K17), ростом δ -индекса (K17).

Обсуждение результатов

Полученные в работе результаты свидетельствуют о том, что в регуляции целенаправленного восприятия и воспроизведения информации мужчины применяют отличающиеся от женских стратегии достижения результата и опираются на другие свойства регуля-

ции при разных видах обратной связи, эффективнее используют внешнюю обратную связь и лучше справляются с когнитивным конфликтом. Данные заключения согласуются с имеющимися в литературе представлениями о влиянии на деятельность различных индивидуальных регуляторных качеств [12]. При этом важно отметить, что полученные данные с учетом положений теории функциональных систем в значительной степени способствуют раскрытию половых различий в динамических механизмах регуляции на разных стадиях процесса достижения результата, в том числе при использовании разных типов обратной связи. В частности, достижение и устойчивость необходимого результата при наличии внешней обратной связи у мужчин, в отличие от женщин, обеспечивается высокой чувствительностью к ней, а также повышением пластичности перепрограммирования действий и обучаемости, что способствует повышению упорядоченности оценок со снижением величин переоценок и недооценок. Кроме того, очевидным полученным в работе фактом является установление не только половых различий в преодолении когнитивного конфликта, но и лежащих в их основе ключевых психофизиологических особенностей процессов регуляции. Например, повышение у мужчин учета обратной информации, гибкости в принятии решений и перепрограммировании действий. В то же время необходимо отметить, что выполненное нами исследование только одного вида деятельности в определенной степени затрудняет экстраполяцию полученных закономерностей на другие виды поведения человека и обуславливает необходимость проведения соответствующих работ в данном направлении.

Полученные результаты также позволяют полагать, что в основе половых особенностей процессов регуляции лежат половые различия в механизмах организации активности нервной системы. При этом необходимо обратить внимание на сделанное во многих работах заключение о том, что при выполнении когнитивных заданий происходит уменьшение α - и усиление β -активности, положительная корреляция между δ - и θ -ритмами с уровнем синхронизации. Однако в целом ряде исследований подобные данные не нашли подтверждения. Имеющиеся различия результатов объяснялись исходными особенностями ЭЭГ, уровнем активации центральной нервной системы (ЦНС), особенностями пространственной организации корковых процессов и условиями проводимых экспериментов [16]. Объяснению данных противоречий способствовало рассмотрение исполнительных функций как разноуровневого сочетания процессов торможения (фильтрации), рабочей памяти и когнитивной гибкости, анатомо-физиологическим субстратом которых являются лобные доли и стриатум. Подобный подход выявил неоднородность регуляторных процессов и различия в их нейрофизиологических основах [11]. С вышеуказанными фактами согласуются результаты нашего исследования, учитывающего наличие в деятельности различных регуляторных характеристик и свойств, а также использование разных видов обратной связи. Так, у женщин при опоре на собственный опыт при равной с мужчинами эффективности существенную роль в её достижении играет снижение межполушарных и внутрислошарных связей в диапазоне различных ритмов, что указывает на изменения пространственной организации корковых процессов, ослабление произвольности познавательных процессов и механизмов отождествления информации [15]. Для мужчин при уменьшении внутрислошарных взаимосвязей большую значимость приобретает усиление локальной активности, отражающей скорость сенсорной фильтрации и обработки информации с развитием координационного торможения нервных процессов [1, 20]. В случае использования обратной связи у мужчин регуляция деятельности сопряжена со снижением общей представленности β_1 - и δ -ритмов, разнонаправленными зависимостями характеристик и свойств регуляции с β_2 - и θ -активности и незначительным ослаблением обмена информацией между полушариями. Эти результаты в определенной степени согласуются с данными о наличии определённых паттернов фронтально-окципитальной и латеральной организации активности θ - и β -осцилляторов коры мозга, обуславливающих различия в результативности творческой деятельности у мужчин и женщин [5], а также с представлениями о сопряжении эффективности деятельности с регуляцией когнитивных процессов [18]. У женщин же только характеристики гибкости и обучаемости связаны с ослаблением межполушарной активности, а другие регуляторные свойства сопряжены с более

высоким уровнем мозговой активации, задействующей как внутри-, так и межполушарные связи, а также с преимущественным преобладанием α -ритмов как проявлением механизма произвольного управления информацией [1]. Во многом сходные половые различия наблюдаются и при использовании ложной обратной связи: направленность на перестройку деятельности к новому эталону у мужчин связана со снижением напряжения и активацией процессов обработки информации, а у женщин — с координационным торможением и анализом мыслительных процессов [19]. В целом полученные результаты согласуются с данными литературы о более высоком уровне мозговой активации с преобладанием межполушарной когерентности в диапазонах всех ритмов у женщин, внутрислошарной пространственно-временной когерентностью в диапазонах β_1 - и β_2 -ритмов у мужчин [2, 17], а также с представлениями о нейрофизиологическом обеспечении половых различий в эффективности различного рода деятельности [4, 13].

Заключение

Половые различия в индивидуально-психологических особенностях, эффективности и стратегиях деятельности, их нейрофизиологические основы показаны в целом ряде исследований. Однако наличие в регуляции отдельных динамических характеристик, составляющих целостную систему, учитывалось только в отдельных работах. В данном исследовании психофизиологическая регуляция деятельности рассматривается с позиций теории функциональных систем как процесс, имеющий собственные динамические особенности. Показано, что мужчины и женщины отличаются на уровне характеристик и свойств регуляции, проявляющихся на разных стадиях процесса достижения результата. Данные различия установлены с использованием разных типов обратной связи, и в их основе находятся особенности механизмов организации активности ЦНС. Полученные в работе результаты способствуют расширению системных представлений о механизмах адаптации, стрессоустойчивости и регуляции поведения с учетом полового фактора [10].

Авторство

Бердников Д. В. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; Бобынцев И. И. участвовал в получении, интерпретации и анализе данных, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Апчел В. Я. участвовал в анализе данных, окончательно отредактировал и утвердил присланную в редакцию рукопись; Андриуца Н. С. участвовала в получении и анализе данных, подготовила первый вариант статьи.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Бердников Дмитрий Валерьевич — SPIN 1727-2237; ORCID 0000-0001-8201-8156

Бобынцев Игорь Иванович — SPIN 3947-0114; ORCID 0000-0001-7745-2599

Апчел Василий Яковлевич — SPIN 4978-0785; ORCID 0000-0001-7658-4856

Андриуца Наталья Сергеевна — SPIN 4791-6104; ORCID 0000-0001-5425-7707

Список литературы

1. Базанова О. М. Индивидуальные характеристики альфа-активности и сенсомоторная интеграция: автореф. дис ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 39 с.

2. Бельских И. А., Голубев С. А., Козаренко Л. А., Плотников Д. В. Гендерные различия структуры обще- мозговых индексов фоновой ЭЭГ человека // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2011. № 2. С. 5–8.

3. Бердников Д. В. Методы исследования саморегуляции функциональных систем // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 1. С. 21–23.

4. Вольф Н. В., Тарасова И. В., Разумникова О. М. Половые различия в изменениях когерентности био- потенциалов коры мозга при образном творческом мышлении: связь с эффективностью деятельности // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2009. Т. 59, № 4. С. 429–436.

5. Вольф Н. В., Тарасова И. В. Связь осцилляций на частотах тета- и бета-ритмов ЭЭГ с эффективностью творческой деятельности // Физиология человека. 2010. Т. 36, № 2. С. 15–22.

6. Голубихина Ю. Ю., Гончарова Н. А. Сравнение психофизиологических показателей надёжности деятельности водителей женского и мужского пола // Фундаментальные исследования. 2015. № 2. С. 815–819.

7. Горбачева И. Г. Синхронизация мозговой активности в состоянии спокойного бодрствования у лиц разного пола // Успехи современной науки. 2016. Т. 10, № 12. С. 128–131.

8. Козаренко Л. А. ЭЭГ-методика оценки уровней активированности человека // Механизмы интеграции функций в норме и при психосоматических расстройствах: сб. науч. трудов. Курск, 2005. С. 128–131.

9. Козлова И. Ю. Электроэнцефалографические корреляты успешности когнитивной деятельности: автореф. ... канд. мед. наук. СПб., 2010. 23 с.

10. Корнилова Т. В. Принцип неопределенности в психологии выбора и риска // Психологические исследования. 2015. Т. 8, № 40. С. 3. URL: <http://psystudy.ru> (дата обращения: 20.01.2018).

11. Кропотов Ю. Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. Донецк: Издатель Заславский А. Ю., 2010. 512 с.

12. Мишина М. М. Специфика интеллектуальной деятельности личности // Вестник МГОУ. Серия «Психологические науки». 2014. № 1. С. 6–12.

13. Разумникова О. М., Вольф Н. В. Половые различия во взаимосвязи креативности и полушарной селекции информации на глобальном и локальном уровнях // Физиология человека. 2012. Т. 38, № 5. С. 33–41.

14. Разумникова О. М., Вольф Н. В., Тарасова И. В. Стратегия и результат: половые различия в электрографических коррелятах вербальной и образной креативности // Физиология человека. 2009. Т. 35, № 3. С. 31–41.

15. Серегин В. Я. Сознание и мышление: нейробиологические механизмы // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна». 2011. № 2. С. 7–34.

16. Чувгунова О. А. Планирование как предмет психологического исследования // Психологические исследования.

2015. Т. 8, № 43. С. 11. URL: <http://psystudy.ru> (дата обращения: 20.01.2018).

17. Bhattacharya J., Petsche H. Shadows of artistry: cortical synchrony during perception and imagery of visual art // Brain Res. Cogn. Brain Res. 2002. Vol. 13, N 2. P. 179–181.

18. Palva S., Kulashekhar S., Hamalainen M., Palva J. M. Localization of cortical phase and amplitude dynamics during visual working memory encoding and retention // J. Neurosci. 2011. Vol. 31(13). P. 5013–5025.

19. Wang X.-J. Neurophysiological and computational principles of cortical rhythms in cognition // Physiol. Rev. 2010. Vol. 90 (3). P. 1195–1268.

20. Wrobel A., Ghazaryan A., Bekisz M., Bogdan W., Kaminski J. Two streams of attention-dependent beta activity in the striate recipient zone of cat's lateral posterior-pulvinar complex // J. Neurosci, 2007. N 27. P. 2230–2240.

References

1. Bazanova O. M. *Individual'nye kharakteristiki al'fa-aktivnosti i sensomotornaya integratsiya (avtoref. kand. diss.)* [Individual characteristics of alfa-activity and sensorimotor integration. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Novosibirsk, 2009, 39 p.

2. Bel'skikh I. A., Golubev S. A., Kozarenko L. A., Plotnikov D. V. Gender difference between the structure of general EEG human indexes. *Kurskii nauchno-prakticheskii vestnik «Chelovek i ego zdorov'e»* [Kursk research and practice bulletin «Human Being and His Health»]. 2011, 2, pp. 5-8. [In Russian]

3. Berdnikov D. V. Methods of studying self-control functional systems. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of New Medical Technologies]. 2011, 18 (1), pp. 21-23. [In Russian]

4. Vol'f N. V., Tarasova I. V., Razumnikova O. M. Gender Differences in EEG Coherence Changes during Figural Creative Thinking: the Efficacy Coupling. *Zhurnal Vysshei Nervnoi Deyatel'nosti imeni I. P. Pavlova*. 2009, 59 (4), pp. 429-436. [In Russian]

5. Vol'f N. V., Tarasova I. V. Relationships between θ - and β -Oscillations and the Level of Creative Achievement. *Fiziologiya cheloveka*. 2010, 36 (2), pp. 15-22. [In Russian]

6. Golubikhina Yu. Yu., Goncharova N. A. Comparison of psychophysiological indicators of male and female reliability of driver activity. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Studies]. 2015, 2, pp. 815-819. [In Russian]

7. Gorbacheva I. G. Synchronization of the brain activity at persons of different sex during the resting state EEG. *Uspekhi sovremennoi nauki* [Modern science success]. 2016, 10 (12), pp. 128-131. [In Russian]

8. Kozarenko L. A. EEG-metodika otsenki urovnei aktivirovannosti cheloveka [EEG-technique of estimation of human activatedness levels]. In: *Mekhanizmy integratsii funktsii v norme i pri psikhosomaticheskikh rasstroistvakh. Sb. nauch. trudov* [Mechanisms of function integration in norm and in psychosomatic disorders. Digest of Scientific Papers]. Kursk, 2005, pp. 128-131.

9. Kozlova I. Yu. *Elektroentsefalograficheskie korrelyaty uspekhov kognitivnoi deyatelnosti (avtoref. kand. diss.)* [Electroencephalographic correlates of cognitive activity success. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Saint Petersburg, 2010, 23 p.

10. Kornilova T. V. The principle of uncertainty in psychology of choice and risk. *Psikhologicheskie issledovaniya* [Current Issue Articles]. 2015, 8 (40), p. 3. Available at: <http://psystudy.ru> (accessed: 20.01.2018).

11. Kropotov Yu. D. *Kolichestvennaya EEG, kognitivnyye*

vyzvannye potentsialy mozga cheloveka i neuroterapiya [Quantitative EEG, cognitive induced potentials of human brain and neurotherapy]. Donetsk, Zaslavskii A. Yu. Publ., 2010, 512 p.

12. Mishina M. M. Specifics of a person's intellectual activity. *Vestnik MGOU. Seriya «Psikhologicheskie nauki»* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Psychological Sciences]. 2014, 1, pp. 6-12. [In Russian]

13. Razumnikova O. M., Vol'f N. V. Sex differences in the relationship between creativity and hemispheric information selection at the global and local levels. *Fiziologiya cheloveka*. 2012, 38 (5), pp. 33-41. [In Russian]

14. Razumnikova O. M., Vol'f N. V., Tarasova I. V. Strategy and results: Sex differences in electrographic correlates of verbal and figural creativity. *Fiziologiya cheloveka*. 2009, 35 (3), pp. 31-41. [In Russian]

15. Seregin V. Ya. Consciousness and thinking: neurobiological mechanisms. *Psikhologicheskii zhurnal Mezhdunarodnogo universiteta prirody, obshchestva i cheloveka «Dubna»* [Psychological journal of Dubna University]. 2011, 2, pp. 7-34. [In Russian]

16. Chuvgunova O. A. Planning as a subject in psychological research. *Psikhologicheskie issledovaniya* [Current Issue Articles]. 2015, 8 (43), p. 11. Available at: <http://psystudy.ru> (accessed: 20.01.2018).

17. Bhattacharya J., Petsche H. Shadows of artistry: cortical synchrony during perception and imagery of visual art. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 2002, 13 (2), pp. 179-181.

18. Palva S., Kulashekhar S., Hamalainen M., Palva J.M. Localization of cortical phase and amplitude dynamics during visual working memory encoding and retention. *J. Neurosci.* 2011, 31 (13), pp. 5013-5025.

19. Wang X.-J. Neurophysiological and computational principles of cortical rhythms in cognition. *Physiol. Rev.* 2010, 90 (3), pp. 1195-1268.

20. Wrobel A., Ghazaryan A., Bekisz M., Bogdan W., Kaminski J. Two streams of attention-dependent beta activity in the striate recipient zone of cat's lateral posterior-pulvinar complex. *J. Neurosci.* 2007, 27, pp. 2230-2240.

Контактная информация:

Бердников Дмитрий Валерьевич – доктор медицинских наук, зав. лабораторией сенсорных систем и психофизиологии НИИ физиологии ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России

Адрес: 305041, г. Курск, ул. К. Маркса, 3

E-mail: berdnikov@rambler.ru

УДК 612.233: 612.5.05

DOI: 10.33396/1728-0869-2019-9-41-49

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕСТРОЕК КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ И ГАЗООБМЕНА В ОТВЕТ НА ПРОБУ С РЕРЕСПИРАЦИЕЙ У ЮНОШЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СРОКАХ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

© 2019 г. И. В. Аверьянова

ФГБУН «Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук» (НИЦ «Арктика» ДВО РАН), г. Магадан

Цель данного исследования – выявить особенности перестроек показателей сердечно-сосудистой системы и газообмена в ответ на пробу с возвратным дыханием у молодых жителей при различных сроках адаптации к условиям Северо-Востока России. *Методы.* В исследованиях приняли участие 222 юноши: 31 испытуемый представлял нулевое поколение (мигранты), 73 – первое поколение укорененных жителей из числа европеоидов, 86 – второе поколение, и 32 обследованных относились к аборигенному населению Магаданской области. У юношей изучали основные показатели сердечно-сосудистой системы, вариабельности сердечного ритма и газообмена в состоянии покоя и на пике пробы с ререспирацией. *Результаты:* проведенные исследования показали, что процесс срочной адаптации в ответ на гипоксически-гиперкапническое воздействие происходит путем перестроек сердечно-сосудистой системы, показателей кардиоритма и газоанализа, имеющих ряд различий в зависимости от срока проживания в условиях исследуемого региона. *Заключение.* Установлено что основные характеристики сердечно-сосудистой системы, сатурации артериальной крови и в большей степени величины газообмена при анализе разницы фон – проба могут выступать показателем степени адаптированности к условиям Северо-Востока России, а также физиологическими критериями этнической принадлежности. При этом наиболее специфичными, отражающими различия в перестройках изучаемых систем в ответ на ререспирацию у испытуемых четырех групп являются показатели ΔCO_2 , ΔO_2 а также спектральные характеристики кардиоритма как в состоянии покоя, так и на пике пробы с возвратным дыханием.

Ключевые слова: юноши, показатели вариабельности сердечного ритма, показатели сердечно-сосудистой системы, показатели газоанализа, проба с возвратным дыханием

SPECIAL ASPECTS OF CARDIAC HEMODYNAMIC CHANGES AND VENTILATION IN RESPONSE TO REBREATHING TEST IN YOUNG MALES HAVING DIFFERENT TERMS OF ADAPTATION TO RUSSIA'S NORTHEAST CONDITIONS

I. V. Averyanova

Scientific Research Center "Arktika", Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (SRC "Arktika" FEB RAS), Magadan, Russia

The *aim* of the study was to reveal the changes occurred in the cardiovascular system, ventilation, and heart rate in response to a rebreathing test in young male residents having different periods of adaptation to the conditions of the northeast of Russia. *Methods:* 222 young men took part in the study: 31 - representatives of the 0th generation, 73 - belonged to the 1st generation, 86 - representatives of the 2nd generation and 32 - indigenous people of Magadan Region. The basic parameters of cardiovascular system, heart rate variability and ventilation at rest and at the peak of the rebreathing test were studied. *Results:* The studies have shown that the process of urgent adaptation in response to hypoxic-hypercapnic effect occurs through alternation of the cardiovascular system as well as changes in heart rate and ventilation indicators. These changes have a number of differences depending on the period of residence in the northeast of Russia. *Conclusions:* It is found that the main characteristics of the cardiovascular system, arterial blood saturation and to greater extent ventilation when analyzing background-test difference, can serve as indicators of the adaptation degree to the conditions of the northeast of Russia as well as physiological criteria of ethnicity. However the most specific, reflecting the differences in the reconstructions of the studied systems in response to rebreathing in the subjects of the four groups are ΔCO_2 , ΔO_2 as well as spectral characteristics of the heart rate, both at rest and at the peak of the test with recurrent respiration.

