

Показатели гипофизарно-гонадной оси и уровень кортизола в зависимости от индивидуально-типологической реактивности дофаминергической системы на смену фотопериодов года у мужчин в условиях Европейского Севера

А.Э. Елфимова, Е.В. Типисова, В.Н. Зябишева, В.А. Аликина, И.Н. Молодовская

ФИЦ комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН
163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20

Резюме

Цель работы – сравнение реактивности гипофизарно-гонадной системы и содержания кортизола при двух типах реакций дофаминергической системы у мужчин – жителей г. Архангельска на смену фотопериода года. **Материал и методы.** В течение одного года проводили четырехкратное обследование (в марте, июне, сентябре, декабре) 20 практически здоровых мужчин г. Архангельска (средний возраст $33,3 \pm 5,3$ года). В плазме крови определяли концентрацию дофамина, в сыворотке – компонентов гипофизарно-гонадной системы и кортизола. На основании анализа индивидуальных реакций выборка была разделена на две группы: 1 – концентрация дофамина у обследуемых повышается в декабре по сравнению с сентябрем ($n = 10$); 2 – концентрация дофамина снижается или не изменяется в декабре по сравнению с сентябрем ($n = 10$). **Результаты.** В группе 1 в декабре по сравнению с сентябрем выявлено снижение уровня тестостерона как общих (соответственно 18,16 и 25,20 нмоль/л), так и свободных (соответственно 3,77 и 4,29 пг/мл) фракций. При этом отмечено более высокое содержание кортизола в декабре у первой группы по сравнению со второй (соответственно 574,22 и 502,69 нмоль/л). В группе 2 наблюдалось значительное уменьшение концентрации эстрадиола (соответственно 0,13 и 0,31 нмоль/л) при увеличении индекса тестостерон/эстрадиол (соответственно 173,82 и 54,01 усл. ед.). **Заключение.** Индивидуально-типологическая вариабельность дофаминергической системы на смену фотопериодов у мужчин Европейского Севера может оказывать опосредованный эффект на гипофизарно-гонадную ось через параллельную активацию коры надпочечников и усиление активности ароматазы. Мы предполагаем, что повышение содержания дофамина в период минимальной продолжительности светового дня играет значительную роль в компенсаторном адаптационном увеличении уровня эстрадиола у мужского населения Севера.

Ключевые слова: дофамин, кортизол, половые гормоны, ароматаза, фотопериод, продолжительность светового дня, Европейский Север, мужчины, индивидуальные реакции.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Госзадания 122011800392-3.

Автор для переписки: Елфимова А.Э., e-mail: a.elfimova86@mail.ru

Для цитирования: Елфимова А.Э., Типисова Е.В., Зябишева В.Н., Аликина В.А., Молодовская И.Н. Показатели гипофизарно-гонадной оси и уровень кортизола в зависимости от индивидуально-типологической реактивности дофаминергической системы на смену фотопериодов года у мужчин в условиях Европейского Севера. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024;44(5):88–94. doi: 10.18699/SSMJ20240510

Indicators of the pituitary-gonadal axis and cortisol level, depending on the individual-typological reaction of the dopaminergic system, to changes in the photoperiod of the year in males living in the European North

A.E. Elfimova, E.V. Tipisova, V.N. Zyabisheva, V.A. Alikina, I.N. Molodovskaya

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of UrB RAS
163020, Arkhangelsk, Nikolskiy ave., 20

