

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco642712>

EDN: VAYXJS



Оценка элементного дисбаланса у женщин зобно-эндемичного региона

Е.М. Степанова, Е.А. Луговая

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Актуальность обусловлена наличием на северной территории (Магадан) постоянного очага зобной эндемии. Зобная эндемия рассматривается как проявление региональных биогеохимических дезадаптаций, где основная роль в развитии гиперплазии отводится воздействию экологических стромогенов и дисбалансу макро- и микроэлементов.

Цель. Оценка элементного дисбаланса посредством интегрального показателя — коэффициента степени адаптированности элементной системы организма молодых женщин в фазе наивысшей репродуктивной активности в зависимости от уровня сывороточного тиреотропного гормона.

Материалы и методы. Содержание 25 макро- и микроэлементов в волосах определяли спектрометрическим методом, уровень содержания тиреотропного гормона — иммунохемилюминесцентным методом с использованием парамагнитных частиц.

Результаты. Характер элементного дисбаланса в группах женщин с низко- и высоконормальным уровнем сывороточного тиреотропного гормона имеет общие черты в части набора элементов в дефиците, однако общая суммарная частота дефицита значительно различается: наибольшая в группе женщин с низконормальным уровнем сывороточного тиреотропного гормона — 323% против 203% у женщин с высоконормальным показателем. Избытки элементов встречаются в единичных случаях, в основном в группе с высоконормальным уровнем тиреотропного гормона.

Заключение. Полученные данные позволяют выделить в числе подходов к оценке элементного статуса организма человека при различных функциональных состояниях и рисках коэффициент степени адаптированности системы как информативный маркер внутри- и межсистемных элементных перестроек, который в группе с низконормальным уровнем тиреотропного гормона составил 86,50 усл. ед., что несколько выше значения в группе с высоконормальным содержанием тиреотропного гормона — 75,33 усл. ед.

Ключевые слова: макроэлементы; микроэлементы; дисбаланс; адаптационный потенциал; Север.

Как цитировать:

Степанова Е.М., Луговая Е.А. Оценка элементного дисбаланса у женщин зобно-эндемичного региона // Экология человека. 2024. Т. 31, № 8. С. 608–617. DOI: 10.17816/humeco642712 EDN: VAYXJS

Рукопись поступила: 10.12.2024

Рукопись одобрена: 10.02.2025

Опубликована online: 20.02.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco642712>

EDN: VAYXJS

Assessment of elemental imbalance in women from a goiter-endemic region

Evgenia M. Stepanova, Elena A. Lugovaya

Research Center "Arktika" Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The presence of a persistent goiter endemic in the northern region of Russian Federation (Magadan) highlights the significance of this study. Endemic goiter is considered a manifestation of regional biogeochemical maladaptation, where the primary role in thyroid hyperplasia development is attributed to environmental goitrogens and macro- and microelement imbalances.

AIM: To evaluate elemental imbalance using an integral indicator, which is the adaptation coefficient of the body's elemental system, in young women at peak reproductive age, depending on their serum thyroid-stimulating hormone (TSH) levels.

MATERIALS AND METHODS: The concentrations of 25 macro- and microelements in hair samples were determined using a spectrometric method. Serum TSH levels were measured using an immunochemiluminescent method with paramagnetic particles.

RESULTS: The pattern of elemental imbalance in women with low-normal or high-normal TSH levels is similar in terms of elemental deficiencies. However, the total deficiency rate differed significantly, reaching 323% in the low-normal TSH group and 203% in the high-normal TSH group. Elemental excesses were rare and primarily found in the high-normal TSH group.

CONCLUSION: The obtained data highlight the adaptation coefficient of the body's elemental system as an informative marker of intra- and intersystem elemental shifts in assessing various functional states and risks. In the low-normal TSH group, this coefficient was 86.50 conventional units, slightly exceeding the value observed in the high-normal TSH group — 75.33 conventional units.

Keywords: macroelements; microelements; imbalance; adaptive potential; North.