Key words: young men, heart rate variability indices, cardiovascular indices, ventilation indicators, rebreathing test

Библиографическая ссылка:

Аверьянова И. В. Особенности перестроек кардиогемодинамики и газообмена в ответ на пробу с ререспирацией у юношей при различных сроках адаптации к условиям Северо-Востока России // Экология человека. 2019. № 9. С. 41–49.

Averyanova I. V. Special Aspects of Cardiac Hemodynamic Changes and Ventilation in Response to Rebreathing Test in Young Males Having Different Terms of Adaptation to Russia's Northeast Conditions. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 9, pp. 41-49.

В последние годы для определения уровня функциональных возможностей организма активно изучается динамика вариабельности ритма сердца, сердечно-сосудистой системы при различных функциональных тестах [7, 9]. Показано, что в процессе индивидуальной адаптации к условиям окружающей среды происходит перенастройка активности отделов вегетативной нервной системы (ВНС), которая влияет на показатели

газообмена, гемодинамики и соответственно на интенсивность процессов связывания кислорода в легких и тканях, что является доказательством их эффективной взаимосвязи с функциональным состоянием ВНС [15].

В настоящее время на территории Магаданской области сформировались популяции уроженцев 1–2-го поколений укорененных жителей из числа европеоидов, родители которых (мигранты, 0-е поколение) прибыли

на северо-восток России в 1940–1960-х годах, где у них родились дети (1-е поколение), которые, в свою очередь, дали начало следующим поколениям (2-е поколение), постоянно там проживающим [1]. Также в данный момент в Магаданской области проживает популяция аборигенного населения Севера, сохранившая черты традиционного образа жизни, считающаяся наиболее адаптированной к северным условиям и которая, в свою очередь, может рассматриваться как «природная модель» или как некий «эталон» приспособления к местным геоклиматическим условиям [8, 16]. Результаты многолетних фундаментальных исследований [2, 8] свидетельствуют о существовании этнических различий по ряду биологических характеристик, что является основанием для предположения об особенностях функциональных резервов организма обследуемых лиц из числа европеоидов и аборигенов уроженцев Севера. В связи с этим изучение функциональных резервов организма на основе перестроек показателей variability сердечного ритма, артериального давления, газоанализа в состоянии покоя и на пике гипоксически-гиперкапнического воздействия у лиц, различающихся по срокам проживания в условиях северо-востока России, является удобной моделью для анализа глубоких механизмов вегетативного обеспечения регуляции газообмена и кардиореспираторной системы при адаптации к северным условиям. Необходимо отметить, что результаты данного анализа могут быть полезными для научного обоснования критериев адаптированности к экстремальным климатогеографическим условиям субарктического региона нашей страны.

Механизмы компенсации умеренных форм гипоксии, гиперкапнии или их комбинации в здоровом организме имеют определенное приспособительное значение в формировании адаптационных реакций, направленных на повышение устойчивости организма к целому комплексу экстремальных факторов [3]. По мнению С. Г. Кривошекова с соавт. [12], исследование характера системных ответов кардиореспираторной системы на гипоксическое и/или гиперкапническое воздействие имеет важное прогностическое значение для оценки функциональных резервов организма человека. При этом изучение специфики функциональных ответов различных систем организма на измененную газовую среду имеет важное значение при оценке стратегий и возможностей адаптации человека [6, 12].

Исходя из вышесказанного, целью данной работы явилось изучение перестроек показателей гемодинамики, газоанализа и характеристик variability сердечного ритма в ответ на пробу с ререспирацией у юношей-вагонормотоников с различными периодами проживания в условиях Северо-Востока России.

Методы

Всего были обследованы 222 юноши, из которых 31 испытуемый являлся представителем 0-го поколения, 73 — 1-го поколения, 86 — 2-го поколения и 32 обследуемых относились к аборигенному населению Магаданской области.

В качестве функциональной нагрузки использовалась проба с ререспирацией без поглощения CO_2 . До проведения пробы с помощью портативного газоанализатора производства ООО «НПК «Карбоник» определялось у каждого обследуемого долевое содержание CO_2 и O_2 в выдыхаемом им воздухе. Для проведения ререспирации испытуемому предлагалось совершить три глубоких выдоха в герметичный пластиковый мешок (типа Дугласа), откуда в дальнейшем производился процесс вдоха и выдоха, общей продолжительностью 3 мин, при этом нос закрывался зажимом [13]. После завершения ререспирации оставшаяся в мешке воздушная газовая смесь анализировалась с помощью того же прибора по уровню долевого содержания CO_2 и O_2 .

До пробы с ререспирацией и в процессе ее 3-минутного выполнения с помощью прибора «Варикард» и программного обеспечения VARICARD-KARDi [11] производилась запись кардиоритмограммы с учетом методических рекомендаций группы Российских экспертов [4]. В дальнейшем анализировались следующие показатели variability сердечного ритма (BCP): частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин); мода (M_0 , мс) — наиболее часто встречающееся значение R-R интервала; разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов ($MxDMn$, мс); квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов ($RMSSD$, мс); число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов ($pNN50$, мс); стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов ($SDNN$, мс); амплитуда моды при ширине класса 50 мс ($AMo50$ %, мс); индекс напряжения регуляторных систем (SI, усл. ед.); индекс централизации (IC, усл. ед.); суммарная мощность спектра сердечного ритма (TP, мс^2), мощность спектра высокочастотного компонента BCP в диапазоне 0.4–0.15 гц (дыхательные волны) (HF, мс^2); мощность спектра низкочастотного компонента BCP в диапазоне 0.15–0.04 гц (LF, мс^2); мощность спектра очень низкочастотного компонента BCP в диапазоне 0.04–0.015 гц (VLF, мс^2).

Тип исходного вегетативного тонуса определяли на основании значений следующих показателей: $MxDMn$, SI, TP, где диапазон эйтонии для $MxDMn$ мы учитывали равным от 200 до 300 мс, для SI — от 70 до 140 усл. ед., для TP — от 1 000 до 2 000 мс^2 [14]. Если исследуемые показатели $MxDMn$ и TP находились ниже данных диапазонов, то вегетативный баланс был оценен как симпатотонический, при повышении величин данного коридора — как ваготонический. Напротив, при значениях показателей SI более 140 усл. ед. (с учетом двух других показателей) вегетативный баланс оценивался как симпатотонический, а при значениях менее 70 усл. ед. — как ваготонический. В связи с немногочисленностью в выборке симпатотоников функциональные показатели юношей данного типа в этой серии исследований не анализировались. В выборку для статистического анализа включались

лица с вагонормотоническим (ваготоники и нормотоники) типом вегетативной регуляции.

Показатели артериального давления регистрировались автоматическим тонометром Nesei DS-1862 (Япония) на фоне и пике пробы (конец 3-й минуты), в эти же периоды, с использованием пульсоксиметра «NPВ-40» (США) измерялся долевой уровень оксигемоглобина (НbO₂). Все обследования осуществлялось в помещении с комфортной температурой 19–21 °С в первой половине дня.

Для исследований допускались только юноши, у которых жизненная емкость легких (ЖЕЛ) была не менее 3 200 мл и отсутствовали хронические заболевания в стадии обострения и жалобы на состояние здоровья, что и являлось непосредственным критерием включения в исследования. Исследование было выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом медико-биологических исследований при СВНИЦ ДВО РАН (№ 004/013 от 10.12.2013). До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Результаты подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ Statistica 7.0. Проверка на нормальность распределения измеренных переменных осуществлялась на основе теста Шапиро – Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей, а параметрических, как среднее значение и его ошибка ($M \pm m$). Статистическая значимость различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилконсона для выборок с ненормальным распределением. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным или меньше 0.05 [5].

Результаты

В табл. 1 приведены основные показатели сердечно-сосудистой системы, сатурации артериальной крови, концентрации углекислого газа и кислорода в выдыхаемом воздухе в состоянии покоя, а также на пике выполнения пробы с возвратным дыханием у юношей с различными периодом проживания на территории Магаданской области. Полученные результаты указывают на то, что в ряду от 0-го поколения к группе аборигенов отмечается снижение артериального давления и частоты сердечных сокращения в состоянии покоя. Самые низкие показатели концентрации углекислого газа и самые высокие концентрации кислорода в выдыхаемом воздухе в состоянии покоя были характерны юношам 0-го поколения. Тогда как, напротив, статистически значимо более высокие показатели концентрации CO₂ в покое на фоне значимо более низких величин концентрации O₂ в выдыхаемом воздухе были зафиксированы в группе представителей 1-го, 2-го поколений и у юношей из числа аборигенного населения области. Межгрупповых различий по показателям сатурации артериальной крови в состоянии покоя выявлено не было.

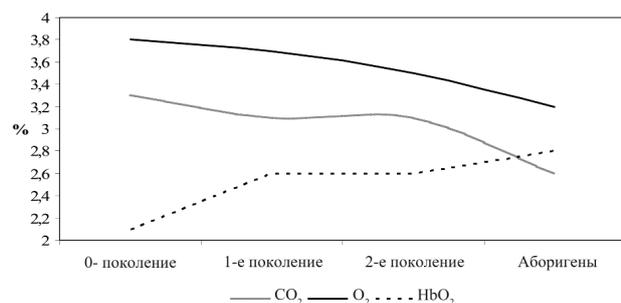
Сравнительный анализ показателей сердечно-сосудистой системы, газоанализа и сатурации артериальной крови на пике выполнения пробы с ререспирацией также выявил ряд межгрупповых различий. Так, на пике пробы мы не выявили отличий относительно показателей систолического и диастолического давления (САД и ДАД), что обусловлено отсутствием динамики САД у испытуемых 1-й группы, а также различной степенью ответной реакции ДАД на ререспирацию, имеющей более выраженную динамику в группе аборигенов. В ответ на пробу с ререспирацией происходит значимое увеличение концентрации углекислого газа и снижение концентрации кислорода в выдыхаемом воздухе, в большей степени выраженное в группе

Таблица 1

Показатели сердечно-сосудистой системы, оксигенации и газоанализа в состоянии фона и на пике ререспирации у юношей вагонормотоников с различными периодами проживания в условиях Северо-Востока России

Показатель	Обследованная группа				Уровень значимости различий между группами (p)					
	0 поколение (1) n=31	1 поколение (2) n=73	2 поколение (3) n=86	Аборигены (4) n=32	1–2	2–3	3–4	1–3	2–4	1–4
Состояние покоя										
САД, мм рт. ст.	125,6±0,9	124,3±0,7*	123,7±0,5*	122,8±1,2*	0.25	0.48	0.59	<0.05	0.34	<0.05
ДАД, мм рт. ст.	76,5±0,8*	74,4±0,6*	74,1±0,6*	73,8±1,2*	<0.05	0.69	0.82	<0.01	0.65	<0.05
ЧСС, уд./мин	75,1±0,8*	71,3±0,7*	70,2±0,8*	68,5±1,2*	<0.001	0.30	0.24	<0.001	<0.05	<0.001
Концентрация CO ₂ , %	3,7±0,1*	3,8±0,1*	3,9±0,1*	4,0±0,1*	0.48	0.52	0.55	0.27	0.16	<0.05
Концентрация O ₂ , %	16,5±0,1*	16,2±0,1*	16,0±0,1*	16,2±0,2*	<0.05	0.42	0.92	<0.01	0.42	<0.05
НbO ₂ , %	98,6±0,1*	98,5±0,0*	98,5±0,1*	98,6±0,1*	0.16	0.46	0.48	0.55	0.23	0.69
Ререспирация										
САД, мм рт. ст.	126,1±2,1	128,4±1,9	128,0±1,9	128,9±2,0	0.42	0.87	0.74	0.48	0.85	0.33
ДАД, мм рт. ст.	86,0±2,4	84,6±2,5	82,9±2,4	86,0±2,1	0.69	0.63	0.34	0.37	0.66	1.00
ЧСС, уд./мин	80,5±0,9	77,6±1,2	75,6±1,1	73,2±1,4	<0.05	0.22	0.15	<0.001	<0.01	<0.05
Концентрация CO ₂ , %	7,0±0,1	6,9±0,1	7,0±0,1	6,6±0,2	0.17	0.65	0.32	0.32	0.23	<0.05
Концентрация O ₂ , %	12,7±0,1	12,5±0,1	12,5±0,1	13,0±0,2	0.16	0.99	<0.05	0.18	<0.05	0.18
НbO ₂ , %	96,5±0,1	95,9±0,2	95,9±0,2	95,8±0,4	<0.001	0.98	0.75	<0.05	0.84	<0.05

Примечание. * обозначены статистически значимые различия между фоновыми показателями и на пике выполнения пробы



Значения разницы показателей концентрации кислорода, углекислого газа, сатурации артериальной крови между фоновыми величинами и на пике выполнения пробы у юношей с различным сроком проживания в условиях Севера

юношей 0-го поколения, что согласуется с более высокими показателями ΔCO_2 и ΔO_2 , представленными на рисунке. На пике ререспирации отмечено значимое снижение показателя сатурации артериальной крови во всех группах, но более выраженная динамика этого показателя в ответ на гипоксически-гиперкапническое воздействие была зафиксирована в группе аборигенов.

В табл. 2 представлены показатели кардиоритма

в состоянии покоя и на пике выполнения пробы с ререспирацией у юношей 0-го, 1-го, 2-го поколений и аборигенов, а также уровни значимости их различий (табл. 3). Полученные результаты указывают на то, что в ответ на гипоксически-гиперкапническое воздействие у обследуемых всех групп происходит увеличение RMSSD, pNN50, SDNN на фоне снижения Mo, AMo с отсутствием значимой динамики относительно показателей MxDMп и SI. Анализ динамики спектральных характеристик кардиоритма в ответ на функциональную пробу выявил увеличение HF-составляющей спектра во всех группах обследуемых, снижение LF-компонента спектра на фоне снижения VLF во всех группах, кроме юношей-аборигенов. Динамика показателя TP в ответ на ререспирацию также имела различия в зависимости от продолжительности проживания в северных условиях: так, в группе представителей 2-го поколения и аборигенов было отмечено увеличение данного показателя, тогда как у обследуемых из числа представителей 0-го и 1-го поколений аналогичных изменения выявлено не было. Самые высокие показатели индекса централи-

Таблица 2

Показатели кардиоритма в состоянии покоя и на пике пробы с ререспирацией юношей с различными сроками проживания на территории Магаданской области

Показатель	Этап эксперимента					
	Фон	Ререспирация	Значимость различий (p)	Фон	Ререспирация	Значимость различий (p)
	0 поколение, n = 31			1 поколение, n = 73		
MxDMп, мс	332,0 (282,1; 462,3)	375,3 (300,7; 420,8)	0.84	369,5 (300,1; 440,8)	358,7 (292,0; 519,9)	0.22
RMSSD, мс	41,7 (36,0; 56,7)	52,7 (44,5; 68,0)	<0.05	46,4 (34,9; 66,7)	59,4 (42,0; 82,7)	<0.001
pNN50, %	19,2 (12,4; 27,7)	30,4 (22,1; 40,6)	<0.001	21,3 (13,0; 33,1)	35,5 (22,1; 54,1)	<0.01
SDNN, мс	63,3 (47,5; 80,4)	73,4 (61,0; 86,7)	<0.05	70,8 (55,8; 84,4)	72,2 (56,5; 102,9)	<0.01
Mo, мс	823,8 (761,3; 923,0)	772,2 (672,9; 873,3)	<0.001	824,6 (727,5; 924,6)	736,7 (678,9; 825,2)	<0.001
AMo50, мс	32,7 (26,8; 40,4)	28,5 (22,1; 31,2)	<0.01	31,0 (25,7; 39,0)	27,9 (23,3; 33,6)	<0.01
SI, усл. ед.	59,7 (34,0; 83,6)	48,0 (36,6; 68,2)	0.72	48,4 (30,3; 81,2)	46,9 (30,6; 77,0)	0.76
TP, мс ²	3240,8 (2231,0; 5576,6)	3681,2 (2856,2; 5472,1)	0.69	3772,8 (2465,7; 5700,3)	3962,7 (2368,8; 6600,3)	0.08
HF, мс ²	698,2 (429,0; 1057,5)	1398,8 (787,9; 2628,4)	<0.001	978,2 (491,4; 1713,8)	2198,9 (1117,2; 3746,6)	<0.001
LF, мс ²	1274,0 (842,1; 045,0)	1022,1 (753,8; 1336,9)	<0.05	1349,2 (969,2; 1654,0)	1140,3 (554,7; 1688,6)	<0.05
VLF, мс ²	542,7 (382,4; 710,6)	438,2 (326,0; 679,1)	<0.05	627,6 (434,4; 913,0)	447,6 (185,8; 756,4)	<0.001
IC, усл. ед.	3,2 (1,8; 5,4)	1,4 (0,5; 2,2)	<0.001	2,2 (1,6; 3,8)	0,7 (0,4; 1,2)	<0.001
	2 поколение, n = 86			Аборигены, n = 32		
MxDMп, мс	368,2 (300,5; 447,7)	365,7 (291,5; 523,8)	0.08	349,8 (265,6; 423,5)	368,0 (312,7; 456,0)	0.26
RMSSD, мс	44,6 (34,5; 66,6)	60,9 (42,3; 87,3)	<0.001	46,6 (35,0; 67,6)	57,3 (42,4; 79,4)	<0.001
pNN50, %	21,2 (12,0; 35,7)	39,3 (20,8; 55,5)	<0.001	25,9 (12,9; 43,6)	39,0 (22,6; 50,7)	<0.001
SDNN, мс	68,0 (54,8; 84,6)	74,9 (58,0; 108,1)	<0.001	60,7 (46,7; 78,5)	71,5 (58,9; 96,9)	<0.001
Mo, мс	825,0 (728,5; 951,3)	774,2 (711,2; 875,0)	<0.001	852,2 (741,3; 978,1)	775,8 (698,9; 871,5)	<0.001
AMo50, мс	30,4 (25,5; 39,2)	27,7 (21,6; 33,7)	<0.001	31,5 (25,3; 40,0)	28,7 (21,3; 34,2)	<0.001
SI, усл. ед.	48,4 (30,6; 80,4)	47,2 (27,5; 80,4)	0.44	54,9 (31,5; 101,5)	58,1 (27,4; 76,4)	0.08
TP, мс ²	3779,0 (2446,1; 5842,4)	4047,9 (2506,7; 7217,2)	<0.001	3009,8 (1758,4; 4714,2)	3624,5 (2551,2; 8134,4)	<0.001
HF, мс ²	958,1 (492,1; 1738,1)	2312,3 (1035,6; 3772,4)	<0.001	932,3 (507,0; 1746,1)	1684,6 (1020,0; 3445,1)	<0.001
LF, мс ²	1341,9 (948,5; 1686,8)	1160,0 (562,2; 1782,9)	<0.05	1075,5 (717,4; 1500,1)	845,3 (660,4; 1955,7)	<0.05
VLF, мс ²	648,4 (409,1; 932,3)	444,2 (205,8; 722,2)	<0.001	429,6 (239,7; 914,0)	414,3 (268,8; 975,4)	0.60
IC, усл. ед.	2,2 (1,4; 3,8)	0,7 (0,4; 1,2)	<0.001	1,9 (1,1; 3,7)	0,9 (0,6; 1,9)	<0.001

Таблица 3

Показатели уровня значимости различий между изучаемыми группами

Показатель	Значимость различий между изучаемыми группами (p)					
	1-2	2-3	3-4	1-3	1-4	2-4
Состояние покоя						
MxDMп, мс	0.52	0.81	0.24	<0.05	0.60	0.30
RMSSD, мс	<0.05	0.91	0.93	<0.05	<0.05	0.85
pNN50, %	0.24	0.95	0.63	0.22	<0.05	0.58
SDNN, мс	0.26	0.97	0.12	0.26	0.67	0.13
Mo, мс	0.93	0.69	<0.05	0.65	0.48	0.53
AMo50, мс	0.39	0.69	0.69	0.36	0.77	0.70
SI, усл. ед.	0.54	0.96	0.53	0.47	0.93	0.58
TP, мс ²	0.33	0.95	0.33	<0.05	0.99	0.39
HF, мс ²	<0.05	0.87	0.91	<0.05	<0.05	0.91
LF, мс ²	0.75	0.97	0.95	0.71	0.70	0.97
VLF, мс ²	0.25	0.94	<0.05	<0.05	0.46	0.22
IC, усл. ед.	0.12	0.82	0.55	<0.05	<0.05	0.45
Ререспирация						
MxDMп, мс	0.51	0.90	0.77	0.40	0.97	0.87
RMSSD, мс	0.32	0.82	0.63	0.23	0.39	0.80
pNN50, %	<0.05	0.80	0.77	<0.05	<0.05	0.99
SDNN, мс	1.00	0.74	0.77	0.76	0.96	0.98
Mo, мс	0.81	0.57	0.62	0.92	0.37	0.36
AMo50, мс	0.86	0.79	0.95	0.50	0.88	0.80
SI, усл. ед.	0.95	0.78	0.93	0.79	0.89	0.90
TP, мс ²	0.63	0.75	0.75	0.78	0.63	0.96
HF, мс ²	<0.05	0.83	0.38	<0.05	0.54	0.46
LF, мс ²	0.94	0.70	0.55	0.69	0.60	0.84
VLF, мс ²	0.91	0.88	0.43	0.81	0.64	0.50
IC, усл. ед.	<0.05	0.87	0.14	<0.05	0.53	0.10

Примечание. 1 – 0-е поколение; 2 – 1-е поколение; 3 – 2-е поколение; 4 – аборигены.