Abstract

The aim of the work is to compare the reaction of the pituitary-gonadal system and the cortisol content in two types of dopaminergic system reactions in male residents of Arkhangelsk at the change of the photoperiod during the year. **Material and methods.** During one year, a four-time examination was conducted (in March, June, September, December) of 20 practically healthy males in Arkhangelsk (average age 33.3 ± 5.3 years). The concentration of dopamine was determined in blood plasma, the components of the pituitary-gonadal system and cortisol level were studied in serum. Based on the analysis of individual reactions, the sample was divided into two groups: 1 – the concentration of dopamine in the subjects increases in December compared with September ($n = 10$); 2 – the concentration of dopamine decreases or does not change in December compared with September ($n = 10$). **Results.** In group 1, a decrease in testosterone levels was revealed: both total (18.16 nmol/l in December and 25.20 nmol/l in September) and free (3.77 and 4.29 pg/ml, respectively) fractions. At the same time, a higher cortisol content was noted in December in the first group compared with the second (574.22 and 502.69 nmol/l, respectively). In group 2, there was a significant decrease in estradiol levels (0.13 nmol/L in December versus 0.31 nmol/L in September) with an increase in the testosterone/estradiol index (173.82 and 54.01 units, respectively). **Conclusions.** The individual-typological variability of the dopaminergic system in the replacement of photoperiods in males living in the European North may have an indirect effect on the pituitary-gonadal axis through parallel activation of the adrenal cortex and increased aromatase activity. We assume that an increase in dopamine content during the period of minimum daylight hours plays a significant role in the compensatory adaptive increase in estradiol levels in the male population of the North.

Key words: dopamine, cortisol, sex hormones, aromatase, photoperiod, daylight duration, European North, males, individual reactions.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study was supported by State Assignment 122011800392-3.

Correspondence author: Elfimova A.E., e-mail: a.elfimova86@mail.ru

Citation: Elfimova A.E., Tipisova E.V., Zyabishcheva V.N., Alikina V.A., Molodovskaya I.N. Indicators of the pituitary-gonadal axis and cortisol levels, depending on the individual-typological reaction of the dopaminergic system, to changes in the photoperiod of the year in males living in the European North. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2024;44(5):88–94. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20240510

Введение

Данная работа является продолжением исследования фотопериодических изменений дофаминергической, гипофизарно-тиреоидной и гипофизарно-гонадной систем у жителей арктических территорий. В условиях изменения климата и улучшения социальных условий жизни некоторые погодные условия высоких широт (например, температура или относительная влажность воздуха) могут в настоящее время оказывать не такое сильное воздействие на организм человека, как раньше. В то же время контрастная продолжительность светового дня остается специфическим фактором, несомненно, влияющим на здоровье человека в условиях Севера.

Как известно, гормональная система, наряду с симпатoadреналовой, является важнейшим звеном в адаптационных процессах. Несмотря на то что адаптивная реакция развивается по одной и той же схеме, независимо от вида воздействий, ее индивидуальные особенности определяются множеством эндогенных и экзогенных факторов: гено- и фенотипических, конституциональных, социально-экологических [1]. Поскольку люди имеют разную чувствительность к циркулиру-

ющим гормонам, необходимы разные титры гормонов для поддержания одного и того же уровня физиологической функции. В предыдущей работе нами показано параллельное изменение уровня периферического дофамина и активности гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы у мужчин г. Архангельска в динамике фотопериодов года с нарастанием в периоды увеличения и максимальной продолжительности светового дня и снижением в период уменьшения продолжительности светового дня. В период минимального светового дня отмечено два типа реакций со стороны дофаминергической и гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной систем с параллельным повышением и снижением их активности [2].

Известно также о некоторых эффектах дофамина в модулировании функции половых желез, которые в основном касаются его влияния на синтез и секрецию пролактина, а также на изменение уровня ароматазы – фермента, конвертирующего андрогены в эстрогены [3, 4]. Таким образом, целью данной работы является сравнение реактивности гипофизарно-гонадной системы и уровня кортизола при двух типах реакций дофаминергической системы у мужчин – жителей г. Архангельска на смену фотопериода года.