To cite this article:

Stepanova EM, Lugovaya EA. Assessment of elemental imbalance in women from a goiter-endemic region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(8):608–617. DOI: 10.17816/humeco642712 EDN: VAYXJS

Received: 10.12.2024

Accepted: 10.02.2025

Published online: 20.02.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco642712>

EDN: VAYXJS

对地方性甲状腺肿病区女性的元素失衡评估

Evgenia M. Stepanova, Elena A. Lugovaya

Research Center "Arktika" Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

摘要

论证。由于俄罗斯北部（Magadan）长期存在地方性甲状腺肿病区，该现象的研究尤为重要。地方性甲状腺肿被视为区域性生物地球化学失调的表现，其主要诱因包括环境甲状腺肿诱导物的作用以及宏量和微量元素的失衡。

目的。通过整合指标——元素系统适应指数，评估处于生育高峰期的年轻女性机体元素系统的失衡情况，并分析其与血清促甲状腺激素（TSH, thyroid stimulating hormone）水平的关系。

材料与方法。采用光谱分析法测定头发样本中25种宏量和微量元素的含量，促甲状腺激素水平采用基于顺磁性颗粒的化学发光免疫测定法进行检测。

结果。在血清TSH水平处于低正常和高正常范围的女性群体中，元素失衡的特征在缺乏元素的组成上具有相似性，但元素缺乏的总发生率存在显著差异：TSH水平处于低正常范围的女性群体中，元素缺乏的总发生率最高，为323%；而在高正常范围的女性群体中，该数值为203%。元素过量现象较为罕见，主要发生于TSH水平较高的群体。

结论。研究结果表明，在评估人体元素状态于不同功能状态和健康风险下的各种方法中，元素系统适应指数可作为衡量体内及系统间元素重组的有效标志物。在TSH水平处于低正常范围的女性群体中，该指数为86.50（单位），略高于TSH水平处于高正常范围的女性群体（75.33单位）。

关键词：宏量元素；微量元素；元素失衡；适应能力；北部。

引用本文：

Stepanova EM, Lugovaya EA. 对地方性甲状腺肿病区女性的元素失衡评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(8):608–617.
DOI: 10.17816/humeco642712 EDN: VAYXJS

收到: 10.12.2024

接受: 10.02.2025

发布日期: 20.02.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Изучение элементного портрета населения, проживающего в разных биогеохимических провинциях, не теряет своей актуальности из года в год. Особый интерес представляет элементный статус жителей экстремальных северных территорий нашей страны, где на его формирование оказывает влияние целый ряд факторов окружающей среды: фотопериодизм, частые колебания атмосферного давления, электромагнитные возмущения, холод, воздействия ветра, тяжёлый аэродинамический режим, низкое содержание минеральных солей и жизненно важных биоэлементов в водах питьевого назначения, бедный минеральный состав подзолистых почв, что приводит к раннему появлению нарушений в состоянии здоровья и формированию экологически обусловленных заболеваний у населения [1–10].

Установлено, что совокупность северных факторов активизирует гормонально зависимые параметры, определяющие энергетический обмен [11, 12]. Медико-биологическими исследованиями показано, что в регионах Севера организм человека отличается своеобразным эндокринным фоном.

В Магаданской области природно-обусловленный дефицит йода является актуальной проблемой, уровень его поступления из воды и продуктов местного происхождения не обеспечивает физиологическую потребность населения и приводит к различным йоддефицитным заболеваниям. Болезни, связанные с дефицитом йода в организме человека, составляют значительную часть от всех болезней эндокринной системы. При этом зобная эндемия рассматривается как проявление региональных биогеохимических дезадаптаций, где основная роль в развитии гиперплазии отводится воздействию экологических стромогенов и дисбалансу макро- и микроэлементов [13–16].

Цель исследования. Оценка элементного дисбаланса посредством интегрального показателя — коэффициента степени адаптированности элементной системы организма молодых женщин в фазе наивысшей репродуктивной активности в зависимости от уровня сывороточного тиреотропного гормона (ТТГ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено перекрёстное неконтролируемое исследование в весенний период года, в котором приняли участие молодые женщины (средний возраст $27,28 \pm 0,23$ года), уроженки Магадана 1-го или 2-го поколения, европеоиды, без соматических заболеваний, с индексом массы тела в пределах нормы ($16,7\text{--}24,6 \text{ кг/м}^2$), что позволило включить их в группу предварительного анализа.