Таблица 4

Расчетные индексы, отражающие отношение частоты сердечных сокращений и концентраций O₂ и CO₂ в выдыхаемом воздухе в зависимости от степени адаптированности к условиям Севера

Расчетный индекс	Группа в зависимости от срока проживания в условиях Северо-Востока России			
	0-е поколение	1-е поколение	2-е поколение	Аборигены
ЧСС фон / концентрация O ₂ в выдыхаемом воздухе на фоне	4,6	4,4	4,3	4,2
ЧСС фон / концентрация CO ₂ в выдыхаемом воздухе на фоне	20,3	18,8	18,0	17,0
ЧСС проба / концентрация O ₂ в выдыхаемом воздухе на пике пробы	6,3	6,2	6,0	5,6
ЧСС проба / концентрация CO ₂ в выдыхаемом воздухе на пике пробы	11,5	11,2	10,8	11,0

зации были выявлены в группе представителей 0-го поколения со значимым снижением в зависимости от увеличения продолжительности проживания в условиях Севера. В табл. 4 представлены расчетные индексы,

отражающие соотношение одного сердечного ритма с потреблением кислорода и выведением углекислого газа. Полученные данные указывают на то, что наименьшими величинами данных расчетных индексов характеризовались юноши из числа аборигенного населения Магаданской области, тогда как самые высокие цифровые значения были зафиксированы у представителей 0-го поколения.

Обсуждение результатов

Наше исследование показателей сердечно-сосудистой системы показало, что в ряду от 0-го поколения к группе аборигенов отмечается снижение артериального давления и частоты сердечных сокращения в состоянии покоя. Полученные результаты согласуются с более ранними нашими исследованиями относительно перестроек морфофункциональных показателей в зависимости от периода проживания в условиях Севера, но величины показателей сердечно-сосудистой системы, полученные в настоящей работе, несколько ниже, чем были представлены нами ранее [16]. Данный факт по большей части связан с тем, что в настоящей работе из выборки исключены симпатотоники и представленные показатели характерны лишь для юношей с вагонормотоническим типом вегетативной регуляции. Необходимо отметить, что при прочих равных условиях весьма информативной, на наш взгляд, оказалась динамика фоновых значений кислорода и углекислого газа в выдыхаемом воздухе в ряду от 0-го поколения к группе аборигенов. Полученные результаты подтверждают высказанный ранее нами и рядом других исследователей вывод о снижении чувствительности дыхательного центра к высоким значениям углекислоты при адаптации к условиям Севера [17], а также о более эффективном использовании кислорода из вдыхаемого воздуха. Об этом свидетельствует, с одной стороны, значимое увеличение концентрации углекислого газа, а с другой – значимое понижение концентрации кислорода в выдыхаемом воздухе у юношей в ряду от 0-го поколения к группе аборигенов.

Анализ показателей сердечно-сосудистой системы, газоанализа и сатурации артериальной крови, представленный в табл. 1, позволил установить, что на пике проведения ререспирационной пробы значимых межгрупповых отличий по показателям САД и ДАД отмечено не было, что обусловлено отсутствием динамики САД у обследуемых 0-го поколения, а также различной степенью ответной реакции ДАД на ререспирацию, имеющей более значительное увеличение в группе аборигенов. При этом в ответ на пробу отмечалось значимое повышение ЧСС у всех обследуемых с меньшей динамикой в группе аборигенов.

Как показывают результаты исследования (см. рисунок), в ответ на пробу с ререспирацией отмечается более выраженная степень потребления кислорода в группе юношей с наименьшим стажем проживания в условиях Севера (0-е поколение) со снижением данного

показателя к группе аборигенов, о чем свидетельствуют самые высокие показатели ΔO_2 в 1-й группе и самые низкие у юношей 4-й группы. Аналогичная тенденция отмечена и относительно концентрации углекислого газа, где данная величина в группе представителей 0-го поколения превосходила аналогичную характеристику, выявленную у обследуемых из числа аборигенов. При этом необходимо отметить, что самые низкие значения разницы фон — проба относительно концентрации углекислого газа были зафиксированы в группе юношей-аборигенов (см. рисунок). Учитывая вышеописанные наблюдения, можно говорить о том, что, несмотря на более высокие показатели фоновых значений концентрации CO_2 и низких величин O_2 , которые прямо пропорциональны длительности проживания в условиях Севера, гипоксически-гиперкапническая проба не вызывает столь значительного увеличения концентрации углекислоты и снижения кислорода в выдыхаемом воздухе, что может являться следствием более экономного и эффективного режима метаболического обеспечения на фоне сниженного кислородного запроса организма по мере увеличения степени адаптированности к северным условиям. Необходимо отметить выраженность снижения показателя сатурации артериальной крови в ряду от 0-го поколения к аборигенам, также представленной на рисунке. Исходя из этого, можно предположить, что основные характеристики сердечно-сосудистой системы, сатурации артериальной крови и в большей степени величины газоанализа при анализе разницы фон — проба могут выступать показателем степени адаптированности к условиям Северо-Востока России.

Анализ фоновых величин показателей ВРС (см. табл. 2, 3) выявил значимо более низкие показатели RMSSD в группе 0-го поколения, что отражает сниженную активацию парасимпатической модуляции в состоянии покоя. Представители этой группы также характеризовались более низкими значениями $rNN50$ относительно группы аборигенов, что также свидетельствует о менее выраженных проявлениях активности парасимпатического звена в регуляции сердечного ритма в состоянии покоя. Необходимо отметить статистически значимо более высокие показатели индекса централизации у представителей 0-го поколения, которые, в свою очередь, свидетельствуют о преобладании центрального контура управления над автономным и в определенной степени о централизации управления ритмом сердца, что отличает эту группу от других. Статистически значимо самые низкие показатели HF-волн в состоянии покоя были зафиксированы у представителей этой же группы. Учитывая более высокие показатели высокочастотного компонента у представителей других групп из числа европеоидов с более продолжительными периодами проживания в северных условиях, а также более выраженную степень увеличения данного показателя в ответ на ререспирацию (степень увеличения которого возрастала в ряду от 0-го к 2-му поколению (в 1-й группе на 100 %, во 2-й на 124 %, в 3-й на 136 %),

можно предположить адаптивную направленность увеличения HF-составляющей спектра при проживании в северных условиях. В настоящее время дыхательные волны (HF) связывают с синусовой аритмией, суть которой состоит в обеспечении оптимальной концентрации газов в крови и оптимизации газообмена при дыхании путем сопоставления перфузии с ЧСС [20, 23, 26]. Эти выводы подтверждаются результатами, полученными при анализе расчетных индексов, отражающих соотношение ЧСС и концентрации O_2 и CO_2 в выдыхаемом воздухе как в состоянии покоя, так и на пике выполнения ререспираторной пробы (см. табл. 4). Показано, что в ряду от представителей 0-го поколения к группе аборигенов происходит их снижение, цифровые значения их соотносятся как со степенью увеличения HF-составляющей спектра в ответ на пробу, так и с их величинами в состоянии покоя. Полученные данные указывают на снижение расчетных индексов по мере увеличения степени адаптированности к Северу, что свидетельствует о повышении эффективности использования кислорода и выведения углекислого газа в соотношении с каждым сердечным циклом, что прямо пропорционально сопряжено с более высокими значениями высокочастотной компоненты сердечного ритма.

Анализ LF-составляющей спектра ритма сердца не выявил межгрупповых различий в состоянии покоя и на пике пробы, при этом испытуемые характеризовались различной степенью ответной реакции на гипоксически-гиперкапническое воздействие в зависимости от срока адаптации к Северу. Так, в группе представителей 0-го поколения в ответ на пробу с ререспирацией было выявлено снижение низкочастотной составляющей ритма сердца на 19 %, в группе юношей, относящихся к представителям 1-го поколения, — на 15 %, у обследуемых 2-го поколения на — 13 %, а у юношей из числа аборигенов снижение LF-компонента спектра находилось в пределах 21 %.

В настоящее время LF-частоты спектра кардиоритма принято рассматривать как активатор колебаний ритма артериального давления, реализуемого через барорефлекторные механизмы [10]. При повышении артериального давления афферентные импульсы от барорецепторов поступают в кардиоингибиторный и сосудодвигательный центры продолговатого мозга, при этом оказывают тормозное влияние на симпатическую активность и активирующее действие на парасимпатическую модуляцию, что приводит к снижению тонуса симпатических сосудосуживающих волокон и, в свою очередь, обуславливает снижение ЧСС [18]. Исходя из этого уменьшение абсолютной величины LF-компоненты сердечного ритма на пике ререспирации во всех группах обследуемых лиц может отражать снижение импульсации от барорецепторов и свидетельствует об активации вазомоторного тонуса, что, в свою очередь, проявляется увеличением ДАД на пике пробы, в большей степени выраженным в группе аборигенов. Важно отметить, что выявленное

увеличение ДАД прямо пропорционально снижению низкочастотной составляющей ритма. Данные изменения происходят на фоне повышения ЧСС, что может отражать дисфункцию барорефлекторного механизма снижения ЧСС при повышении артериального давления. По большей части это связано с тем, что хеморефлексы играют доминирующую роль в регулировании вентиляционных и сердечно-сосудистых автономных реакций при изменении газового состава крови [21], что является результатом комплексных механизмов взаимодействия между баро- и хеморефлексами, при этом чувствительность артериального барорефлекса обратно пропорциональна чувствительности периферического хеморефлекса [18]. Между тем гиперкапния является основным фактором, влияющим на симпатические модуляции [22]. Исходя из этого можно предположить, что угнетение барорефлекторной регуляции сердечно-сосудистой системы является результатом хеморефлекторной активации в ответ на гипоксически-гиперкапническое воздействие, вследствие которой повышается тонус симпатической нервной системы, что ведет к увеличению артериального давления, а также ЧСС. Здесь необходимо отметить, что обычно механизм повышения частоты пульса при дыхательных пробах рассматривается через гипоксемическую активацию симпатического влияния на сердечную функцию [19, 25].

У обследуемых европеоидов в зависимости от продолжительности проживания на Севере была отмечена и более выраженная тенденция снижения VLF-компонента спектра в ответ на гипоксически-гиперкапническую пробу (1-я группа снижение на 19 %, 2-я — на 30 % и 3-я — на 32 %), что, учитывая интерпретацию данного показателя, может отражать особенности энергетически-метаболический статуса организма [24].

Необходимо подчеркнуть, что в группе обследуемых аборигенов мы не отметили данной тенденции, что может объясняться иными механизмами, обеспечивающими динамику гемодинамических показателей и характеристик газоанализа при проведении пробы с ререспирацией, и, в свою очередь, обуславливать этнические особенности перестроек кардиоритма. Так, именно в этой группе не было отмечено столь выраженного увеличения высокочастотного компонента в ответ на пробу с возвратным дыханием с отсутствием значимой динамики относительно VLF-мощности. Выявленные нами особенности в перестройках кардиоритма в группе аборигенов совпадали со значительным снижением низкочастотной составляющей общего спектра (LF).

При этом менее значительное увеличение HF-составляющей ритма на пике пробы (на 80 %, тогда как в остальных группах оно варьировало от 100 до 136 %), может свидетельствовать о менее выраженной тормозной деятельности парасимпатического звена ВНС.

Таким образом, проведенные исследования выявили ряд моментов, свидетельствующих о различиях в пере-

стройках показателей сердечно-сосудистой системы, газоанализа в зависимости от срока проживания на территории Магаданской области.

В целом проведенный анализ показателей кардиоритма как в состоянии покоя, так и на пике пробы с ререспирацией вывил более низкие показатели ВСР в группе юношей с непродолжительным стажем проживания на Севере (0-е поколение), что может рассматриваться как сниженная активация парасимпатического звена. При этом увеличение активности парасимпатической модуляции на сердечный ритм как в состоянии покоя, так и при динамике в ответ на дыхательную пробу в группе 1-го и 2-го поколений может обуславливать степень адаптированности к северным условиям и являться отражением компенсаторно-приспособительных перестроек вагусной активации, направленной на обеспечение газового гомеостаза при гипоксии и гиперкапнии при увеличении срока проживания на Севере.

Показано, что при выполнении пробы с возвратным дыханием происходит активация автономного контура регуляции, о чем свидетельствует увеличение в спектре сердечного ритма высокочастотной компоненты на фоне снижения LF-составляющей, степень изменения которых прямо пропорциональна степени адаптированности к северным условиям. Данные изменения сопровождаются увеличением RMSSD и pNN50 в ответ на ререспирацию, степень выраженности которой возростала в ряду от 0-го к 2-му поколению, что однозначно свидетельствует в пользу преобладания парасимпатических влияний на физиологические функции организма, увеличивающихся от продолжительности проживания в условиях Магаданской области. Также отмечено снижение централизации управления ритмом сердца, что проявляется более высокими значениями индекса централизации как в состоянии покоя, так и на пике пробы у юношей 0-го поколения. Необходимо подчеркнуть, что данные изменения характерны лишь для юношей-европеоидов. По-видимому, столь выраженное увеличение активности парасимпатического звена ВНС, и в частности высокочастотной составляющей ритма сердца, является фактором, обеспечивающим оптимальный газообмен при выполнении пробы с ререспирацией, что находит свое подтверждение в снижении показателей ΔCO_2 , ΔO_2 в ряду от 0-го ко 2-му поколению европеоидов, а также расчетных индексов, отражающих потребление кислорода (кислородный эффект сердцебиения) и выведения углекислого газа в соотношении с каждым сердечным циклом.

Анализ перестроек показателей кардиоритма, гемодинамики и газоанализа в группе юношей-аборигенов свидетельствует о наличии этнических особенностей в поддержании функционального состояния организма в ответ на гипоксически-гиперкапническую пробу. Об этом свидетельствуют, с одной стороны, наименьшая степень увеличения высокочастотной компоненты кардиоритма, а с другой — выраженное значимое понижение низкочастотной составляющей ритма на

фоне выраженной ответной реакции со стороны показателей гемодинамики. На этнические особенности в перестройках физиологических показателей при ререспирации также указывают значения расчетных индексов газоанализа, наименьшие величины которых были зафиксированы в группе юношей-аборигенов, отражающие эффективность использования кислорода и выведения углекислого газа.

Таким образом, полученные нами данные достаточно наглядно демонстрируют тот факт, что основные характеристики сердечно-сосудистой системы, сатурации артериальной крови и в большей степени величины газообмена при анализе разницы фон — проба могут выступать показателем степени адаптированности к условиям северо-востока России. При этом наиболее специфичными, отражающими различия в перестройках изучаемых систем в ответ на ререспирацию у испытуемых четырех групп являются показатели ΔCO_2 , ΔO_2 , а также HF-, LF-, VLF-составляющие вариабельности сердечного ритма.

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН.