Материал и методы

В течение одного года проводили четырехкратное обследование (в марте, июне, сентябре, декабре) 20 практически здоровых мужчин г. Архангельска (средний возраст $33,3 \pm 5,3$ года), в ходе которого осуществляли анкетирование и сбор крови. Критериями включения являлись постоянное проживание в г. Архангельске, возраст от 22 до 44 лет, отсутствие эндокринной патологии и сердечно-сосудистых жалоб, а также обострений хронических заболеваний, если таковые имелись в анамнезе. Ни один из обследованных не проходил лечения от бесплодия. Исследование проводилось с условием добровольного информированного письменного согласия, одобрено Комитетом по биомедицинской этике ФГБУН ФИЦ комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова УрО РАН (протокол № 1 от 15.03.2018) и выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (1964 г., ред. 2013 г.). Выбор месяцев для обследования определялся наиболее значимыми изменениями продолжительности светового дня.

Образцы крови для измерения содержания гормонов были взяты между 08:00 и 10:00 ч. Концентрацию дофамина, фолликулостимулирующего гормона (ФСГ), лютеинизирующего гормона (ЛГ), пролактина, прогестерона, кортизола, общего и свободного тестостерона, эстрадиола, дегидроэпиандростерон-сульфата (ДГЭА-С) и сексстероидсвязывающего глобулина (СССГ) определяли в крови методом ИФА на автоматическом планшетном анализаторе ELISYS Uno (Human GmbH, Германия) с использованием тест-систем ООО «Компания АлкорБио» (Россия), DRG Instruments GmbH (ФРГ), Labor Diagnostika Nord GmbH & Co. KG (ФРГ). За нормативные показатели принимали диапазон референсных значений используемых тест-наборов. Также были рассчитаны индексы тестостерон/эстрадиол, тестостерон/ЛГ, ЛГ/ФСГ.

Статистическая обработка выполнена с использованием STATISTICA v.10.0. Для проверки нормальности данных использовали тест Шапиро – Уилка, по результатам которого применялись непараметрические методы анализа. Результаты представлены в виде $Me (min; max)$, где Me – медиана, min – минимальное значение, max – максимальное значение. Сравнение показателей между зависимыми выборками проводили с помощью критерия Вилкоксона, между независимыми – с помощью критерия Манна – Уитни, при этом значимыми считались значения при $p < 0,05$. Взаимосвязи между значениями признаков определяли с помощью критерия ранговой корреляции Спирмена (ρ).

Результаты

По результатам наших наблюдений уровень дофамина у всех обследуемых минимален в сентябре (период уменьшения продолжительности светового дня) [5]. На основании анализа индивидуальных реакций выборка была разделена на две группы: 1 – концентрация дофамина у обследуемых повышается в декабре по сравнению с сентябрем ($n = 10$); 2 – концентрация дофамина снижается или не изменяется в декабре по сравнению с сентябрем ($n = 10$). Выбор основывался на расчете изменения уровня дофамина от сентября к декабрю в пределах годового значения $Me \times C_v$, где C_v – коэффициент вариации показателя в пределах постановки, который, согласно инструкциям производителя, составляет 29,8 % (0,1 нмоль/л).

В группе 1 на фоне повышения уровня дофамина в декабре отмечены снижение концентрации общего и свободного тестостерона, индекса тестостерон/ЛГ и, кроме того, тенденция к уменьшению содержания СССРГ (табл. 1). В то же время у обследуемых из группы 2 значимых изменений уровня тестостерона не выявлено, однако показано существенное снижение концентрации эстрадиола, СССРГ и значения индекса ЛГ/ФСГ (табл. 2). При этом отмечено повышение значений индексов тестостерон/эстрадиол и тестостерон/ЛГ. Сравнение двух групп в декабре показало различия между ними по содержанию кортизола ($p = 0,037$) и эстрадиола ($p = 0,023$), которые значимо выше у лиц с нарастанием концентраций дофамина, а также по уровню ФСГ ($p = 0,082$) и значениям индекса тестостерон/эстрадиол ($p = 0,054$), которые, напротив, имеют тенденцию к более низким значениям, чем в группе 2.