Из общего числа обследуемых выделены две группы: 1-я ($n=30$) — женщины со значениями ТТГ $0,5\text{--}2,0 \text{ мМЕ/л}$ (низконормальный уровень), 2-я ($n=25$) — женщины

со значениями ТТГ $2,1\text{--}4,2 \text{ мМЕ/л}$ (высоконормальный уровень).

Критериями исключения из исследования являлись эндокринные и гинекологические заболевания, обострение хронических заболеваний, приём гормональных контрацептивов, препаратов, влияющих на функцию щитовидной железы, беременность, кормление грудью, отсутствие добровольного информированного согласия на участие в исследовании.

При анкетировании фиксировали возраст, социальное положение, место рождения и срок проживания на Севере, определяли антропометрические данные (длину и массу тела), физиологическое состояние (стадия менструального цикла, наступление менархе, длительность менструального цикла). Отмечали также некоторые социально значимые факторы, способные вызвать стромогенный эффект (например, профессиональные занятия спортом, курение и его стаж), что также являлось фактором исключения из выборки.

Забор волос для анализа на содержание в организме макро- и микроэлементов осуществляли на базе Научно-исследовательского центра «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук. Волосы состригали с затылочной части головы от корня на длину 2 см и в количестве не менее 0,1 г. В образцах волос оценивали содержание 25 макро- и микроэлементов: алюминия (Al), мышьяка (As), бериллия (Be), кальция (Ca), кадмия (Cd), кобальта (Co), хрома (Cr), меди (Cu), железа (Fe), ртути (Hg), йода (I), калия (K), лития (Li), магния (Mg), марганца (Mn), молибдена (Mo), натрия (Na), никеля (Ni), фосфора (P), свинца (Pb), селена (Se), кремния (Si), олова (Sn), ванадия (V), цинка (Zn). Аналитическое исследование проводили методами атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной аргонной плазмой (АЭС-ИСП) согласно МУК 4.1.1482-03 на приборе Optima 2000 DV (PerkinElmer, США) в ООО «Микронутриенты» (Москва).

Методика определения в биосубстратах макро- и микроэлементов методом АЭС-ИСП основана на окислительно-кислотной «мокрой» минерализации проб исследуемых биосубстратов и последующем разложении их на требуемые химические элементы методом АЭС-ИСП с использованием в качестве источника возбуждения высокочастотной индуктивно-связанной аргонной плазмы. Оперативный контроль качества осуществляли путём анализа испытуемых проб и стандартного образца, химический состав которого не должен был отличаться от состава испытуемой пробы настолько, чтобы потребовалось изменить методику анализа. При оценке полученных величин содержания макро- и микроэлементов в биосубстратах использовали диапазоны, предлагаемые А.В. Скальным и соавт. в качестве границ нормы [17]. Полученные значения сравнивали с региональными показателями содержания макро- и микроэлементов в организме жителей Магадана [18].

Протокол обследования одобрен комиссией по биоэтике Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения Российской академии наук (протокол № 001/020). Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2013 г.) и ФЗ № 323 «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011, ФЗ № 152 «О персональных данных» от 27.07.2006. До включения в исследование от всех испытуемых получено письменное информированное согласие о добровольном участии в работе.

Статистическую обработку данных проводили стандартными методами с использованием IBM SPSS Statistics v/21.0 [19, 20]. Характер распределения массива значений содержания химических элементов определяли методом Колмогорова–Смирнова. Для установления различий между двумя независимыми выборками по количественным показателям применяли критерий Манна–Уитни. Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принимали при $p < 0,05$. Параметры описательной статистики для количественных показателей приведены в виде медианы (Me), выборочного среднего (M), выборочного стандартного отклонения (σ), процентильных интервалов (25%, 75%).

Элементный портрет женщин с разным уровнем сыровоточного ТТГ представлен в виде формул элементного дисбаланса, где в числителе указаны элементы с избыточными значениями, в знаменателе — с дефицитными.