Аверьянова Инесса Владиславовна — ORCID 0000-0002-4511-6782; SPIN 9402-0363

Список литературы

1. Аверьянова И. В., Максимов А. Л. Состояние липидного и углеводного обмена у студентов-аборигенов и европеоидов с различными сроками проживания на территории Магаданской области // *Экология человека*. 2015. № 9. С. 44–49.
2. Агаджанян Н. А., Ермаков Н. В., Куцов Г. М. Эколого-физиологические особенности адаптивных реакций коренного и пришлого населения Эвенкии // *Физиология человека*. 1995. Т. 21, № 3. С. 106–115.
3. Агаджанян Н. А., Чижов А. Я. Гипоксические, гипоксические и гиперкапнические состояния. М.: Медицина, 2003. 96 с.
4. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В., Гаврилушкин А. П., Довгалецкий П. Я., Кукушкин Ю. А., Миронова Т. Ф., Прилуцкий Д. А., Семенов А. В., Федоров В. Ф., Флейшман А. Н., Медведев М. М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // *Вестник аритмологии*. 2001. № 24. С. 65–83.
5. Боровиков В. *Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов*. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
6. Бурых Э. А., Сороко С. И. Различия в стратегиях и возможностях адаптации человека к гипоксическому воздействию // *Физиология человека*. 2007. Т. 33, № 3. С. 63–74.
7. Дерягина Л. Е., Цыганок Т. В., Рувинова Л. Г., Гудков А. Б. Психофизиологические свойства личности и особенности регуляции сердечного ритма под влиянием трудовой деятельности // *Медицинская техника*. 2001. № 3. С. 40–44.
8. Еськов В. М., Шатрова О. И., Козлова В. В., Нагорная М. А., Филатов М. А. Состояние показателей функциональных систем организма (ФСО) учащихся представителей народов ханты // *Экологический вестник Югории*. 2005. № 2. С. 64–81.
9. Иванов А. О., Петров В. А., Безкишкий Э. Н., Гудков А. Б., Ерошенко А. Ю., Грошилин С. М. Оценка отдаленных последствий длительного непрерывного пребывания человека в аргоносодержащей гипоксической газовой среде // *Экология человека*. 2017. № 6. С. 9–13.
10. Караваев А. С., Киселев А. Р., Гриднев В. И., Боровкова Е. И., Прохоров М. Д., Посненкова М. Д., Пономаренко В. И., Безручко Б. П., Шварц В. А. Фазовый и частотный захват 0.1 Гц колебаний в ритме сердца и барорефлекторной регуляции артериального давления дыханием с линейно меняющейся частотой у здоровых лиц // *Физиология человека*. 2013. Т. 39, № 3. С. 93–104.
11. Комплекс для анализа вариабельности сердечного ритма «Варикард». Рязань: ЮИМН, 2005. 45 с.
12. Кривошеков С. Г., Балиоз Н. В., Некипелова Н. В., Капилевич Л. В. Возрастные, гендерные и индивидуально-типологические особенности реагирования на острое гипоксическое воздействие // *Физиология человека*. 2014. Т. 40, № 6. С. 34–45.
13. Максимов А. Л. Информативность температурных реакций кисти при воздействии на человека гипоксических факторов // *Физиология человека*. 2005. № 3. С. 108–117.
14. Максимов А. Л., Аверьянова И. В. Информативность показателей кардиогемодинамики и вариабельности сердечного ритма у юношей с различным уровнем гипоксически-гиперкапнической устойчивости // *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2014. № 2. С. 90–95.
15. Пономаренко В. И., Гриднев В. И., Прохоров М. Д. Синхронизация сердцебиения и ритма регуляции сосудистого тонуса с дыханием // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. 2004. № 8–9. С. 40–51.
16. Суханова И. В., Максимов А. Л., Вдовенко С. И. Особенности адаптации у юношей Магаданской области: морфофункциональные перестройки (сообщение 1) // *Экология человека*. 2013. № 8. С. 3–10.
17. Якименко М. А., Симонова Т. Г., Пичуров А. М., Татауров Ю. А. Влияние адаптации к холоду на показатели внешнего дыхания при гиперкапнии // *Физиология человека*. 1989. Т. 15, № 5. С. 148–155.
18. Berne R. M., Levy M. N. *Cardiovascular physiology*. Mosby-Year Book: Inc., St. Louis, 1997. 323 p.
19. Burtscher M., Mairer K., Wille M. Short term exposure to hypoxia for work and leisure activities in health and disease: which level of hypoxia is safe? // *Sleep Breath*. 2012. N 2. P. 435.
20. Hirsch J. A., Bishop B. Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate // *Am. J. Physiol. Heart Circulatory Physiol*. 1981. Vol. 241, N 4. P. 620–629.
21. Lugliani B. J., Seard C. W., Wasserman K. Effect of bilateral carotid-body resection on ventilatory control at rest and during exercise in man // *N. Engl. J. Med*. 1971. N 285. P. 1105–1111.
22. Ponikowski P., Chua T. P., Piepoli M., Ondusova D., Webb-Peploe K., Harrington D., Anker S. D., Volterrani M., Colombo R., Mazzuero G., Giordano A., Coats A. J. S. Augmented peripheral chemosensitivity as a potential input to baroreflex impairment and autonomic imbalance in chronic heart failure // *Circulation*. 1997. N 96. P. 2586–2594.
23. Shamailov B. T., Paton J. Evaluating the physiological significance of respiratory sinus arrhythmia: looking beyond ventilation-perfusion efficiency // *J. Physiol*. 2012. N 590 (8). P. 1989–2008.
24. Stein P. K., Bosner M., Kleiger R. E., Conger E. M. Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone // *Am Heart J*. 1994. N 127. P. 1376–1381.

25. Steinback C. D., Salzer D., Medeiros P. J., Kowalchuk J., Shoemaker J. K. Hypercapnic vs. hypoxic control of cardiovascular, cardiovagal, and sympathetic function // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2009. N 2. P. 398–402.

26. Yasuma F., Hayano J. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeatsynchronize with respiratory rhythm? // *Chest J.* 2004. N 125 (2). P. 683–690.

References

1. Averyanova I. V., Maksimov A. L. Lipid and carbohydrate metabolism observed in aboriginal and european students having different terms of residing in territory of Magadan region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 9, pp. 44-49. [In Russian]

2. Agadzhanian N. A., Ermakov N. V., Kutsov G. M. Ecological and physiological features of adaptive reactions of indigenous and alien population of Evenkia. *Fiziologiya cheloveka.* 1995, 21 (3), pp. 106-115. [In Russian]

3. Agadzhanian N. A., Chizhov A. Ya. Hypoxia, hypocapnia and hypercapnia states: study guide. Moscow, Meditsina Publ., 2003, 96 p. [In Russian]

4. Baevskiy R. M., Ivanov G. G., Chireykin L. V., Gavrilushkin A. P., Dovgalevskiy P. Ya., Kukushkin Yu. A., Mironova T. F., Prilutskiy D. A., Semenov A. V., Fedorov V. F., Fleishman A. N., Medvedev M. M. Analysis of heart rate variability when using different electrocardiographic systems (methodical recommendations. *Vestnik aritmologii* [Arrhythmology Bulletin]. 2001, 24, pp. 65-83. [In Russian]

5. Borovikov V. *Statistica. The art of analyzing data on a computer: for professionals.* Saint Petersburg, Piter Publ., 2003, 688 p. [In Russian]

6. Burykh E. A., Soroko S. I. Differences in the strategies and potentials of human adaptation to hypoxia. *Fiziologiya cheloveka.* 2007, 33 (3), pp. 309-319. [In Russian]

7. Deryagina L. E., Tsyganok T. V., Ruvina L. G., Gudkov A. B. Psychophysiological traits of personality and the specific features of heart rhythm regulation under the influence of occupational activities. *Meditsinskaya Tekhnika.* 2001, 3, pp. 40-44. [In Russian]

8. Eskov V. M., Shatrova O. I., Kozlova V. V., Nagornaya M. A., Filatov M. A. State of functional state indices in students representatives of the people of Khanty. *Ekologicheskii vestnik Yugorii* [Ecological Bulletin Ugoria]. 2005, 2, pp. 64-81. [In Russian]

9. Ivanov A. O., Petrov V. A., Bezkishkiy E. N., Gudkov A. B., Eroshenko A. Yu., Groshilin S. M. Evaluation of the long-term effects of human's continuous stay in the argon containing hypoxic gaseous environment. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 6, pp. 9-13. [In Russian]

10. Karavaev A. S., Kiselev A. R., Gridnev V. I., Borovkova E. I., Prokhorov M. D., Posnenkova O. M., Ponomarenko V. I., Bezruchko B. P., Shvartz V. A. Phase and Frequency Locking of 0.1 Hz Oscillations in Heart Rhythm and Baroreflex Control of Arterial Pressure by Respiration with Linearly Varying Frequency in Healthy Subjects. *Fiziologiya cheloveka.* 2013, 39 (3), pp. 93-104. [In Russian]

11. *Komplex dlya analiza variabelnosti serdechnogo ritma "Varikard"* [The "Varikard" complex unit for heart rate variability analysis]. Ryazan, 2005, 45 p.

12. Krivoshechekov S. G., Balioz N. V., Nekipelova N. V., Kapilevich L. V. Age, gender, and individually-typological features of reaction to sharp hypoxic influence. *Fiziologiya cheloveka.* 2014, 40 (6), pp. 34-45. [In Russian]

13. Maximov A. L. Informative value of human hand

temperature reactions under hypoxia factors. *Fiziologiya cheloveka.* 2005, 3, pp. 108-117. [In Russian]

14. Maximov A. L., Averyanova I. V. Informative value of cardiohemodynamics and heart rate variability indices observed in young males with different levels of hypoxia-hypercapnia resistance. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk medico-biological journal]. 2014, 2, pp. 90-95. [In Russian]

15. Ponomarenko V. I., Gridnev V. I., Prokhorov M. D. Synchronization of heartbeat and rhythm of vascular tone regulation with breathing. *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika* [Biomedical technologies and radioelectronics]. 2004, 8-9, pp. 40-51. [In Russian]

16. Sukhanova I. V., Maximov A. L., Vdovenko S. I. Peculiarities of adaptation observed in young male residents of Magadan region: morphofunctional changes (report 1). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 8, pp. 3-10. [In Russian]

17. Yakimenko M. A., Simonova T. G., Pichkurov A. M., Tataurov Yu. A. The effect of adaptation to cold on the indicators of external respiration during hypercapnia. *Fiziologiya cheloveka.* 1989, 15 (5), pp. 148-155. [In Russian]

18. Berne R. M., Levy M. N. *Cardiovascular physiology.* Mosby-Year Book, Inc., St. Louis, 1997, 323 p.

19. Burtscher M., Mairer K., Wille M. Short term exposure to hypoxia for work and leisure activities in health and disease: which level of hypoxia is safe? *Sleep Breath.* 2012, 2, p. 435.

20. Hirsch J. A., Bishop B. Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *Am. J. Physiol. Heart Circulatory Physiol.* 1981, 241 (4), pp. 620-629.

21. Lugliani B. J., Seard C. W., Wasserman K. Effect of bilateral carotid-body resection on ventilatory control at rest and during exercise in man. *N. Engl. J. Med.* 1971, 285, pp. 1105-1111.

22. Ponikowski P., Chua T. P., Piepoli M., Ondusova D., Webb-Peploe K., Harrington D., Anker S. D., Volterrani M., Colombo R., Mazzuero G., Giordano A., Coats A. J. S. Augmented peripheral chemosensitivity as a potential input to baroreflex impairment and autonomic imbalance in chronic heart failure. *Circulation.* 1997, 96, pp. 2586-2594.

23. Shamailov B. T., Paton J. Evaluating the physiological significance of respiratory sinus arrhythmia: looking beyond ventilation-perfusion efficiency. *J. Physiol.* 2012, 590 (8), pp. 1989-2008.

24. Stein P. K., Bosner M., Kleiger R. E., Conger E. M. Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *Am Heart J.* 1994, 127, pp. 1376-1381.

25. Steinback C. D., Salzer D., Medeiros P. J., Kowalchuk J., Shoemaker J. K. Hypercapnic vs. hypoxic control of cardiovascular, cardiovagal, and sympathetic function. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2009, 2, pp. 398-402.

26. Yasuma F., Hayano J. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeatsynchronize with respiratory rhythm? *Chest J.* 2004, 125 (2), pp. 683-690.

Контактная информация:

Аверьянова Инесса Владиславовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний ФГБУН «Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук»

Адрес: 685000, г. Магадан, ул. Карла Маркса, д. 24

E-mail: Inessa1382@mail.ru

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЕВОЖНОСТИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ДЕТСКОМ ВОЗРАСТЕ (ОБЗОР)

© 2019 г. ^{1,2}А. В. Грибанов, ¹И. С. Депутат, ¹А. Н. Нехорошкова, ¹И. С. Кожевникова, ¹М. Н. Панков, ¹Ю. А. Иорданова, ³Л. Ф. Старцева, ¹И. В. Иконникова

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», г. Архангельск; ²ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск; ³ФБУ «Государственный институт лекарственных средств и надлежащих практик», г. Москва

В статье представлены взгляды отечественных и зарубежных ученых на взаимоотношения тревоги и интеллектуальной деятельности. Описаны взаимосвязи и зависимости интеллектуальной деятельности и уровня тревоги. Тревожность – это субъективное проявление неблагоприятия взаимодействия личности с окружающей средой. Оптимальный уровень тревожности может оказывать позитивное влияние на интеллектуальную деятельность и способствовать мобилизации активности и достижению наилучшего результата. Высокий уровень тревожности будет мешать нормальному развитию адаптационных процессов. Интеллект как способность рассматривается в качестве самостоятельной реальности на основе критерия регуляции поведения. Способом внутренней организации целостной системы интеллекта являются межфункциональные связи разноуровневых психических функций, (память, мышление, внимание). Если рассматривать интеллект как способность, то необходимо говорить об адаптационном значении интеллекта для человека. Высокая тревожность может мешать формированию адаптивного поведения и приводить к нарушению поведенческой интеграции, снижать возможности самоактуализации. У детей высокая тревожность препятствует эффективному школьному обучению, снижая способность к концентрации внимания и умственной работоспособности, ухудшая воспроизведение информации и ассоциативное мышление. Тревожность может быть причиной возникновения школьных неврозов, неумения ребенка адаптироваться в новой ситуации, затруднения интеллектуальной деятельности, снижения умственной работоспособности, трудностей в общении и установлении межличностных отношений с окружающими людьми. Тревожность является серьезным фактором риска для развития психосоматических отклонений и нередко служит причиной возникновения стрессовых состояний. Результаты представленных исследований подтверждают данные о том, что высокая тревожность оказывает дезорганизующее влияние на результативность интеллектуальной деятельности человека. В этой связи изучение природы тревожности и ее влияния на интеллектуальное и личностное развитие ребенка приобретает особую значимость и актуальность.

Ключевые слова: тревожность, интеллект, головной мозг, дети

PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANXIETY AND INTELLECTUAL ACTIVITY IN CHILDHOOD (REVIEW)

^{1,2}A. V. Gribanov, ¹I. S. Deputat, ¹A. N. Nekhoroshkova, ¹I. S. Kozhevnikova, ¹M. N. Pankov, ¹Yu. A. Iordanova, ³L. F. Startseva, ¹I. V. Ikonnikova

¹Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia; ²Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia; ³State Institute of Medicines and Good Practices, Moscow, Russia

The article presents the views of domestic and foreign scientists on the relationship of anxiety and intellectual activity. The interrelations and dependences of intellectual activity on the level of anxiety have been described. Anxiety is a subjective manifestation of the unfavorable interaction of the individual with the environment. The optimal level of anxiety can have a positive impact and help to mobilize activity and achieve the best result. The high level of anxiety will prevent the normal development of adaptive processes. Intelligence as a capacity is considered as an independent reality based on the criterion of behavior regulation. The method of internal organization of an integrated system of intelligence is a cross-functional communication of mental functions of different levels (memory, thinking, attention). If we consider intelligence as certain ability, it is necessary to talk about the adaptive value of intelligence for a human. High anxiety can prevent formation of adaptive behavior and lead to a disturbance of behavioral integration, reduce the possibility of self-actualization. High anxiety in children prevents effective schooling, reducing the ability to concentrate and mental performance, worsening the information reproduction and associative thinking. Anxiety can cause school neuroses, failure to adapt to a new situation, difficulties in intellectual activity, reduce mental performance, and cause difficulties in communication and establishing interpersonal relations with other people. Anxiety is a serious risk factor for the development of psychosomatic disorders and often causes stress. The results of the studies prove the data that high anxiety has a disruptive influence on the effectiveness of human intellectual activity. In this regard, the study of the anxiety nature and its impact on the intellectual and personal development of the child is of particular importance and relevance.

Key words: anxiety, intelligence, brain, children

Библиографическая ссылка:

Грибанов А. В., Депутат И. С., Нехорошкова А. Н., Кожевникова И. С., Панков М. Н., Иорданова Ю. А., Старцева Л. Ф., Иконникова И. В. Психопфизиологическая характеристика тревожности и интеллектуальной деятельности в детском возрасте (обзор) // Экология человека. 2019. № 9. С. 50–58.

Griбанov A. V., Deputat I. S., Nekhoroshkova A. N., Kozhevnikova I. S., Pankov M. N., Iordanova Yu. A., Startseva L. F., Ikonnikova I. V. Psychophysiological Characteristics of Anxiety and Intellectual Activity in Childhood (Review). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 9, pp. 50-58.

Взаимосвязь тревожности и интеллекта анализируется в работах многих авторов, при этом данные по этому вопросу представлены в научной литературе весьма противоречиво и неоднозначно [1, 12, 18]. Чаще всего тревожность оценивается в ее взаимосвязи с самооценкой, мотивацией, когнитивными стилями и другими структурными компонентами личности [13, 17, 27].

Тревожность — один из основных компонентов, входящих в структуру индивидуальных различий, это субъективное проявление неблагополучия взаимодействия личности с окружающей средой. С одной стороны, оптимальный уровень тревожности является естественным и необходимым условием активности личности. Так, наличие тревожности может оказывать позитивное влияние и способствовать мобилизации активности и достижению наилучшего результата. В этом случае нормальный или оптимальный уровень тревожности будет необходимым для осуществления интеллектуальной и любой другой деятельности. Оптимальная ситуативная тревожность обеспечивает надежное, стабильное и качественное выполнение деятельности с достижением доступных для человека результатов. Тревожность здесь выступает как одно из условий прогнозирования трудностей при осуществлении деятельности. С другой стороны, высокий или слишком низкий уровень тревожности (ее отсутствие) будут мешать нормальному развитию адаптационных процессов [4, 15, 29].

Интеллект как свойство психики субъекта, как общая способность является относительно автономным интегральным образованием, обладающим динамической устойчивостью, непрерывностью, регулярностью, способным к саморазвитию [1]. Интеллект как способность рассматривается в качестве самостоятельной реальности на основе критерия регуляции поведения. Способом внутренней организации целостной системы интеллекта являются межфункциональные связи разноуровневых психических функций, среди которых в характеристике интеллекта выделяются прежде всего память, мышление, внимание [19]. Если рассматривать интеллект как определенную способность, то необходимо говорить об адаптационном значении интеллекта для человека. Проявление интеллекта предполагает активность субъекта и наличие у него саморегуляции. Наряду с работоспособностью активность и саморегуляция являются базовыми факторами интеллектуальных способностей. Умственная активность может выступать основой интеллекта, а саморегуляция выступает как прикладной компонент, обеспечивающий необходимый для решения задачи уровень активности [7, 44]. При этом высокая тревожность может мешать формированию адаптивного поведения и приводить к нарушению поведенческой интеграции. Чем выше уровень тревожности, тем ниже возможности к самоактуализации [33].

Интеллект — это универсальная адаптивность, он определяется в контексте анализа поведения, то есть особого взаимодействия (обмена) между внешним

миром и субъектом. Назначение интеллекта — структурирование отношений между средой и организмом. Модель интеллекта включает его функциональные свойства и факторы. При этом тревожность как устойчивое личностное образование входит в группу факторов, влияющих на работу интеллекта и результативность интеллектуальной деятельности.

В литературе имеется большое количество данных о негативном влиянии тревожности на интеллектуальную продуктивность [12, 16]. Установлена обратно пропорциональная связь между результатами тестов интеллекта и уровнем тревожности как во взрослом, так и в детском возрасте, обнаружены отрицательные корреляции между тревожностью и интеллектом, подтверждающие, что чем выше тревожность, тем ниже интеллект [13, 35].

В то же время общеизвестно: чем выше уровень тревоги, тем более успешно выполняются тестовые задания, характеризующие интеллект, а высокая личностная тревожность находится в прямой зависимости от высокого интеллекта [34, 49].

Одним из основных источников тревожности считают также и некоторые свойства темперамента, в первую очередь эмоциональную чувствительность, при этом ряд авторов определяют темперамент как главную причину тревожности [3, 9].