Также нами рассмотрены корреляционные взаимоотношения между содержанием гормонов в период минимального светового дня, когда выявлены наибольшие индивидуальные различия в концентрации дофамина (рисунок). В группе 1 (рисунок, а) в качестве центрального звена можно выделить комплекс «тестостерон – кортизол», через который связаны остальные показатели гипофизарно-гонадной системы. В то же время в группе 2 (рисунок, б) уровень тестостерона связан только с содержанием свободного тестостерона и СССРГ, а большее значение приобретают такие показатели, как прогестерон и эстрадиол.

Обсуждение

Анализируя полученные данные о параллельном изменении дофаминергической и гипофизарно-тиреоидной осей в выявленных типах реакции на изменение фотопериода, мы полагали, что схожие изменения будут выявлены и в системе «ги-

Таблица 1. Содержание дофамина, кортизола и компонентов гипофизарно-гонадной оси в группе 1

Table 1. Contents of dopamine, cortisol and components of the pituitary-gonadal axis in group 1

Содержание гормона	Референсный диапазон	Сентябрь	Декабрь	p
Дофамин, нмоль/л	< 0,653	0,232 (0,000; 0,371)	0,480 (0,30; 0,71)	0,004
Кортизол, нмоль/л	150–660	535,51 (336,00; 785,71)	574,22 (480,38; 751,12)	> 0,05
ФСГ, МЕ/л	1,0–11,8	3,36 (1,91; 5,22)	3,60 (1,36; 5,71)	> 0,05
ЛГ, МЕ/л	0,8–8,4	2,65 (0,97; 4,92)	3,11 (0,97; 4,30)	> 0,05
Прогестерон, нмоль/л	0,5–5,2	6,87 (5,16; 15,08)	7,16 (4,80; 9,55)	> 0,05
ДГЭА-С, мкмоль/л	2,7–11,34	11,87 (7,46; 14,98)	11,49 (6,40; 16,06)	> 0,05
Тестостерон, нмоль/л	12,1–38,3	25,20 (12,76; 37,99)	18,16 (12,48; 33,38)	0,037
Свободный тестостерон, пг/мл	1,00–28,28	4,29 (3,59; 30,70)	3,77 (3,48; 22,14)	0,013
Эстрадиол, нмоль/л	0,11–0,25	0,31 (0,24; 0,42)	0,23 (0,13; 0,41)	> 0,05
СССГ, нмоль/л	12,4–78,4	24,62 (12,84; 48,98)	23,62 (12,58; 39,64)	0,059
Пролактин, нг/мл	5,0–23,6	13,80 (6,61; 18,37)	13,51 (6,69; 23,09)	> 0,05
Тестостерон/эстрадиол, усл. ед.		70,58 (34,58; 133,22)	84,11 (44,28; 153,59)	> 0,05
Тестостерон/ЛГ, усл. ед.		8,22 (2,87; 21,46)	6,44 (3,10; 14,16)	0,022
ЛГ/ФСГ, усл. ед.		0,93 (0,30; 1,78)	0,80 (0,28; 2,00)	> 0,05