Показатель степени адаптированности элементной системы организма к условиям окружающей среды (A) на фоне низконормального и высоконормального уровня сыровоточного ТТГ рассчитывали по формуле на основе значений коэффициентов корреляции, определённых с помощью ранговой корреляции Спирмена:

$$A = \frac{n \times \sum K_k}{N},$$

где A — степень адаптированности (усл. ед.), n — количество корреляционных связей между элементами с коэффициентом корреляции 0,5 и более, $\sum K_k$ — сумма коэффициентов корреляции без учёта знака, N — число микроэлементов, объединённых в плеяды [21]. Плеяды были построены по принципу расположения в ядре тех элементов, с которыми (и между которыми) образовано наибольшее количество связей. При этом общее число параметров в плеяде должно было быть не менее четырёх.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Значения показателей элементного профиля женщин северянок репродуктивного возраста приведены в табл. 1.

Анализ полученных абсолютных значений концентраций 25 макро- и микроэлементов не выявил статистически значимых различий в зависимости от уровня в организме сыровоточного ТТГ. Медиана концентрации значительного числа элементов в обеих группах отличалась

от региональных показателей содержания макро- и микроэлементов в организме жителей Магадана: As, K, P — выше 75-го процентиля, Co, Cr, V — ниже 25-го процентиля, но в большинстве соответствовала референсным лабораторно-диагностическим величинам.

Характер элементного дисбаланса в группах женщин с низко- и высоконормальным уровнем сыровоточного ТТГ имеет общие черты в части набора элементов в дефиците, однако общая суммарная частота дефицита значительно различается: наибольшая она в группе женщин с низконормальным уровнем сыровоточного ТТГ (323%) против 203% у женщин с высоконормальным показателем ТТГ. Избытки элементов встречаются в единичных случаях и в основном в группе с высоконормальным уровнем ТТГ (табл. 2).

На основе анализа выявленных корреляционных связей для оценки элементного дисбаланса у женщин зобно-эндемичного региона применяли подход, предложенный в работе Р.М. Баевского и соавт. [21], неоднократно используемый ранее в наших работах и в работах других авторов [22–24], с расчётом показателя степени адаптированности функциональной системы организма, к которой мы отнесли так называемую элементную систему — набор из 25 макро- и микроэлементов, представляющий собой стандартный комплекс химических элементов, определяемый спектрометрическими методами для оценки обеспеченности организма эссенциальными элементами. Показатель степени адаптированности в группе женщин с низконормальным уровнем ТТГ составил 86,50 усл. ед., что было несколько выше значения в группе женщин с высоконормальным содержанием ТТГ — 75,33 усл. ед.

Для отражения структуры связей, на основе которых рассчитан коэффициент адаптированности, построили корреляционные плеяды тиреоспецифических элементов для каждой группы (рис. 1).

Все выявленные корреляционные связи в системе тиреоспецифических макро- и микроэлементов прямые, разной силы взаимного влияния, значимые на уровне 0,05, за исключением пар элементов Ca/Mg, Ca/Mn, Cr/Mo, Mg/Mn в 1-й группе и Ca/I, Ca/Fe, Fe/I, Fe/Zn, I/Zn — во 2-й группе, с уровнем статистической значимости $p=0,01$ (табл. 3).

Корреляционные матрицы элементной плеяды различаются в группах с разным уровнем сыровоточного ТТГ. Общими являются корреляционные пары Ca/Fe, Ca/Cu, Ca/I, Ca/Mg, Ca/Mn, Co/Mn, Cr/Mo, Fe/I.

ОБСУЖДЕНИЕ

В проведённом Е.М. Степановой исследовании [25] проанализировано структурно-функциональное состояние щитовидной железы жительниц Магадана репродуктивного возраста, не имеющих установленной патологии щитовидной железы и проживающих в зоне вторичного йодного дефицита. У 32% лиц отмечен высоконормальный уровень ТТГ со статистически значимым снижением

интегрального тиреоидного индекса и индекса соответствия функции щитовидной железы функции гипофиза, что позволило предположить в этой группе минимальную тиреоидную недостаточность, раннюю по срокам возникновения и наиболее лёгкую по степени тяжести, на фоне меньших по сравнению с показателями у женщин с низконормальным уровнем ТТГ значений концентрации сывороточной фракции свободного Т4, указывающих на снижение процессов периферической конверсии йодтиронинов у лиц с более высокими уровнями ТТГ.