В тесной связи с темпераментом рассматриваются также когнитивные стили и акцентуации характера. В ряде работ тревожность рассматривается как свойство темперамента, включающее в себя высокий нейротизм. В этом случае тревожность выступает показателем слабости нервной системы, проявляющейся в излишнем эмоциональном реагировании в различных жизненных ситуациях [5, 8, 27, 37].

Эффективность интеллектуальной деятельности определяется устойчивой внутренней мотивацией, нацеленностью на достижение успеха, целеполаганием. Снижение эффективности интеллектуальной деятельности связано с нарушением этой системы на уровне любого из входящих в него структурных компонентов. Среди факторов, которые могут оказать неблагоприятное влияние на интеллектуальную деятельность, большое значение имеет высокая тревожность. Высокая тревожность оказывает дезорганизующее действие: она снижает мотивацию к успеху, предопределяет нерациональный выбор целей и путей их достижения, отрицательно влияет на умственную деятельность [19, 25, 38, 40].

Имеется некоторое количество исследований, в которых сопоставляются результаты, полученные при тестировании испытуемых с помощью тестов Г. Айзенка и Д. Векслера [13, 45, 48].

В одном из исследований установлено, что экстраверты лучше справляются с невербальной частью теста Д. Векслера, а интроверты с вербальной, а различий в уровне развития общего интеллекта не выявлено. Результаты объяснялись таким образом, что уровень активированности таламокортикальной системы определяет не только экстраверсию — ин-

троверсию, но и различия в интеллектуальном развитии. Экстраверты стремятся повысить исходный уровень активации до оптимума и, взаимодействуя со средой, быстрее приобретают моторные навыки и координирующие их интеллектуальные операции. Интроверты вырабатывают классические условные рефлексы с большей скоростью, они должны лучше решать задачи, требующие сенсорного научения. Исходя из этого у экстравертов должен быть лучше развит невербальный интеллект, а у интровертов — вербальный.

По данным Г. Айзенка, различия в успешности выполнения субтестов шкалы Векслера между интровертами и экстравертами весьма незначительны. При этом уровень экстраверсии слабо коррелирует с интеллектом. Эти результаты объяснялись более спокойной реакцией экстравертов на ситуацию тестирования (исходя из представлений самого Г. Айзенка о природе экстраверсии и интроверсии) [13, 19]. Существуют и противоположные результаты, указывающие на то, что более оптимистичные и жизнерадостные студенты лучше решают вербальные субтесты, а пессимистичные лучше справляются с невербальными заданиями [8, 33, 46].

Выявлена достоверная связь между экстраверсией и продуктивностью. Экстраверты характеризуются большей быстротой, меньшей аккуратностью и меньшей рефлексивностью (особенно в условиях недостатка информации). При нарастании дефицита информации экстраверты ускоряют свои действия и становятся менее рефлексивными, а интроверты наоборот. Подтвердилось предположение Г. Айзенка о том, что интроверты должны сильнее реагировать на дефицит времени, чем экстраверты, и при ограничении времени тестирования экстраверты лучше справились с субтестом «Общая осведомленность», а интроверты — с субтестом «Шифровка» [13]. По Г. Айзенку, экстраверты выполняют все задания быстрее интровертов, но менее аккуратно.

Изучение личностной тревожности является важным условием для понимания особенностей эмоционального сопровождения интеллектуальной деятельности. Тревожность как энергетический аспект активности субъекта представляет собой одно из проявлений важнейшей черты темперамента — эмоциональную нестабильность. Интеллект выступает как информационный аспект активности субъекта. В тревожности отображается также интенсивность эмоционально-волевых процессов. Высокотревожные люди более чувствительны к эмоциональному стрессу, с трудом выходят из состояния фрустрации, при этом у них часто отмечаются эмоциональные нарушения невротического характера [32, 47].

Представляет интерес сопоставление показателей тревожности с показателями умственной продуктивности (по тесту Р. Кэттелла) [21]. В результате проведенного факторного анализа было выявлено, что соотношение показателей интеллекта и тревожности тяготеет, с одной стороны, к проявлению разнонаправ-

ленных тенденций, а с другой — к проявлению однонаправленных изменений. Из этого следует, что по мере повышения значений энергетического фактора (к которому относится уровень активации и связанная с этим степень тревожности) интеллектуальная продуктивность повышается, затем, после достижения определенного оптимума, начинает снижаться. Подобные противоречивые данные авторы связывают с личностными свойствами более высокого уровня, а именно — со столкновением мотивов.

В рамках психофизиологии индивидуальные различия в показателях интеллектуального развития объясняются действием ряда физиологических факторов, и эти различия в значительной степени обусловлены факторами генотипа, влияющими на стабильность и изменчивость показателей психометрического интеллекта [20, 37, 38]. Наиболее последовательную позицию в теоретическом плане здесь занимает Г. Айзенк. Он рассматривает биологический интеллект как генетически детерминированную биологическую базу когнитивного функционирования и всех его индивидуальных различий [13, 38]. Биологический интеллект, возникая на основе нейрофизиологических и биохимических факторов, непосредственно связан с деятельностью коры больших полушарий.

В последующих исследованиях были сделаны выводы о связи интеллектуальных способностей со свойствами темперамента на уровне биологических основ и их психических проявлений и выделены следующие характеристики: общая работоспособность, непосредственный и опосредованный типы активности, произвольный и произвольный типы саморегуляции [1, 23, 36].

В основе таких исследований лежат взгляды Б. Г. Ананьева [1], который отмечал, что способом внутренней организации целостной системы интеллекта являются межфункциональные связи разноуровневых психофизиологических функций, среди которых в характеристике интеллекта выделяются прежде всего память, мышление, внимание. Интеллект определялся как многоуровневая организация познавательных сил, включающая психофизиологические процессы, состояния и свойства личности.

При этом психофизиологической основой интеллекта выступают процессы метаболизма (интенсивность обменных процессов, влияющая на вегетативную деятельность и на нейродинамику мозга) [10, 16]. В теоретической схеме анализа структуры развития интеллекта он выделил базовые компоненты интеллектуальной деятельности, в частности, выдвинул положение о тройном составе (функциональном, операциональном и мотивационном) всех психических процессов и интеллекта в целом. Б. Г. Ананьев указывает, что развитие интеллекта связано с потреблением энергии, а зрелый интеллект способен генерировать энергию.

Эта теория в дальнейшем была поддержана экспериментальными исследованиями [34, 50], в результате которых сделаны выводы о том, что существование

интеллектуальной деятельности невозможно без протекания аккомпанирующих психофизиологических процессов и оптимального функционирования блока энергообеспечения. Успешность деятельности человека рассматривается во взаимозависимости с уровнем активации по закону Йеркса – Додсона: оптимальный уровень активации равен продуктивности умственной деятельности.

Актуализация мотивации стремления к успеху в условиях эксперимента связана с усилением внутриполушарных связей в левом полушарии. При актуализации мотивации избегания неудачи уровень корковой синхронизации связан с уровнем психометрического интеллекта. Наследственная обусловленность взаимосвязи показателей интеллекта и амплитудно-временных характеристик компонента P300 наиболее высока во фронтальной области. Индивидуальные различия по уровню психометрического интеллекта в целом и отдельным его составляющим имеют существенную генетическую обусловленность [19, 22].

При сопоставлении уровней психометрического интеллекта и мотивации достижения было выявлено, что у обследуемых с высоким уровнем психометрического интеллекта преобладает мотивация стремления к успеху и, наоборот, у обследуемых с низким уровнем психометрического интеллекта наблюдается преобладание мотивации избегания неудачи [13].

Исходя из закона Йеркса – Додсона, высокий уровень тревожности повышает исходный уровень возбуждения в начале интеллектуальной деятельности и в дальнейшем влияет на его увеличение в процессе выполнения заданий. В результате происходит быстрое достижение и превышение оптимума мотивации, приводящее к снижению результатов деятельности в условиях, способствующих усилению возбуждения. Влияние тревожности на деятельность субъекта через мотивы происходит за счет побудительной силы самой тревожности, которая подменяет мотивы деятельности, сама выступая как мотив, имеющий достаточно привычные формы его реализации.

По А. Анастаси, важен «баланс» между слабой и сильной тревожностью. Индивидам с невысоким уровнем тревожности благоприятны тестовые условия, вызывающие состояние ситуативной тревоги, в то время как людям, имеющим высокий уровень тревожности, лучше выполнять интеллектуальные задания в более спокойных условиях. Интеллект может способствовать снижению уровня тревожности, обеспечивая многомерное видение проблемной ситуации с широким спектром вариантов выхода из нее [29–31]. Однако высокая тревожность выступает и фактором риска возникновения неврозов, которые являются классическим вариантом «информационной болезни», а информация выступает в качестве основного средства лечения. Успешная деятельность в этом случае может защитить человека от патогенного информационного дефицита, а интеллект является залогом ее продуктивности.

Как уже упоминалось выше, интеллект – глобальная способность разумно действовать, рационально

мыслить и хорошо справляться с жизненными обстоятельствами, развитый интеллект проявляется в универсальной адаптивности, в достижении «равновесия» индивида со средой. Чем выше уровень биологического интеллекта, тем больше шансов у организма (как в детском, так и во взрослом возрасте) справиться с информационными потоками и сохранить здоровье [19]. Имеются результаты исследований, в которых определено, что для детей с высоким интеллектом свойственна более высокая активность и жизнерадостность, меньшая тревожность [33].

Но в то же время интеллект постоянно заставляет человека делать сложный выбор в различных ситуациях, исключая зачастую уверенность в правильности принимаемого решения. Предвосхищение будущих событий вызывает эмоциональную реакцию на них еще до того, как они происходят, тем самым постоянно поддерживается напряженное эмоциональное состояние. Следствием этого является хроническое чувство тревожности.

Особую актуальность в настоящее время приобретает вопрос изучения влияния тревожности на эффективность школьного обучения, на здоровье и развитие учащихся в целом, так как известно, что воздействие неблагоприятных факторов в значительной степени опосредуется личностными особенностями школьников, в первую очередь – уровнем тревожности. Высокие психоэмоциональные и учебные нагрузки, чрезмерная интенсификация учебного процесса, несоответствие методик и технологий обучения индивидуальным и функциональным возможностям особенно негативно отражаются на детях младшего школьного возраста [14, 28, 40]. Специалисты отмечают, что количество детей с высоким уровнем тревожности среди учащихся младших классов в последнее десятилетие увеличилось и продолжает возрастать. Установлено, что высокая тревожность препятствует эффективному школьному обучению, снижает концентрацию внимания и умственную работоспособность, ухудшает воспроизведение информации и ассоциативное мышление [6].

С тревожностью могут быть связаны причины возникновения школьных неврозов, неумение ребенка адаптироваться в новой ситуации, затруднения интеллектуальной деятельности, снижение умственной работоспособности, трудности в общении и установлении межличностных отношений с окружающими людьми. Состояние беспокойства и тревоги может быть вызвано социальным окружением – обстановкой в семье, школе. Тревожность является серьезным фактором риска для развития психосоматических отклонений и нередко служит причиной возникновения стрессовых состояний [2, 32].

Дети с высоким уровнем тревожности показывают хорошие результаты в интеллектуальной и сенсомоторной деятельности на базе положительного мотивационного подкрепления. Дети с низким уровнем тревожности показывают наилучшие результаты на базе собственной мотивации, и внешнее эмоциональ-

ное подкрепление в ряде случаев приводит к снижению продуктивности выполнения задания. Кроме того, было выявлено отсутствие связи между сформированностью у школьников социального интеллекта и уровнем тревожности [18, 23, 50].

Часто тревожность изучается как устойчивое новообразование, негативным образом влияющее на протекание психических процессов и на многие личностные характеристики ребенка. Имеются данные о взаимосвязи тревожности и самостоятельности в познавательной деятельности у младших школьников. Один из вариантов эксперимента предполагал следующее: детям с разным уровнем тревожности предлагалось запомнить и воспроизвести серии из различных словосочетаний при разных условиях: без использования каких-либо средств для запоминания, с использованием данного средства и с использованием разных способов запоминания для разных словосочетаний (то есть с осуществлением самостоятельного выбора между различными способами). Было выявлено влияние тревожности на самостоятельность, особенно в ситуации выбора рационального способа решения задач. В стрессогенной экспериментальной ситуации эффективность воспроизведения у тревожных детей оказалась ниже по сравнению с детьми с низкой тревожностью, а использование нескольких способов запоминания не повышало эффективность выполнения заданий тревожными детьми.

В целом, исследователи сходятся в выводах о том, что повышенная тревожность отрицательно влияет на успешность работы в учебных ситуациях, требующих проявления самостоятельности даже при сформированной полной ориентировочной основе действий. Ситуативная тревожность минимизируется при высоком уровне сформированности способов выполнения познавательного действия, а личностная тревожность практически не изменяется [11, 22, 24].

В исследовании О. Б. Гилевой [8] проведен сравнительный анализ возрастной динамики показателей времени реакции, тревожности и темперамента в структуре индивидуальности у детей школьного возраста. При сравнении показателей времени реакции и тревожности выявлено, что академически наиболее успешные школьники переходят на следующий уровень развития раньше своих менее успешных сверстников. Исходя из динамики времени реакции, развитие наиболее успешных школьников характеризуется более ранним развитием рефлексивной деятельности, но более поздними изменениями эмоциональной сферы, в частности более поздним подъемом уровня тревожности. По мнению автора, такой путь развития более «выгоден» для ребенка, поскольку пик тревожности приходится на более поздние сроки, когда у ребенка в большей степени сформированы механизмы самоконтроля и регуляции поведения. Кроме того, определено, что школьники, наиболее успешные академически, в подростковом возрасте демонстрируют достоверно более низкий

уровень тревожности по сравнению со своими менее успешными сверстниками.

В ряде исследований выявлено, что чем выше уровень тревожности, тем ниже успеваемость и показатели интеллектуального уровня. При этом отмечается, что в ряде случаев поддержание у отдельных школьников тревожности на оптимальном для них уровне может положительно влиять на продуктивность их интеллектуальной деятельности [22, 26, 36]. В исследованиях тревоги у подростков с легкими интеллектуальными нарушениями показано, что у тревожных подростков самооценка и оценка окружающих не совпадают. Самооценка занижается, несмотря на хорошее отношение сверстников, что вызывает увеличение тревоги при социальных взаимодействиях [41]. Коррекция когнитивного восприятия у таких подростков уменьшает симптомы социальной тревожности [42].

Связь между социальной тревогой и предвзятыми интерпретациями у подростков с легкими нарушениями интеллекта показана в другом исследовании [39], где у 631 подростка с легкими нарушениями интеллекта был измерен уровень социальной тревожности. Было оценено, как они интерпретируют неоднозначные ситуации: подростки с более высоким уровнем социальной тревожности интерпретировали неоднозначные сценарии как более негативные, чем подростки с более низкой социальной тревожностью. Кроме того, это негативное толкование было характерно именно для социальных ситуаций. Социальная тревога была связана только с неоднозначными сценариями, связанными с социальной тревогой, но не с другими сценариями.

В исследованиях тревоги, связанной с дискалькулией, показано, что высокая тревога снижает уровень восприятия математического материала. У детей с дискалькулией, сочетающейся с высоким уровнем тревожности, уменьшен объем миндалины, изменена структура областей мозга, связанных с обработкой страха и тревоги [43]. Также показано, что тревога, связанная с математическими заданиями, оказывает более выраженное влияние на математические задачи, требующие большего количества ресурсов обработки, в отличие от простых арифметических задач, а дети с более высоким уровнем рабочей памяти более уязвимы к воздействиям тревоги [36].

Собственные исследования показали, что время, затрачиваемое на решение заданий теста интеллекта Р. Кеттелла, у детей с высокой тревожностью несколько меньше, чем у детей контрольной группы. Количество ошибочных ответов тревожных детей достоверно выше, а по уровню интеллекта они характеризуются более низкими показателями, чем их сверстники с нормальным уровнем тревожности. Вероятно, высокотревожные школьники были склонны воспринимать обстановку исследования, в частности ограничение времени решения теста, как угрожающую, что побуждало их реагировать на нее тревожным состоянием и повышением эмоциональной активации, приводя в

итоге к непродуктивной напряженности. При этом второе, более важное, но одновременно и более трудное условие — решать задания правильно, а не угадывать вариант ответа — отошло на второй план. По нашему мнению, именно формирование состояния непродуктивной напряженности, характерное для тревожных детей при ограничении времени решения заданий и приводит к неэффективному выполнению ими теста интеллекта Р. Кеттела. Кроме того, ошибки при выполнении теста могут быть связаны с неправильным принятием решения в процессе выбора, что, в свою очередь, может быть обусловлено как нарушением непосредственно самих когнитивных процессов, так и проблемами в регуляции психофизиологических процессов, обеспечивающих когнитивную деятельность. Эти данные подтверждают дезорганизующее влияние высокой тревожности на интеллектуальную деятельность, процесс мышления, а также активационные процессы, осуществляющие регуляцию и контроль за выполнением произвольной деятельности [21].

В целом результаты проведенного нами исследования подтверждают имеющиеся в литературе данные о том, что высокая тревожность оказывает дезорганизующее влияние на результативность интеллектуальной деятельности человека. В этой связи, изучение природы тревожности и ее влияния на интеллектуальное и личностное развитие ребенка является крайне значимым и актуальным.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Архангельской области в рамках научного проекта № 18-415-292004.

Авторство

Грибанову А. В., Депутат И. С., Нехорошковой А. Н., Кожевниковой И. С. принадлежит идея статьи, они внесли существенный вклад в проведение теоретического исследования, в анализ и интерпретацию данных, подготовили окончательный вариант статьи; Панков М. Н., Иорданова Ю. А., Старцева Л. Ф. внесли существенный вклад в проведение теоретического исследования, участвовали в анализе и интерпретации данных, подготовке статьи; Иконникова И. В. участвовала в анализе и интерпретации данных, внесла существенный вклад в подготовку статьи к печати, оформление списка литературы.

Грибанов Анатолий Владимирович — SPIN 2788-8167, ORCID 0000-0002-4714-6408

Депутат Ирина Сергеевна — SPIN 1358-8087

Кожевникова Ирина Сергеевна — SPIN 2441-2363

Панков Михаил Николаевич — SPIN 6341-9324

Иорданова Юлия Анатольевна — SPIN 8538-2011

Старцева Лариса Федоровна — SPIN 6564-7783

Иконникова Ирина Викторовна — SPIN 5203-8390.

Список литературы

1. *Ананьев Б. Г.* Проблемы комплексного изучения развития интеллекта и личности // *Человек и общество. Проблемы интеллектуального и культурного развития студенчества.* 1973. Вып. 13. С. 3–7.
2. *Астапов В. М., Малкова Е. Е.* Тревожные расстройства в детском и подростковом возрасте. Теория и практика. М.: Модэк, 2011. 368 с.

3. *Банайтис Н. Г.* Исследование тревожности у студентов-первокурсников сельской местности в условиях адаптации к обучению в вузе // *Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования.* 2016. № 4. С. 161–174.