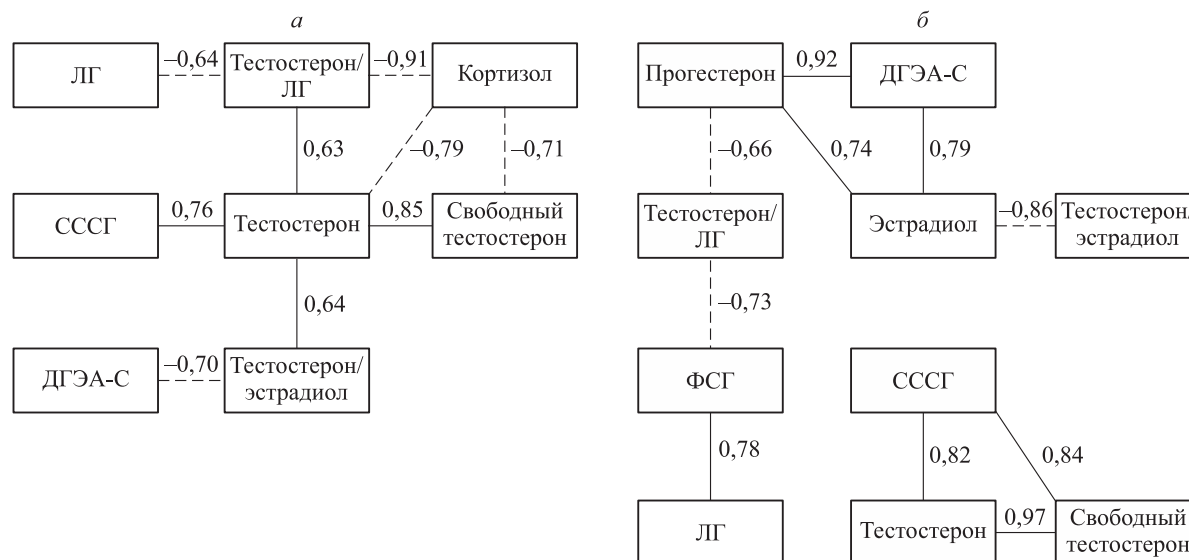
поталамус – гипофиз – гонады», тем более что ранее нами также получены данные о максимальной активности анализируемых систем в период увеличения светового дня. Однако в группе лиц, у которых уровень дофамина возрастает от сентября к декабрю, напротив, происходит снижение концентрации общего и свободного тестостерона. Возможно, это объясняется более высоким

содержанием кортизола в данной группе, которое, в свою очередь, имеет отрицательную корреляцию с уровнем общих и свободных фракций тестостерона. Другими исследователями также обнаружена отрицательная связь между содержанием кортизола и тестостерона после физической нагрузки и стресса, что авторы связывают с ингибированием секреции тестостерона путем

Таблица 2. Содержание дофамина, кортизола и компонентов гипофизарно-гонадной оси в группе 2

Table 2. Contents of dopamine, cortisol and components of the pituitary-gonadal axis in group 2

Содержание гормона	Референсный диапазон	Сентябрь	Декабрь	p
Дофамин, нмоль/л	< 0,653	0,246 (0,083; 0,539)	0,232 (0,01; 0,41)	> 0,05
Кортизол, нмоль/л	150–660	483,00 (254,63; 626,07)	502,69 (311,06; 627,38)	> 0,05
ФСГ, МЕ/л	1,0–11,8	4,21 (3,07; 7,69)	4,58 (2,95; 9,33)	> 0,05
ЛГ, МЕ/л	0,8–8,4	3,40 (1,74; 6,34)	3,40 (1,83; 5,70)	> 0,05
Прогестерон, нмоль/л	0,5–5,2	6,54 (4,59; 11,53)	6,70 (4,00; 10,41)	> 0,05
ДГЭА-С, мкмоль/л	2,7–11,34	11,44 (6,11; 18,35)	11,33 (5,40; 18,90)	> 0,05
Тестостерон, нмоль/л	12,1–38,3	14,48 (6,29; 39,61)	18,36 (12,36; 34,74)	> 0,05
Свободный тестостерон, пг/мл	1,00–28,28	3,73 (2,49; 17,02)	3,88 (3,35; 19,50)	> 0,05
Эстрадиол, нмоль/л	0,11–0,25	0,31 (0,24; 0,43)	0,13 (0,05; 0,28)	0,005
СССГ, нмоль/л	12,4–78,4	33,72 (17,79; 69,62)	30,18 (15,70; 63,42)	0,022
Пролактин, нг/мл	5,0–23,6	16,86 (5,55; 24,73)	15,31 (6,12; 32,62)	> 0,05
Тестостерон/эстрадиол, усл. ед.		54,01 (14,77; 118,24)	173,82 (51,09; 434,25)	0,004
Тестостерон/ЛГ, усл. ед.		4,29 (2,06; 7,56)	5,94 (3,86; 15,36)	0,037
ЛГ/ФСГ, усл. ед.		0,80 (0,40; 1,72)	0,64 (0,48; 1,08)	0,059



Статистически значимые ($p < 0,05$) корреляционные взаимосвязи между уровнями гормонов в группах 1 (а) и 2 (б) в период минимальной продолжительности светового дня (декабрь); $p < 0,05$

Statistically significant ($p < 0.05$) correlation relationships between hormone level in groups 1 (a) and 2 (б) during the period of minimum daylight hours (December)); $p < 0,05$

прямого воздействия кортизола на яички [6, 7]. Таким образом, активизация надпочечников у обследуемых в группе 1 может приводить к снижению содержания андрогенов. Кроме того, в данной группе можно отметить достаточно высокий уровень эстрадиола как в сентябре, так и в декабре. Такое смещение диапазона колебаний содержания гормона в сторону повышения у мужчин Европейского Севера отмечено и ранее [8]. Несмотря на имеющиеся данные о неблагоприятном влиянии увеличения концентрации эстрогенов на здоровье мужчин [9, 10], известно, что эстрадиол в мужском организме является важным гормоном для обеспечения репродуктивной функции, регуляции уровня глюкозы, инсулиноподобного фактора роста-1, обмена веществ, роста костей и поддержания здоровья скелета [11, 12]. Мы полагаем, что повышение содержания эстрадиола может быть также компенсаторной адаптационной реакцией в условиях высоких широт, способствующей поддержанию оптимальной работы щитовидной железы [13]. Возможное вовлечение в адаптивные перестройки гормонов с анаболическим действием, в том числе эстрадиола, показано также у российских мужчин-космонавтов в ранний послеполюсный период [14].

В то же время в группе мужчин, уровень дофамина у которых не возрастает зимой, выявлено значительное снижение концентрации эстрадиола и, соответственно, повышение индекса тестостерон/эстрадиол, что подтверждается отрицательной взаимосвязью данных показателей. При

этом содержание эстрадиола в группе 2 значительно ниже, а величина индекса значительно выше, чем в группе 1. Учитывая влияние дофамина на активность ароматазы, можно предположить, что в группе 1 более высокое содержание дофамина в декабре может быть причиной усиления ароматизации тестостерона, обеспечивающего необходимый уровень эстрадиола, в то время как в группе 2 повышение индекса тестостерон/эстрадиол на фоне снижения концентрации эстрадиола свидетельствует о снижении конвертации тестостерона. Таким образом, роль увеличения содержания дофамина в период минимальной продолжительности светового дня может заключаться в необходимости поддержания достаточно высокого уровня эстрадиола у мужчин.

Обращает на себя внимание тот факт, что в декабре в обеих группах концентрация тестостерона практически одинакова, однако в сентябре в группе 1 она в 1,7 раза больше, чем в группе 2. Возможно, на содержание тестостерона оказывают влияние другие факторы или существует иная индивидуально-типологическая вариабельность данного андрогена на смену фотопериодов, что также следует рассмотреть более подробно.

Заключение

Анализ фотопериодической динамики уровня дофамина показал два типа реакций дофаминергической системы мужчин г. Архангельска при переходе от сентября к декабрю: повышение его

содержания в крови либо снижение (или отсутствие изменений). В группе с первым типом реакций выявлено снижение концентрации общих и свободных фракций тестостерона, что может быть связано с более высоким уровнем кортизола. Кроме того, мы предполагаем, что повышение содержания дофамина в период минимальной продолжительности светового дня играет значительную роль в компенсаторном адаптационном увеличении уровня эстрадиола у мужского населения Севера, что находит подтверждение в группе со вторым типом реакций, где отмечено значительное снижение концентрации эстрадиола при увеличении индекса тестостерон/эстрадиол.