4. *Барсукова Е. В., Гусейнова Э. Г.* Реактивная тревожность — естественное или приобретенное состояние организма // *Современная педагогика.* 2016. № 10 (47). С. 73–78.

5. *Бескаравайный Е. Б., Гудков А. Б., Белозёров С. П., Бескаравайная А. В.* Психомоторные реакции военнослужащих подразделений специального назначения в процессе выполнения служебно-боевых задач // *Экология человека.* 2014. № 4. С. 52–59.

6. *Викторова В. В.* Тревожность как сопутствующий фактор у детей младшего школьного возраста с синдромом дефицита внимания и гиперактивностью: автореф. дис. ... канд. психол. наук. Москва, 2010. 36 с.

7. *Воробьева Е. В.* Взаимосвязь параметров общего интеллекта и мотивации достижения // *Северо-Кавказский психологический вестник.* 2009. № 7/3. С. 25–33.

8. *Гилева О. Б.* Психофизиологические основы успешности учебной деятельности: монография / ФГБОУ ВПО «Уральский гос. ун-т путей сообщ.». Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2012. 271 с.

9. *Гимаева Р. М., Чепчугова В. В.* Влияние уровня тревожности на мотивацию деятельности военнослужащих по призыву, на примере военнослужащих войсковой части г. Владивостока // *Научно-методический электронный журнал «Концепт».* 2016. Т. 17. С. 296–303. URL: <http://e-koncept.ru/2016/46236.htm> (дата обращения: 12.02.2019)

10. *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.

11. *Грибанов А. В., Панков М. Н., Депутат И. С., Нехорошкова А. Н., Старцева Л. Ф., Кожевникова И. С.* Нейрофизиологические подходы к оценке тревожности у детей (обзор) // *Современные проблемы науки и образования.* 2018. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=28363> (дата обращения: 13.02.2019).

12. *Грибкова О. В.* Взаимосвязь личностной тревожности и эмоционального интеллекта у студентов младших курсов гуманитарных специальностей // *Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия: Психология.* 2012. № 1 (11). С. 3–8.

13. *Григорьев С. А.* Взаимосвязь эмоционального интеллекта и тревожности у студентов-психологов // *Известия высших учебных заведений. Уральский регион.* 2016. № 2. С. 106–118.

14. *Детская поведенческая неврология: Руководство для врачей / под ред. Л. С. Чутко.* СПб.: Наука, 2009. 288 с.

15. *Кириллина С. А.* Социально-психологический анализ детерминанты переживаний тревоги у подростков // *Национальный психологический журнал.* 2013. № 4 (12). С. 36–43.

16. *Кожевникова И. С., Аникина Н. Ю., Волокитина Т. В., Котцова О. Н., Грибанов А. В., Панков М. Н.* Факторная структура экологической адаптированности церебрального метаболизма у молодых людей, проживающих в условиях Арктического региона // *Журнал медико-биологических исследований.* 2018. Т. 6, № 4. С. 340–347.

17. *Комкова Е. И.* Современные исследования когнитивно-личностного развития на разных этапах онтогенеза

// Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2011. Т. 8, № 3. С. 139–146.

18. Корсакова Н. К., Володарская И. А. Связь тревожности и продуктивности познавательной деятельности // Психология в вузе. 2010. № 4. С. 84–94.

19. Лобанов А. П. Интеллект: определения, теории, парадигмы // Когнитивные штудии: современная психология в контексте трансдисциплинарных исследований: Материалы V междисциплинарного семинара. Вып. 5 / под ред. А. П. Лобанова, Н. П. Радчиковой. Минск: БГПУ им. М. Танка, 2014.

20. Лукманова Н. Б., Волокитина Т. В., Гудков А. Б., Сафонова О. А. Динамика параметров психомоторного развития детей 7–9 лет // Экология человека. 2014. № 8. С. 13–19.

21. Нехорошкова А. Н. Особенности выполнения культурно-независимого теста интеллекта Р Кеттла младшими школьниками с высоким уровнем личностной тревожности // Казанская наука. 2011. № 1. С. 423–424.

22. Нехорошкова А. Н. Психофизиологический анализ зрительно-моторной деятельности у детей с высокой тревожностью: дис. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2011. 118 с.

23. Нехорошкова А. Н., Грибанов А. В. Особенности зрительно-моторных реакций детей 8–11 лет с высоким уровнем тревожности // Экология человека. 2011. № 5. С. 43–48.

24. Петров А. А. Исследование тревожности у детей младшего школьного возраста // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2015. Т. 10. С. 266–270. URL: <http://e-koncept.ru/2015/95097.htm> (дата обращения: 20.02.2019).

25. Плужников И. В. Эмоциональный интеллект при тревожных и аффективных расстройствах: автореф. дис. ... канд. психол. наук. Москва, 2010. 34 с.

26. Ратанова Т. А., Лихачева Э. В. Связь школьной тревожности с когнитивными особенностями младших школьников // Психологический журнал. 2009. Т. 30, № 3. С. 39–51.

27. Сапего Е. Обзор публикаций российских и белорусских исследователей в сфере когнитивной психологии и когнитивной науки за 2014 г. // Российский журнал когнитивной науки. 2015. Т. 2 (1). С. 73–83.

28. Сидоров К. Р., Крохина И. Г. Исследование причин тревожности учащихся // Новое образование. 2013. № 1. С. 3–5.

29. Соловьева С. Л. Тревога и тревожность: теория и практика // Медицинская психология в России: электрон. науч. журн. 2012. № 6 (17). URL: <http://medpsy.ru> (дата обращения 21.02.2019).

30. Сумарина О. Ю. Тревожность: причины, виды, симптомы // Медицинская психология. 2014. URL: <http://psyera.ru/2696/trevozhnost> (дата обращения 21.02.2019).

31. Тарасова С. Школьная тревожность. Причины, следствия и профилактика. М.: Генезис, 2016. 143 с.

32. Тимофеева А. Г. Проблема школьной тревожности с позиций средового подхода // Известия Саратовского университета. Новая серия. Акмеология образования. Психология развития. 2018. Т. 7, вып. 3 (27). С. 293–298.

33. Тихомирова Т. Н. Интеллект, успешность в обучении и параметры взаимодействия в образовательной среде // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Психология. 2011. № 5. С. 74–81.

34. Федоренко М. В., Потапова В. В. Сравнительный анализ показателей эмоционального интеллекта, агрессив-

ности и тревожности у студентов творческой специальности // Казанская наука. 2014. № 4. С. 273–275.

35. Celec P., Ostatnikova D., Holesova Z., Minarik G., Ficek A., Kelemenova S., Putz Z., Kudela M. Spatial Abilities in Prepubertal Intellectually Gifted Boys and Genetic Polymorphisms Related to Testosterone Metabolism // Journal of Psychophysiology. 2009. Vol. 23, iss. 2. P. 1–6.

36. Ching B. H.-H. Mathematics anxiety and working memory : Longitudinal associations with mathematical performance in Chinese children // Contemporary Educational Psychology. 2017. N 51. P. 99–113.

37. Haworth C. M. A., Dale P. S., Plomin R. Generalist Genes and High Cognitive Abilities // Behav. Genet. 2009. N 39. P. 437–445.

38. Haworth Claire M. A., Wright Margaret J., Nicolas W. Martin, Nicholas G. Martin, Dorret I. Boomsma, Meike Bartels, Danielle Posthuma, Oliver S. P. Davis, Angela M. Brant, Robin P. Corley, John K. Hewitt, William G. Iacono, Matthew McGue, Lee A. Thompson, Sara A. Hart, Stephen A. Petrill, David Lubinski, Robert Plomin A. Twin Study of the Genetics of High Cognitive Ability Selected from 11,000 Twin Pairs in Six Studies from Four Countries // Behav. Genet. 2009. N 39. P. 359–370.

39. Houtkamp E. O., van der Molen M. J., de Voogd E. L., Salemink E., Klein A. M. The relation between social anxiety and biased interpretations in adolescents with mild intellectual disabilities // Research in Developmental Disabilities. 2017. Vol. 67. P. 94–98.

40. Kim H.-S. Effect of a musical instrument performance program on emotional intelligence, anxiety, and aggression in Korean elementary school children // Psychology of Music. 2017. N 46 (3).

41. Klein A. M., Houtkamp E. O., Salemink E., Baartmans J. M. D., Rinck M., van der Molen M. J. Differences between self- and peer-rated likability in relation to social anxiety and depression in adolescents with mild intellectual disabilities // Research in Developmental Disabilities. 2018. Vol. 80. P. 44–51.

42. Klein A. M., Salemink E., de Hullu E., Houtkamp E., Papa M., van der Molen M. J. Cognitive Bias Modification Reduces Social Anxiety Symptoms in Socially Anxious Adolescents with Mild Intellectual Disabilities: A Randomized Controlled Trial // Journal of autism and developmental disorders. 2018. N 48 (9). P. 3116–3126.

43. Kucian K., McCaskey U., O’Gorman Tuura R., von Aster M. Neurostructural correlate of math anxiety in the brain of children // Translational Psychiatry. 2018. Vol. 8, N 273. URL: <https://doi.org/10.1038/s41398-018-0320-6>.

44. Larsen L., Peter Hartmann, Helmuth Nyborg. The stability of general intelligence from early adulthood to middle-age // Intelligence. 2008. Vol. 36. P. 29–34.

45. McGrew Kevin S. CHC theory and the human cognitive abilities project : Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research // Intelligence. 2009. Vol. 37. P. 1–10.

46. Robinson D. L. How personality relates to intelligence test performance : Implications for a theory of intelligence, ageing research and personality assessment // Personality and Individual Differences. 1985. N 6. P. 203–21.

47. Rudenstine S., Espinosa A. Examining the role of trait emotional intelligence on psychiatric symptom clusters in the context of lifetime trauma // Personality and Individual Differences. 2018. Vol. 128. P. 69–74.

48. Santillo A. F., Heiner Ellgring, Beatriz Garcia-Rodriguez, Jose Antonio Molina. Differential effects of

parkinson's disease in fluid and crystallised intelligence // 11th European Congress of Psychology: Abstracts paper sessions. ECP09 Oslo, Norway 7-10 July 2009. P. 137.

49. Shetty R. M., Pashine A., Jose N. A., Mantha S. Role of Intelligence Quotient (IQ) on anxiety and behavior in children with hearing and speech impairment // *Spec Care Dentist*. 2018. N 38 (1). P. 13–18.

50. Stassart C., Dardenne B., Etienne A. M. The role of parental anxiety sensitivity and learning experiences in children's anxiety sensitivity // *The British journal of developmental psychology*. 2017. N 35 (3). P. 359–375.

References

1. Anan'ev B. G. Problemy kompleksnogo izucheniya razvitiya intellekta i lichnosti [Problems of complex study of the development of intelligence and personality]. In: *Chelovek i obshchestvo. Problemy intellektual'nogo i kul'turnogo razvitiya studenchestva* [Man and society. Problems of intellectual and cultural development of students]. 1973, 13, pp. 3-7. [In Russian]

2. Astapov V. M., Malkova E. E. Trevozhnye rasstroistva v detskom i podrostkovom vozraste. *Teoriya i praktika* [Anxiety disorders in childhood and adolescence. Theory and practice] Moscow, Modek Publ., 2011, 368 p.

3. Banaitis N. G. Study of anxiety among first-year students in rural areas in terms of adaptation to higher education. *Psikhologiya. Istoriko-kriticheskie obzory i sovremennye issledovaniya* [Psychology. Historical-critical Reviews and Current Researches]. 2016, 4, pp. 161-174. [In Russian]

4. Barsukova E. V., Guseinova E. G. Reactive anxiety is a natural or acquired condition of the body. *Sovremennaya pedagogika* [Modern pedagogy]. 2016, 10 (47), pp. 73-78. [In Russian]

5. Beskaravayny E. B., Gudkov A. B., Belozarov S. P., Beskaravaynaya A. V. Psychomotor reactions of servicemen of unconventional units in progress of service and combat missions. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 4, pp. 52-59. [In Russian]

6. Viktorova V. V. *Trevozhnost' kak soputstvuyushchii faktor u detei mladshogo shkol'nogo vozrasta s sindromom defitsita vnimaniya i giperaktivnost'yu (avto-ref. kand. diss)* [Anxiety as a concomitant factor in children of primary school age with attention deficit hyperactivity disorder. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Moscow, 2010, 36 p.

7. Vorob'eva E. V. Interrelation between intelligence and achievement's motivation. *Severo-Kavkazskii psikhologicheskii vestnik* [North-Caucasian psychological Bulletin]. 2009, 7/3, pp. 25-33. [In Russian]

8. Gileva O. B. *Psikhofiziologicheskie osnovy uspekhov uchebnoi deyatel'nosti* [Psychophysiological bases of success of educational activity]. Yekaterinburg, 2012, 271 p.

9. Gimaeva R. M., Chepchugova V. V. The influence of the level of anxiety on the motivation of military conscription, on the example of servicemen of the military unit of Vladivostok. *Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal «Kontsept»* [Scientific and methodical electronic journal «Concept»]. 2016, 17, pp. 296-303. Available at: <http://e-kontsept.ru/2016/46236.htm> (accessed: 12.02.2019) [In Russian]

10. Gribanov A. V., Anikina N. Yu., Gudkov A. B. Cerebral energy exchange as a marker of adaptive human reactions in natural climatic conditions of the Arctic zone of the Russian Federation. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 8, pp. 32-40. [In Russian]

11. Gribanov A. V., Pankov M. N., Deputat I. S., Nekhoroshkova A. N., Starzeva L. F., Kozhevnikova I. S.

Neurophysiological approaches to analysis of anxiety in children (overview). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2018, 6. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=28363> (accessed: 13.02.2019). [In Russian]

12. Gribkova O. V. The relationship of personal anxiety and emotional intelligence in students of Junior courses of Humanities. *Vestnik Samarskoi gumanitarnoi akademii. Seriya: Psikhologiya* [Bulletin of the Samara humanitarian Academy. Series: Psychology]. 2012, 1 (11), pp. 3-8. [In Russian]

13. Grigor'ev S. A. Relationship between emotional intellect and anxiety in students-psychologists. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ural'skii region* [News of higher educational institutions. Ural region]. 2016, 2, pp. 106-118. [In Russian]

14. *Detskaya povedencheskaya nevrologiya: Rukovodstvo dlya vrachei* [Children's behavioral neuroscience: a Guide for physicians]. Ed. by L. S. Chutko. Saint Petersburg, 2009, 288 p.

15. Kirillina S. A. Socio-psychological analysis of the anxiety determinants in adolescents. *Natsional'nyi psikhologicheskii zhurnal* [National Psychological Journal]. 2013, 4 (12), pp. 36-43. [In Russian]

16. Kozhevnikova I. S., Anikina N. Yu., Volokitina T. V., Kottsova O. N., Gribanov A. V., Pankov M. N. Factorial structure of ecological adaptation of cerebral energy metabolism in young people living in arctic region conditions. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy* [Journal of Medical and Biological Research]. 2018, 6 (4), pp. 340-347. [In Russian]

17. Komkova E. I. Contemporary Studies of Cognitive and Personality Development at Different Stages of Ontogenesis. *Psikhologiya. Zhurnal Vysshei shkoly ekonomiki* [Psychology. Journal of Higher school of Economics]. 2011, 8 (3), pp. 139-146. [In Russian]

18. Korsakova N. K., Volodarskaya I. A. Connection of anxiety and productivity of cognitive activity. *Psikhologiya v vuze* [Psychology at the University]. 2010, 4, pp. 84-94. [In Russian]

19. Lobanov A. P. Intellekt: opredeleniya, teorii, paradigmy [Intellect: definitions, theories, paradigms]. In: *Kognitivnye shtudii: sovremennaya psikhologiya v kontekste transdistsiplinarnykh issledovaniy. Materialy V mezhdistsiplinarnogo seminara. Vyp. 5. Pod red. A. P. Lobanova, N. P. Radchikovo* [Cognitive studies: modern psychology in the context of transdisciplinary research. Materials V an interdisciplinary seminar. Iss. 5. Eds. A. P. Lobanov, N. P. Radchikova]. Minsk, 2014.

20. Lukmanova N. B., Volokitina T. V., Gudkov A. B., Safonova O. A. Changes of Psychomotor development parameters in 7-9 y. o. children. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 8, pp. 13-19. [In Russian]

21. Nekhoroshkova A. N. Features of the cultural-independent test of intelligence R. Kettella younger students with a high level of personal anxiety. *Kazanskaya nauka* [Kazan science]. 2011, 1, pp. 423-424. [In Russian]

22. Nekhoroshkova A. N. *Psikhofiziologicheskii analiz zritel'no-motornoj deyatel'nosti u detei s vysokoi trevozhnost'yu (Kand. Diss.)* [Psychophysiological analysis of visual-motor activity in children with high anxiety. Cand. Diss.]. Arkhangelsk, 2011, 118 p.

23. Nekhoroshkova A. N., Gribanov A. V. Features of visually-motor reactions of 8-11 years children with high level of anxiety. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 5, pp. 43-48. [In Russian]

24. Petrov A. A. Study of anxiety in children of primary school age. *Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal "Kontsept"* [Scientific and methodical electronic journal "Concept"]. 2015, 10, pp. 266-270. Available at: <http://e-koncept.ru/2015/95097.htm> (accessed: 20.02.2019). [In Russian]
25. Pluzhnikov I. V. *Emotsional'nyi intellekt pri trevozhnykh i affekcionnykh rasstroistvakh (avto-ref. kand. diss.)* [Emotional intelligence in anxiety and affective disorders. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Moscow, 2010, 34 p.
26. Ratanova T. A., Likhacheva E. V. Connection of school anxiety with cognitive features of younger students. *Psikhologicheskii zhurnal* [Psychological magazine]. 2009, 30 (3), pp. 39-51. [In Russian]
27. Sapego E. Russian and Belarusian Research in Cognitive Psychology and Cognitive Science : a 2014 summary. *Rossiiskii zhurnal kognitivnoi nauki* [Russian Journal of Cognitive Science]. 2015, 2 (1), pp. 73-83. [In Russian]
28. Sidorov K. R., Krokhina I. G. Study of the causes of anxiety of students. *Novoe obrazovanie* [New education]. 2013, 1, pp. 3-5. [In Russian]
29. Solov'eva S. L. Anxiety and anxiety: theory and practice. *Meditsinskaya psikhologiya v Rossii* [Medical psychology in Russia]. 2012, 6 (17). Available at: <http://medpsy.ru> (accessed: 21.02.2019). [In Russian]
30. Sumarina O. Yu. Anxiety: causes, types, symptoms. *Meditsinskaya psikhologiya v Rossii* [Medical psychology in Russia]. 2014. Available at: <http://psyera.ru/2696/trevozhnost> (accessed: 21.02.2019). [In Russian]
31. Tarasova S. *Shkol'naya trevozhnost'. Prichiny, sledstviya i profilaktika* [School anxiety. Causes, effects and prevention]. Moscow, 2016, 143 p.
32. Timofeeva A. G. The Problem of School-Based Anxiety from the Position of the Environmental Approach. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Akmeologiya obrazovaniya. Psikhologiya razvitiya* [Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Educational Acmeology. Developmental Psychology]. 2018, 7, 3 (27), pp. 293-298. [In Russian]
33. Tikhomirova T. N. General intelligence, school achievement and interpersonal interaction in educational environment. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Psikhologiya* [Bulletin of the South Ural State University. Series "Psychology"]. 2011, 5, pp. 74-81. [In Russian]
34. Fedorenko M. V., Potapova V. V. Comparative analysis of emotional intelligence, aggressiveness and anxiety in students creative specialty. *Kazanskaya nauka* [Kazan science]. 2014, 4, pp. 273-275. [In Russian]
35. Celec P., Ostatnikova D., Holesova Z., Minarik G., Ficek A., Kelemenova S., Putz Z., Kudela M. Spatial Abilities in Prepubertal Intellectually Gifted Boys and Genetic Polymorphisms Related to Testosterone Metabolism. *Journal of Psychophysiology*. 2009, 23 (2), pp. 1-6.
36. Ching B. H.-H. Mathematics anxiety and working memory: Longitudinal associations with mathematical performance in Chinese children. *Contemporary Educational Psychology*. 2017, 51, pp. 99-113.
37. Haworth C. M. A., Dale P. S., Plomin R. Generalist Genes and High Cognitive Abilities. *Behav. Genet.* 2009, 39, pp. 437-445.
38. Haworth Claire M. A., Wright Margaret J., Nicolas W. Martin, Nicholas G. Martin, Dorret I. Boomsma, Meike Bartels, Danielle Posthuma, Oliver S. P. Davis, Angela M. Brant, Robin P. Corley, John K. Hewitt, William G. Iacono, Matthew McGue, Lee A. Thompson, Sara A. Hart, Stephen A. Petrill, David Lubinski, Robert Plomin A. Twin Study of the Genetics of High Cognitive Ability Selected from 11,000 Twin Pairs in Six Studies from Four Countries. *Behav. Genet.* 2009, 39, pp. 359-370.
39. Houtkamp E. O., van der Molen M. J., de Voogd E. L., Salemink E., Klein, A. M. The relation between social anxiety and biased interpretations in adolescents with mild intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*. 2017, 67, pp. 94-98.
40. Kim H.-S. Effect of a musical instrument performance program on emotional intelligence, anxiety, and aggression in Korean elementary school children. *Psychology of Music*. 2017, 46 (3).
41. Klein A. M., Houtkamp E. O., Salemink E., Baartmans J. M. D., Rinck M., van der Molen M. J. Differences between self- and peer-rated likability in relation to social anxiety and depression in adolescents with mild intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*. 2018, 80, pp. 44-51.
42. Klein A. M., Salemink E., de Hullu E., Houtkamp E., Papa M., van der Molen M. Cognitive Bias Modification Reduces Social Anxiety Symptoms in Socially Anxious Adolescents with Mild Intellectual Disabilities: A Randomized Controlled Trial. *Journal of autism and developmental disorders*. 2018, 48 (9), pp. 3116-3126.
43. Kucian K., McCaskey U., O'Gorman Tuura R., von Aster M. Neurostructural correlate of math anxiety in the brain of children. *Translational Psychiatry*. 2018, 8 (273). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41398-018-0320-6>.
44. Larsen L., Peter Hartmann, Helmuth Nyborg. The stability of general intelligence from early adulthood to middle-age. *Intelligence*. 2008, 36, pp. 29-34.
45. McGrew Kevin S. CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*. 2009, 37, pp. 1-10.
46. Robinson D. L. How personality relates to intelligence test performance : Implications for a theory of intelligence, ageing research and personality assessment. *Personality and Individual Differences*. 1985, 6, pp. 203-21.
47. Rudenstine S., Espinosa A. Examining the role of trait emotional intelligence on psychiatric symptom clusters in the context of lifetime trauma. *Personality and Individual Differences*. 2018, 128, pp. 69-74.
48. Santillo A. F., Heiner Ellgring, Beatriz Garcia-Rodriguez, Jose Antonio Molina. Differential effects of parkinson's disease in fluid and crystallised intelligence. In: 11th European Congress of Psychology: Abstracts paper sessions. ECP09 Oslo, Norway 7-10 July 2009, p. 137.
49. Shetty R. M., Pashine A., Jose N. A., Mantha S. Role of Intelligence Quotient (IQ) on anxiety and behavior in children with hearing and speech impairment. *Spec Care Dentist*. 2018, 38 (1), pp. 13-18.
50. Stassart C., Dardenne B., Etienne A. M. The role of parental anxiety sensitivity and learning experiences in children's anxiety sensitivity. *The British journal of developmental psychology*. 2017, 35 (3), pp. 359-375.

Контактная информация:

Панков Михаил Николаевич – кандидат медицинских наук, доцент, директор института медико-биологических исследований ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» Министерства образования и науки Российской Федерации
Адрес: 163045, г. Архангельск, проезд Бадигина, д. 3
E-mail: m.pankov@narfu.ru

ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ КАК ИСТОЧНИК ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЕНОМ ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

© 2019 г. В. П. Евдокимова, Ю. А. Бахматова, *Е. Н. Синицкая

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», г. Архангельск;

*ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск

Цель исследования – оценить вклад продуктов питания в обеспечение селеном различных половозрастных групп населения города Архангельска. *Методы.* Для анализа использованы 386 проб продуктов питания. Для изучения половозрастной динамики исследованы образцы сыворотки крови 180 добровольцев: 90 мужчин и 90 женщин разных возрастных групп. Содержание селена в отобранных образцах определяли флуориметрическим методом на анализаторе жидкости Флюорат «02-2М» согласно МУК 4.1.033-95. Тип распределения для выборок устанавливали с помощью критериев Шапиро – Уилка. Для описания количественных данных, имеющих нормальное распределение, пользовались средним арифметическим, стандартной ошибкой среднего арифметического, минимальным и максимальным значениями. Параметры с ненормальным распределением представляли как медиану. Значимость различий анализировали с помощью критериев Фишера – Стьюдента и Манна – Уитни: за достоверные принимали различия при значениях $< 0,05$. *Результаты.* По данным исследования установлено, что содержание селена в продуктах питания увеличивается в следующей последовательности: фрукты → овощи → ягоды → грибы → яйца → хлебные продукты и макаронные изделия → рыбопродукты → мясопродукты → молоко и молочные продукты. Анализ данных показал, что среднее содержание селена в сыворотке крови женщин ($Me = 60,85$ мкг/л) несколько ниже, чем в сыворотке крови мужчин ($67,09$ мкг/л), ($U = 908$, $p < 0,05$). *Выводы.* Полученные данные свидетельствуют о том, что количество селена, потребляемого жителями города с продуктами питания в среднем находится в пределах нижней границы рекомендуемой нормы ВОЗ. Анализ выявил, что 4,4 % женщин имеют тяжелую степень недостаточности селена, 68,9 % женщин и 61,1 % мужчин – легкую степень. Большинство жителей города Архангельска имеют риск развития селенодефицита.

Ключевые слова: селен, продукты питания, сыворотка крови, окружающая среда, селеновый статус

FOOD AS A SOURCE OF SELENIUM FOR THE RESIDENTS OF THE RUSSIAN EUROPEAN NORTH

V. P. Evdokimova, Yu. A. Bakhmatova, *E. N. Sinitskaya

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk; Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

The *aim* of this study is to assess the contribution of food when providing Arkhangelsk city's residents, being of different age and sex, with selenium. *Methods.* 386 food samples were used for the analysis. Serum samples of 180 volunteers, including 90 men and 90 women of different age groups, were studied to observe the sex-and-age dynamics. Selenium content in the selected samples was detected by means of fluorimetric method in a liquid analyzer Fluorat "02-2M", according to the MG (methodological guidelines) 4.1.033-95. Type of distribution for the samples was determined using Shapiro-Wilk test. To describe quantitative data with normal distribution, we used arithmetic mean, mean-square error of arithmetic mean, minimum and maximum values. Parameters with abnormal distribution were presented as a median. Validity of differences was analyzed using Fisher - Student and Mann-Whitney test: valid differences were considered having values < 0.05 . *Results.* According to a research it is established that selenium content in food increases in the following sequence: fruit → vegetables → berries → mushrooms → eggs → grain products and pasta → fish products → meat products → milk and dairy products. The analysis of data showed that the average content of selenium in blood serum of women ($Me = 60.85$ mkg/l) is slightly lower, than in blood serum of men (67.09 mkg/l), ($U = 908$, $p < 0.05$). *Conclusions.* The data obtained indicate that the amount of selenium consumed by the residents of Arkhangelsk with food is on average within the lower limit of the norm recommended by World Health Organization. Despite this, slight selenium deficiency prevails among the surveyed residents. The analysis revealed that 4.4 % of women have a severe degree of selenium deficiency, 68.9 % of women and 61.1 % of men – a slight degree of insufficiency. Most residents of the city of Arkhangelsk are at risk of developing selenium deficiency.

Key words: selenium, food, blood serum, environment, selenium status

Библиографическая ссылка:

Евдокимова В. П., Бахматова Ю. А., Синицкая Е. Н. Продукты питания как источник обеспечения селеном жителей Европейского Севера России // Экология человека. 2019. № 9. С. 59–64.

Evdokimova V. P., Bakhmatova Yu. A., Sinitskaya E. N. Food as a Source of Selenium for the Residents of the Russian European North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 9, pp. 59-64.

Ухудшение экологической обстановки в России, рост смертности от онкологических и кардиологических заболеваний являются причинами интенсивных исследований возможностей повышения антиоксидантной защиты организма. Выявление биологической роли селена как мощного природного антиоксиданта определило приоритетность исследований селенового

статуса населения различных регионов России и в их числе – Европейского Севера.

Селен – микроэлемент, являющийся частью многих ферментов и благодаря этому играющий важную роль в работе многих органов и систем организма. Селен обладает широким спектром действия, участвуя в различных биохимических процессах. В качестве кофактора он

поддерживает активность многих селеносодержащих ферментов и селенопротеинов [5, 11, 17].

Механизмы адаптивной перестройки организма в условиях Севера закономерно приводят к сдвигу микроэлементарного гомеостаза и возникновению акклиматизационного дефицита, что усугубляет природную недостаточность жизненно важных элементов, в том числе и селена. К основным факторам, способным вызвать дефицит селена в организме человека, относятся: низкое качество питания и недостаточное поступление селена с пищей, нарушение обмена в организме, расход соединений селена на нейтрализацию вредных веществ, алкоголизм [1, 19, 20].

В то же время до сих пор недостаточно точно определен оптимальный уровень потребления селена, не в полной мере разработаны методики оценки селенового статуса организма в норме и при патологии, не до конца выяснены механизмы биологического действия этого элемента.

В работах Н. А. Голубкиной, посвященных состоянию обеспеченности территорий Российской Федерации селеном, отмечается дефицит селена в двадцати семи регионах России. В их числе Бурятия, Читинская и Иркутская области, северо-западные регионы Российской Федерации (Мурманская, Ленинградская, Архангельская, Новгородская, Вологодская, Ярославская, Ивановская, Тверская и Московская области) [7, 8].

Основными источниками поступления селена в организм человека служат вода и продукты питания. Согласно литературным данным главными пищевыми продуктами, обеспечивающими поступление селена, являются зерновые, их вклад составляет 50 % от общего уровня потребляемого микроэлемента. При этом на долю мяса, рыбы, молочных продуктов и яиц приходится 20, 10, 10 и 5 % соответственно, а вклад овощей и фруктов в обеспеченность селеном вообще незначителен и составляет 1–2 %. Употребление в пищу исключительно местных продуктов и влияние геохимической специфики местности имеют решающее значение в обеспеченности организма селеном, вызывая селенодефицитные состояния или селенозы [15, 16, 22].

Важным показателем обеспеченности селеном организма является содержание микроэлемента в крови человека. Оно позволяет оценить среднюю величину поступления селена с пищей за период от нескольких дней до нескольких недель. Показатель характеризует общее содержание активных форм селена (ферментов и селенопереносящего белка) и депонированного селена [3]. Для России средние концентрации селена в сыворотке крови составляют от 62 мкг/л на Западе до 145 мкг/л на Востоке [7].

Коррекцию селенового статуса можно осуществлять несколькими способами. Самый простой и безопасный – употребление в пищу продуктов, богатых селеном. Кроме того, повысить содержание селена в организме человека можно посредством внесения микроудобрений в почву, из которой он поступает в

растения, а затем – в организмы животных и человека [4, 9, 12, 13, 18, 21].

Город Архангельск, жители которого были обследованы, расположен в 50 км от Белого моря на правом берегу устьевом участка Северной Двины и на островах ее дельты (64°33' с. ш., 40°32' в. д.). По своим природно-климатическим характеристикам он приравнен к территориям Крайнего Севера. Для территории города характерен субарктический климат, переходный от морского к континентальному, с продолжительной зимой и коротким прохладным летом. Ведущую роль в промышленности Архангельска играют отрасли специализации: лесная (лесозаготовительная, лесопильно-деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная), машиностроение (судострое и судоремонт), рыбная промышленность, добыча алмазов, добыча нефти и газа [6].

Проведенные ранее исследования [10] свидетельствуют о том, что с питьевой водой население Архангельска получает от 0,4 до 1,0 % необходимого селена. В связи с этим поступление данного элемента с пищей становится главным фактором, определяющим уровень содержания селена в организме человека. Таким образом, целью исследования послужила оценка вклада продуктов питания в формирование селенового статуса жителей Европейского Севера России, и в частности города Архангельска.

Методы

Для анализа были отобраны пробы продуктов питания, которые традиционно пользуются наибольшим спросом и популярностью у жителей Архангельска. Предпочтения были отданы продуктам, произведенным на территории Архангельской области и наиболее часто встречающимся в торговых сетях, с учетом потребительской корзины.

Отбор проб продуктов питания осуществлялся в несколько этапов: выбор транспортных упаковок; отбор лабораторной пробы; отбор навесок для анализа. Каждая из перечисленных операций проводилась в строгом соответствии с требованиями нормативной документации на исследуемые продукты: отбор, транспортировку и хранение проб хлеба и хлебопродуктов осуществляли по ГОСТ 5667-65, мяса – по ГОСТ 7269-79, круп – по ГОСТ 26312.1-84, молока и молочных продуктов – по ГОСТ 3622-68, рыбы, морских млекопитающих, морских беспозвоночных и продуктов их переработки – по ГОСТ 7631-2008.

Селеновый статус был определен у 180 добровольцев-архангелогородцев с получением их информированного согласия на проведение исследования. Для изучения половозрастной динамики образцы крови были отобраны у 90 мужчин: 30 человек в возрасте до 30 лет, 30 человек от 30 до 50 и 30 человек старше 50 лет, а также у 90 женщин тех же возрастных групп. Отбор проб крови осуществлялся на базе ЦНИЛ Северного государственного медицинского университета г. Архангельска.

Определялось содержание селена в отобранных образцах флуориметрическим методом на анализа-

торе жидкости Флюорат «02-2М» согласно МУК 4.1.033-95 на базе лаборатории биогеохимических исследований кафедры химии и химической экологии Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова.

Для получения данных об объемах потребления основных продуктов питания был использован метод анкетирования. Количество респондентов – 30 человек в каждой группе. Респонденты заполняли анкеты, в которых они указывали объемы потребления различных продуктов в сутки в течение двух недель.

Тип распределения для выборок определяли с помощью критериев Шапиро – Уилка. Для описания количественных данных, имеющих нормальное распределение, пользовались средним арифметическим, стандартной ошибкой среднего арифметического, минимальным и максимальным значениями. Параметры с ненормальным распределением представляли как медиану. Значимость различий анализировали с помощью критериев Фишера – Стьюдента и Манна – Уитни: за достоверные принимали различия при значениях <0,05. Для определения тесноты связи между параметрами применяли критерий корреляции Спирмена, который является непараметрическим аналогом коэффициента Пирсона.

Результаты

В табл. 1 приведены данные по содержанию селена в основных продуктах питания жителей Архангельска.

Таблица 1

Содержание селена в продуктах питания жителей Архангельска, мкг/кг

Объект	п	Интервал концентраций	Среднее значение
Хлебные продукты (хлеб и макаронные изделия, мука, крупы, бобовые)			
Хлеб пшеничный	12	2,10–2,70	2,32 ± 0,43
Хлеб ржаной	9	1,87–2,01	1,96 ± 0,50
Рис	7	90,10–93,23	91,83 ± 0,72
Пшено	5	16,18–16,86	16,83 ± 0,72
Макаронные изделия	4	1,5–1,91	1,83 ± 0,72
Крупа гречневая	3	6,55–7,12	7,00 ± 1,24
Овес	3	6,73–8,88	6,83 ± 0,72
Мука	4	73,20–73,90	73,30 ± 0,72
Овощи и фрукты			
Картофель	12	1,99–3,11	3,01 ± 0,78
Капуста	9	0,52–0,64	0,63 ± 0,09
Морковь	20	0,11–0,35	0,30 ± 0,05
Свекла	9	0,45–0,80	0,65 ± 0,14
Лук	12	2,55–2,81	2,78 ± 0,16
Чеснок	3	19,50–19,74	19,64 ± 0,25
Укроп	4	0,83–0,94	0,86 ± 0,09
Руккола	3	0,26–0,42	0,36 ± 0,06
Петрушка	4	0,51–0,69	0,66 ± 0,06
Огурцы	6	0,09–0,21	0,16 ± 0,01
Кабачки	6	0,06–0,19	0,13 ± 0,01
Абрикосы	6	4,05–4,55	4,31 ± 0,64
Бананы	6	8,67–9,05	8,97 ± 0,30
Апельсины	3	0,44–0,68	0,53 ± 0,09

Продолжение таблицы 1

Объект	п	Интервал концентраций	Среднее значение
Груши	3	0,56–0,74	0,67 ± 0,07
Яблоки	3	0,98–1,34	1,00 ± 0,09
Ягоды и грибы			
Клубника	9	4,33–5,12	5,08 ± 0,08
Малина	6	0,24–0,29	0,28 ± 0,12
Красная смородина	3	3,99–4,15	4,10 ± 0,23
Черная смородина	3	0,54–0,60	0,59 ± 0,11
Клюква	3	10,10–10,45	10,15 ± 0,13
Черника	3	12,11–12,65	12,42 ± 0,07
Подосиновики	6	12,00–12,44	12,34 ± 0,06
Подберезовики	6	10,01–10,15	10,03 ± 0,05
Волнушки	3	4,01–4,16	4,11 ± 0,13
Серянки	3	2,46–2,55	2,50 ± 0,09
Мясопродукты			
Телятина	20	12,91–18,01	15,97 ± 2,13
Свинина	12	125,36–125,96	125,92 ± 0,37
Курица	18	53,5–73,78	64,62 ± 5,31
Индейка	9	12,76–12,92	12,83 ± 1,03
Печень телячья	3	62,47–62,66	62,57 ± 1,86
Рыбопродукты			
Треска	16	7,56–7,77	7,72 ± 0,93
Горбуша	21	50,18–50,45	50,23 ± 0,47
Зубатка	9	20,44–20,66	20,64 ± 0,10
Окунь морской	6	48,89–59,15	49,09 ± 5,14
Корюшка	3	7,54–9,66	8,64 ± 0,65
Кальмары	3	1,29–1,35	1,32 ± 0,14
Камбала	3	102,99–103,34	103,21 ± 0,15
Молоко и молочные продукты			
Творог	21	151,47–152,00	151,67 ± 0,72
Сметана	12	92,89–93,78	93,67 ± 0,72
Молоко	18	68,32–68,55	68,40 ± 0,25
Сыр	2	491,65–492,76	491,83 ± 7,89
Яйца	9	12,11–12,99	12,81 ± 0,12

Проведенные исследования позволили установить, что среднее содержание селена в продуктах питания увеличивается в следующей последовательности: фрукты → овощи → ягоды → грибы → яйца → хлебные продукты и макаронные изделия → рыбопродукты → мясопродукты → молоко и молочные продукты. Ни в одном из продуктов питания не обнаружено превышение ПДК (500 мкг/кг).