Таким образом, индивидуально-типологическая вариабельность дофаминергической системы на смену фотопериодов у мужчин Европейского Севера может оказывать опосредованный эффект на гипотизарно-гонадную ось через параллельную активацию коры надпочечников и усиление активности ароматазы.

Список литературы / References

1. Муртазина Е.П., Коробейникова И.И., Поскотина Л.В., Каратыгин Н.А., Перцов С.С. Анализ когнитивных функций и нейрофизиологических процессов при адаптации человека к условиям Арктики. *Рос. мед.-биол. вестн.* 2023;31(С):293–304. doi: 10.17816/PAVL0VJ109581
2. Муртазина Е.П., Коробейникова И.И., Поскотина Л.В., Каратыгин Н.А., Перцов С.С. Analysis of cognitive functions and neurophysiological processes in adaptation of human to conditions of the Arctic Region. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika Ivana Petrovicha Pavlova = I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald.* 2023;31(2):293–304. [In Russian]. doi: 10.17816/PAVL0VJ109581
3. Зябишева В.Н., Типисова Е.В., Елфимова А.Э., Молодовская И.Н., Аликина В.А. Типологические изменения уровней дофамина, кортизола и тиреоидных гормонов у мужчин г. Архангельска в динамике фотопериодов года. *Сиб. науч. мед. ж.* 2023;43(6):63–69. doi: 10.18699/SSMJ20230607
4. Зябишева В.Н., Типисова Е.В., Елфимова А.Э., Молодовская И.Н., Аликина В.А. Typological changes in the level of dopamine, cortisol and thyroid hormones in males of Arkhangelsk in the dynamics of year photoperiods. *Sibirskiy nauchnyy medicinskii zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal.* 2023;43(6):63–69. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20230607
5. Kirsch P., Kunadia J., Shah S., Agrawal N. Metabolic effects of prolactin and the role of dopamine agonists: A review. *Front. Endocrinol (Lausanne).* 2022;13:1002320. doi: 10.3389/fendo.2022.1002320
6. Xing L., Esau C., Trudeau V.L. Direct regulation of aromatase b expression by 17 β -estradiol and dopamine D1 receptor agonist in adult radial glial cells. *Front. Neurosci.* 2015;9:504. doi: 10.3389/fnins.2015.00504
7. Типисова Е.В., Зябишева В.Н., Аликина В.А., Елфимова А.Э., Молодовская И.Н. Исследование фотопериодической динамики содержания периферического дофамина в сопоставлении с тиреоидным профилем у различных групп мужчин Европейского Севера. *Пробл. эндокринолог.* 2024;70(2):85–96. doi: 10.14341/probl13286
8. Tipisova E.V., Zyabisheva V.N., Alikina V.A., Elfimova A.E., Molodovskaya I.N. Study of the photoperiodic dynamics of the peripheral dopamine content in comparison with the thyroid profile in various groups of men from the European North. *Problemy endocrinologii = Problems of Endocrinology.* 2024;70(2):85–96. [In Russian]. doi: 10.14341/probl13286
9. Khan S.U., Jannat S., Shaukat H., Unab S., Tanzeela, Akram M., Khan Khattak M.N., Soto M.V., Khan M.F., Ali A., Rizvi S.S.R. Stress induced cortisol release depresses the secretion of testosterone in patients with type 2 diabetes mellitus. *Clin. Med. Insights. Endocrinol. Diabetes.* 2023;16:11795514221145841. doi: 10.1177/11795514221145841
10. Anderson T., Lane A.R., Hackney A.C. Cortisol and testosterone dynamics following exhaustive endurance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2016;116(8):1503–1509. doi: 10.1007/s00421-016-3406-y
11. Киприянова К.Е., Типисова Е.В., Горенко И.Н. Эндокринные аспекты репродуктивной функции у мужчин 22–35 лет – постоянных жителей Крайнего Севера и г. Архангельска. *Вестн. Томск. гос. ун-та. Биол.* 2017;(40):150–162. doi: 10.17223/19988591/40/9
12. Kipriyanova K.E., Tipisova E.V., Gorenko I.N. Endocrine aspects of reproductive function in men (aged 22-35 years) – residents of the Far North and Arkhangelsk. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology.* 2017;(40):150–162. [In Russian]. doi: 10.17223/19988591/40/9
13. Chen T., Wu F., Wang X., Ma G., Xuan X., Tang R., Ding S., Lu J. Different levels of estradiol are correlated with sexual dysfunction in adult men. *Sci. Rep.* 2020;10(1):12660. doi: 10.1038/s41598-020-69712-6
14. Schroeder M., Schaumburg B., Mueller Z., Parplys A., Jarczak D., Roedl K., Nierhaus A., de Heer G., Grensemann J., Schneider B., ... Gabriel G. High estradiol and low testosterone levels are associated with critical illness in male but not in female COVID-19 patients: a retrospective cohort study. *Emerg. Microbes. Infect.* 2021;10(1):1807-1818. doi: 10.1080/22221751.2021.1969869
15. Russell N., Grossmann M. Mechanisms in endocrinology: Estradiol as a male hormone. *Eur. J. Endocrinol.* 2019;181(1):R23–R43. doi: 10.1530/EJE-18-1000