В то же время внутри определенных групп продуктов питания содержание селена может значительно различаться. Так, например, среди мясных продуктов наибольшее содержание селена обнаружено в свинине, среди рыбных – в камбале, среди молочных – в сыре, среди овощей – в чесноке, среди фруктов – в банане, среди ягод – в чернике и клюкве, среди круп – в рисе.

Известно, что некоторые соединения селена (например, H₂Se) являются летучими. Это может быть причиной потерь элемента в ходе термической обработки продуктов питания перед их употреблением. Для установления уровня таких потерь были проведены дополнительные исследования, результаты которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание селена в продуктах до и после термической обработки, мкг/кг

Объект	Содержание Se до термической обработки	Содержание Se после термической обработки	Потери, %
Свинина	111,2 ± 9,33	42,5 ± 2,48	61,78
Курица	73,43 ± 0,85	28,67 ± 0,72	60,96
Телятина	13,67 ± 0,92	7,66 ± 0,62	43,96
Картофель	0,99 ± 0,16	0,25 ± 0,10	74,75
Морковь	0,22 ± 0,05	0,10 ± 0,01	54,55
Свекла	0,82 ± 0,21	0,33 ± 0,04	59,76
Корюшка	9,51 ± 0,69	4,57 ± 0,27	51,95
Окунь	51,25 ± 0,67	20,31 ± 0,53	60,37
Горбуша	46,98 ± 1,79	19,83 ± 0,40	57,79

Выявлено, что при термической обработке продуктов питания потери могут быть значимыми и достигать 75 %.

Полученные экспериментальные данные по содержанию селена в сыворотке крови мужчин и женщин разных возрастных групп представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание селена в сыворотке крови населения г. Архангельска, мкг/л

Возрастная группа	Мужчины			Женщины			Всего		
	n	\bar{X}	$\pm SD$	n	\bar{X}	$\pm SD$	n	\bar{X}	$\pm SD$
До 30 лет	30	80,49	5,22	30	54,74	2,93	60	67,61	13,64
От 30 до 50 лет	30	65,86	3,40	30	55,07	3,49	60	60,47	6,42
Старше 50 лет	30	54,91	3,04	30	72,73	3,40	60	63,83	9,54
Всего	90	67,09	11,25	90	60,85	9,05	180	63,97	9,57

В ходе проведенных исследований установлена средняя концентрация селена в сыворотке крови, равная 63,97 мкг/л.

Обсуждение результатов

Определение количества селена, поступающего с пищей, – один из способов оценки содержания его в организме человека.

Оценка поступления селена в организм человека может быть осуществлена прежде всего посредством определения объемов потребления населением основных продуктов питания, выявленных путем анкетирования жителей города. В дальнейшем с использованием этих данных, а также средних показателей содержания селена в продуктах питания было рассчитано количество селена, поступающего в организм человека:

$$X = \frac{C_{Se} \cdot m}{1000 \cdot z}$$

где X – количество селена, поступающего в организм человека (мкг/сутки); C_{Se} – содержание селена в продукте, мкг/кг; m – масса потребления продукта в сутки, г.

Представленные в табл. 4 данные свидетельствуют

о том, что количество потребляемого с продуктами селена находится в пределах рекомендуемой нормы, но ближе к минимальному значению. Можно отметить, что в целом с возрастом поступление селена с продуктами питания увеличивается. Возможно, это связано с более внимательным отношением к своему рациону питания.

Таблица 4

Поступление селена с продуктами питания у разных групп населения г. Архангельска

Группа продуктов	Поступление в организм человека, мкг/в сутки					
	Женщины			Мужчины		
	до 30 лет	30–50 лет	>50 лет	до 30 лет	30–50 лет	>50 лет
Мясные продукты	4,10	15,37	24,38	13,75	38,38	19,62
Молочные продукты	46,78	75,14	118,00	54,62	85,55	88,12
Хлебные продукты	10,38	9,22	11,15	12,64	22,45	16,65
Овощи	0,81	1,33	2,30	0,90	1,94	1,24
Фрукты	0,58	0,69	2,14	0,94	1,20	0,78
Рыбпродукты	0,51	3,50	8,57	0,20	6,56	9,20
Яйца	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04
Общее поступление	63,19	105,28	166,59	83,09	156,13	135,65
Рекомендуемая норма	55–350			70–350		

Чтобы получить представление о вкладе той или иной группы продуктов питания в поступление селена в организм человека, необходимо отнести фактическое поступление этого элемента к общему поступлению селена в организм (табл. 5).

Таблица 5

Вклад продуктов питания в обеспеченность селеном жителей г. Архангельска, %

Группа продуктов	Возрастная группа					
	Женщины			Мужчины		
	до 30 лет	30–50 лет	>50 лет	до 30 лет	30–50 лет	>50 лет
Молочные продукты	74	71	71	66	55	65
Мясные продукты	7	15	15	17	25	14
Хлебные продукты	16	9	7	15	14	12
Рыбные продукты	1	3	5	0	4	7
Фрукты	1	1	1	1	1	1
Овощи	1	1	1	1	1	1

Из расчетов видно, что наибольший вклад в обеспечение селеном жителей Архангельска вносят молоко и молочные продукты.

Определение уровня содержания селена в сыворотке крови – один из важнейших критериев установления селенового статуса человека. Показатель характеризует общее содержание активных форм селена и депонированного селена [14].

Статистический анализ данных показал, что среднее содержание селена в сыворотке крови женщин Архангельска ($Me = 60,85$ мкг/л) несколько ниже, чем в сыворотке крови мужчин ($67,09$ мкг/л), ($U = 908$, $p < 0,05$).

Содержание селена в сыворотке крови женщин увеличивалось с возрастом. Так, у женщин старше 50 лет среднее содержание микроэлемента в сыворотке крови ($72,73$ мкг/л) по сравнению с женщинами до 50 лет ($54,91$ мкг/л) выше ($t = -20,987$, $p < 0,05$). Ситуация по содержанию селена в организме мужчин иная. Среднее содержание его у лиц до 30 лет ($80,49$ мкг/л) выше, чем у мужчин 30–50 лет ($65,86$ мкг/л) ($t = 12,420$, $p < 0,05$) и старше 50 лет ($54,91$ мкг/л) ($t = 25,080$, $p < 0,05$).

Сравнительная оценка обеспеченности селеном одинаковых возрастных групп мужчин и женщин показала статистически значимые различия. По данным видно, что среднее содержание селена у мужчин ($80,49$ мкг/л) несколько выше, чем у женщин ($54,74$ мкг/л) в возрастной группе до 30 лет ($t = -23,477$, $p < 0,05$). Аналогичная картина наблюдается и у возрастных групп от 30 до 50 лет ($t = -12,131$, $p < 0,05$). В возрастной группе старше 50 лет у женщин среднее содержание ($72,73$ мкг/л) несколько выше, чем у мужчин ($54,91$ мкг/л), то есть наблюдается обратная тенденция ($t = 21,414$, $p < 0,05$).

В целом анализ индивидуальных показателей сывороточного селена выявил у 4,4 % женщин тяжелую степень недостаточности селена, у 68,9 % – легкую степень недостаточности, и у 26,7 % отмечен субоптимальный уровень. Среди мужчин не выявлено тяжелой степени недостаточности, 61,1 % имеют легкую недостаточность селена и 38,9 % находятся в зоне субоптимального уровня. Большинство жителей Архангельска подвержено риску развития селенодефицита. Очевидно, что у женщин этот риск уменьшается с возрастом, а у мужчин, наоборот, увеличивается [10].

Выводы

Несмотря на то, что поступление селена в организм человека с продуктами питания находится в пределах рекомендуемых норм, у населения преобладает состояние легкой селеновой недостаточности. Это может свидетельствовать о наличии как внешних, так и внутренних факторов, влияющих на селеновый статус жителей Архангельска.

К внутренним можно отнести низкую долю усвояемости некоторых соединений селена [2]. Главные внешние факторы – суровые природно-климатические условия (холодовой фактор и нарушение светового режима) и высокое загрязнение целым комплексом вредных веществ, что приводит к возникновению акклиматизационного дефицита и, как следствие, увеличенной потребности организма человека во многих микроэлементах, в том числе в селене.

Таким образом, основываясь на полученных результатах исследований, можно сделать вывод, что продукты питания являются главным источником селена для организма человека и позволяют обеспечить минимальный уровень его поступления.

Авторство

Евдокимова В. П., Бахматова Ю. А. и Сеницкая Е. Н. внесли существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных. Бахматова Ю. А. подготовила первый вариант статьи. Евдокимова В. П. и Сеницкая Е. Н. окончательно утвердили присланную в редакцию рукопись.

Евдокимова Валентина Петровна – ORCID 0000-0003-3669-2443; SPIN 1539-9109

Бахматова Юлия Алексеевна – ORCID 0000-0001-6347-4818; SPIN 8344-4849.

Сеницкая Елена Николаевна – ORCID 0000-0002-7466-4956; SPIN 5061-9848

Список литературы

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш Л. С., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. 496 с.
2. Бакаева Е. А. Влияние экологических факторов на микроэлементный статус новорожденных и детей дошкольного возраста в условиях Европейского Севера и средней полосы России: дис. ... канд. биол. наук. Ярославль, 2016. 200 с.
3. Буякова Н. Г. Селеновый и свободнорадикальный статусы пациентов с обострением хронической печеночной недостаточности алкогольной этиологии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Хабаровск, 2016. 23 с.
4. Василевская Л. С., Погожева А. В., Дербенёв С. А. Клиническая эффективность использования джема из морской капусты, обогащенного селеном // Вопросы питания. 2009. Т. 78, № 1. С. 79–83.
5. Воробьева Л. В. Региональные особенности гигиенической оценки биологического загрязнения поверхностных вод // Гигиена и санитария. 2011. № 1. С. 34–37.
6. География Европейского Севера. Проблемы природопользования, социально-экономические, экологические: сб. науч. трудов / отв. ред. Бызов Н. М. Архангельск: Поморский государственный университет, 2002. 304 с.
7. Голубкина Н. А., Скальный А. В., Соколов Я. А. Селен в медицине и экологии. М.: Изд-во КМК, 2002. 136 с.
8. Голубкина Н. А., Папазян Т. Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М.: Печатный город, 2006. 254 с.
9. Доценко В. А., Мосийчук Л. В. Болезни избыточного и недостаточного питания: учебное пособие. СПб.: ФОЛИАНТ, 2004. 112 с.
10. Евдокимова В. П., Бахматова Ю. А., Попова Л. Ф. Роль питьевой воды в обеспечении селеном жителей города Архангельска // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2015. № 5. С. 6–12.
11. Ермаков В. В., Данилова В. Н., Дегтярёв А. П. Селеновый статус России и его коррекция // Материалы 6-й Международной биогеохимической школы «Биогеохимия в народном хозяйстве. Фундаментальные основы ноосферных технологий», Астрахань, 2008. С. 121–129.
12. Мазо В. К., Зорин С. Н. Перспективы биотехнологического получения новых пищевых источников органических соединений селена // Успехи современного естествознания. 2008. № 11. С. 65–66.
13. Свечникова А. А., Голубкина Н. А., Мелякина Э. И. Обеспеченность селеном жителей Астраханской области // Вопросы питания. 2010. № 2. С. 78–80.
14. Тутельян В. А., Самсонов М. А. Справочник по диетологии. М.: Медицина, 2002. 544 с.

15. Эрдэнээ Э. Гигиеническая оценка селенового статуса населения Монголии: дис. ... канд. мед. наук. Иркутск, 2015. 131 с.

16. Fang Y., Luo P., Hu Y., Ma N., Yang W., Xin Z., Zhao L., Hu Q. Bioaccumulation and speciation analysis of selenium in garlic (*Allium sativum* L.) // *Food Sci.* 2012. P. 1–5.

17. Gubta M., Gupta S. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants // *Front Plant Sci.* 2016, 7: article 2074. doi:10.3389/fpls.2016.02074.

18. McKenzie R. C., Arthur R., Miller S. Selenium and the immune system // *Nutrition and immune function.* 2002. CABI Publishing. Wallingford. UK. P. 239–250.

19. Mehdi Y., Hornick J., Istasse L., Dufrasne I. Selenium in the Environment, Metabolism and Involvement in Body Functions // *Molecules.* 2013. N 18. P. 3292–3311.

20. Molnar J. Selenium: Its antioxidant effects and issues in selenium supply // *Orvosi Hetilap.* 2013. Vol. 154. N 41. P. 1613–1619.

21. Momcilovic B., Prejac J., Visnjevi V., Skalnaya N., Mimica S., Skalny V. Hair Iodine for Human Iodine Status Assessment // *Thyroid.* Vol. 24, N 6. 2014. P. 81–87.

22. Thomson C. D. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review // *European Journal of Clinical Nutrition.* 2004. Vol. 58. P. 391–402.

References

1. Avtsin A. P., Zhavoronkov A. A., Rish L. S., Strochkova L. S. *Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya* [Human trace elements: etiology, classification, organopathology.]. Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p.

2. Bakaeva E. A. *Vliyanie ekologicheskikh faktorov na mikroelementnyi status novorozhdennykh i detey doshkol'nogo vozrasta v usloviyakh Evropeiskogo Severa i srednei polosy Rossii. Kand. diss.* [Influence of environmental factors on the microelement status of newborns and preschool children in the European North and Central Russia. Cand. Diss.]. 2016, 200 p.

3. Buyakova N. G. *Selenovyy i svobodnoradikal'nyy status y patientsov s obostreniem khronicheskoi pechenochnoi nedostatochnosti alkogol'noi etiologii. Kand. diss.* [Selenium and free radical status of patients with acute chronic liver failure of alcohol etiology. Cand. Diss.]. 2016, 23 p.

4. Vasilevskaya L. S., Pogozheva A. V., Derbenyov S. A. Clinical efficacy of seaweed jam enriched with selenium. *Voprosy pitaniya* [Nutrition issues]. 2009, 78 (1), pp. 79–83. [In Russian]

5. Vorob'eva L. V. Regional features of hygienic assessment of biological pollution of surface waters. *Gigiena i Sanitariya.* 2011, 1, pp. 34–37. [In Russian]

6. *Geografiya Evropeiskogo Severa. Problemy prirodopol'zovaniya, sotsial'no-ekonomicheskije, ekologicheskije: sbornik nauchnykh trudov* [Geography of the European North. Problems of nature management, socio-economic, environmental: collection of scientific works]. Responsible editor Byzova N. M., Arkhangelsk, Pomor State University, 2002, 304 p.

7. Golubkina H. A., Skal'nyi A. V., Sokolov Ya. A. *Selen v meditsine i ekologii* [Selenium in medicine and ecology]. Moscow, 2002, 136 p.

8. Golubkina N. A., Papazyan T. T. *Selen v pitanii. Rasteniya, zhivotnye, chelovek* [Selenium in the diet. Plants, animals, people]. Moscow, Printed city Publ., 2006, 254 p.

9. Dotsenko V. A., Mosiychuk L. V. *Bolezni izbytochnogo i nedostatochnogo pitaniya* [Diseases of over and under nutrition]. Textbook, Saint Petersburg, FOLIANT Publ., 2004, 112 p.

10. Evdokimova V. P., Bakhmatova Yu. A., Popova L. F. The role of drinking water in the provision of selenium to the residents of the city of Arkhangelsk. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta* [Bulletin of the Moscow state regional University]. 2015, 5, pp. 6–12. [In Russian]

11. Ermakov V. V., Danilova V. N., Degtyaryov A. P. Selenovyy status Rossii i ego korrektsiya [Selenium status of Russia and its correction]. In: *Materialy 6-i Mezhdunarodnoi biogeokhimicheskoi shkoly «Biogeokhimiya v narodnom hozyaistve. Fundamental'nye osnovy noosfernykh tekhnologii»* [Materials of the 6th international biogeochemical school «Biogeochemistry in the national economy. Fundamentals of noospheric technologies»]. Astrakhan, 2008, pp. 121–129.

12. Mazo V. K., Zorin S. N. Prospects of biotechnological production of new food sources of organic selenium compounds. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science]. 2008, 11, pp. 65–66. [In Russian]

13. Svechnikova A. A., Golubkina N. A., Melyakina E. I. Provision of residents of Astrakhan region with selenium. *Voprosy pitaniya* [Nutrition issues]. 2010, 2, pp. 78–80. [In Russian]

14. Tutel'yan V. A., Samsonov M. A. *Spravochnik po dietologii* [Nutritional guide]. Moscow, Meditsina Publ., 2002, 544 p.

15. Erdenee E. *Gigienicheskaya otsenka selenovogo statusa naseleniya Mongolii. Kand. diss.* [Hygienic assessment of the selenium status of the Mongolian population. Cand. Diss.]. Irkutsk, 2015, 131 p.

16. Fang Y., Luo P., Hu Y., Ma N., Yang W., Xin Z., Zhao L., Hu Q. Bioaccumulation and speciation analysis of selenium in garlic (*Allium sativum* L.). *Food Sci.* 2012, pp. 1–5.

17. Gubta M., Gupta S. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Front Plant Sci.* 2016, article 2074. doi:10.3389/fpls.2016.02074.

18. McKenzie R. C., Arthur R., Miller S. Selenium and the immune system. *Nutrition and immune function.* CABI Publishing. Wallingford, UK, 2002, pp. 239–250.

19. Mehdi Y., Hornick J., Istasse L., Dufrasne I. Selenium in the Environment, Metabolism and Involvement in Body Functions. *Molecules.* 2013, 18, pp. 3292–3311.

20. Molnar J. Selenium: Its antioxidant effects and issues in selenium supply. *Orvosi Hetilap.* 2013, 154 (41), pp. 1613–1619.

21. Momcilovic B., Prejac J., Visnjevi V., Skalnaya N., Mimica S., Skalny V. Hair Iodine for Human Iodine Status Assessment. *Thyroid.* 2014, 24 (6), pp. 81–87.

22. Thomson C. D. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. *European Journal of Clinical Nutrition.* 2004, 58, pp. 391–402.

Контактная информация:

Бажматова Юлия Алексеевна – ассистент кафедры химии и химической экологии Высшей школы естественных наук и технологий ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова»

Адрес: 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17

E-mail: juliabahmatova@yandex.ru