12. Hammes S.R., Levin E.R. Impact of estrogens in males and androgens in females. *J. Clin. Invest.* 2019;129(5):1818–1826. doi: 10.1172/JCI125755

13. Кубасов Р.В. Гормональные изменения в ответ на экстремальные факторы внешней среды. *Вестн. РАМН.* 2014;69(9-10):102–109.

Kubasov R.V. Hormonal changes in response to extreme environment factors. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk = Annals of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2014;(9-10):102–109. [In Russian].

14. Ничипорук И.А., Чистоходова С.А. Влияние длительных космических полетов на

репродуктивную систему мужчин и ее взаимосвязи с составом тела. *Международ. научно-исслед. ж.* 2023;(1):76. doi: 10.23670/IRJ.2023.127.64

Nichiporuk I.A., Chistokhodova S.A. The effects of long term spaceflight on the male reproductive system and its relationship to body composition. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal.* 2023;(1):76. [In Russian] doi: 10.23670/IRJ.2023.127.64

Сведения об авторах:

Елфимова Александра Эдуардовна, к.б.н., ORCID: 0000-0003-2519-1600, e-mail: a.elfimova86@mail.ru

Типисова Елена Васильевна, д.б.н., ORCID: 0000-0003-2097-3806, e-mail: tipisova@rambler.ru

Зябишева Валентина Николаевна, ORCID: 0000-0001-6133-8249, e-mail: razvalush@yandex.ru

Аликина Виктория Анатольевна, к.б.н., ORCID: 0000-0003-3097-9427, e-mail: victoria-popcova@yandex.ru

Молодовская Ирина Николаевна, к.б.н., ORCID: 0000-0001-6133-8249, e-mail: pushistiy-86@mail.ru

Information about the authors:

Aleksandra E. Elfimova, candidate of biological sciences, ORCID: 0000-0003-2519-1600, e-mail: a.elfimova86@mail.ru

Elena V. Tipisova, doctor of biological sciences, ORCID: 0000-0003-2097-3806, e-mail: tipisova@rambler.ru

Valentina N. Zyabisheva, ORCID: 0000-0001-6133-8249, e-mail: razvalush@yandex.ru

Victoria A. Alikina, candidate of biological sciences, ORCID: 0000-0003-3097-9427, e-mail: victoria-popcova@yandex.ru

Irina N. Molodovskaya, candidate of biological sciences, ORCID: 0000-0001-6133-8249, e-mail: pushistiy-86@mail.ru

Поступила в редакцию 05.05.2024

После доработки 03.06.2024

Принята к публикации 14.09.2024

Received 05.05.2024

Revision received 03.06.2024

Accepted 14.09.2024