В настоящем исследовании интерес представлял элементный статус женщин возраста наивысшей репродуктивной активности (20–34 лет) в зависимости от уровня сывороточного ТТГ в организме (высоконормальный

Таблица 1. Значения статистических показателей элементного профиля женщин репродуктивного возраста Магадана, мкг/г сухой массы

Table 1. Values of statistical indicators of the elemental profile of reproductive women in Magadan, mcg/g of dry weight

Микро-эле-менты Trace ele-ments	1-я группа Group 1					2-я группа Group 2					Референсные пределы Reference range		p
	Me	M	σ	25%	75%	Me	M	σ	25%	75%	Границы нормы [17] Range for norm [17] (25–75%)	Региональ- ные зна- чения [18] Regional level [18] (25–75%)	
Макроэлементы Macronutrients													
Ca	261,00	254,00	151,18	149,50	449,50	430,00	572,29	479,12	281,00	1426,00	250,00–4000,00	257,36–761,49	0,062
K	300,00	322,00	151,18	193,50	442,50	298,00	353,63	175,09	234,00	419,75	30,00–1000,00	17,09–76,84	0,600
Mg	37,00	41,69	26,83	25,00	48,50	52,50	103,00	101,85	28,75	177,00	25,00–500,00	21,34–68,27	0,243
Na	59,00	112,13	108,45	36,00	189,00	65,50	160,13	174,59	29,25	324,75	30,00–2500,00	40,65–184,43	0,930
P	170,00	168,06	36,54	143,00	193,50	171,50	176,88	28,80	147,25	209,50	120,00–250,00	137,35–165,73	0,771
Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы Essential and conditionally essential trace elements													
As	0,13	0,12	0,03	0,10	0,15	0,14	0,14	0,03	0,10	0,16	<1,00	0,04–0,06	0,398
Be	0,0006	0,0008	0,0005	0,0004	0,0012	0,0010	0,0016	0,0017	0,0006	0,0024	<0,005	0,00–0,01	0,320
Co	0,005	0,009	0,008	0,0047	0,012	0,008	0,017	0,022	0,0049	0,057	0,004–0,300	0,01–0,02	0,281
Cu	9,20	9,26	2,95	7,70	11,50	9,20	8,76	2,26	7,95	10,75	9,00–50,00	8,46–11,55	0,953
Cr	0,085	0,096	0,043	0,072	0,108	0,088	0,184	0,246	0,065	0,156	0,04–1,00	0,23–0,53	0,861
Fe	17,00	18,79	9,82	11,00	26,00	16,50	21,00	13,21	15,00	44,50	7,00–70,00	14,21–29,69	0,431
I	0,688	0,878	0,689	0,29	1,35	0,757	1,04	0,93	0,24	1,76	0,15–10,00	0,30–1,05	0,793
Li	0,019	0,020	0,009	0,013	0,029	0,030	0,032	0,020	0,01	0,051	<0,10	0,01–0,02	0,200
Mn	0,349	0,738	0,706	0,26	1,18	0,676	0,977	0,840	0,33	1,96	0,25–7,00	0,43–1,66	0,322
Mo	0,028	0,03	0,009	0,023	0,039	0,031	0,033	0,011	0,025	0,036	0,015–0,100	Нет данных No data avail- able	0,732
Ni	0,13	0,18	0,08	0,12	0,26	0,16	0,26	0,24	0,11	0,29	<2,00	0,11–0,31	0,907
Se	0,442	0,424	0,164	0,26	0,57	0,599	0,535	0,241	0,43	0,51	0,20–2,00	0,26–0,48	0,116
Si	19,00	18,82	2,85	17,50	20,50	18,00	18,63	1,22	18,00	19,75	11,00–70,00	17,40–46,15	0,743
V	0,010	0,012	0,007	0,007	0,012	0,010	0,018	0,018	0,009	0,018	0,005–0,100	0,02–0,08	0,322
Zn	180,00	200,53	72,16	147,00	243,50	195,00	307,63	291,91	154,00	301,50	140,00–500,00	154,52–211,68	0,541
Токсичные элементы Toxic elements													
Al	3,60	4,23	2,44	2,55	5,05	4,35	4,69	2,11	3,05	8,33	<25,00	4,37–13,82	0,256
Cd	0,003	0,004	0,002	0,002	0,005	0,0025	0,0061	0,0078	0,002	0,008	<0,25	0,00–0,02	0,859
Hg	0,318	0,365	0,242	0,15	0,48	0,145	0,213	0,191	0,11	0,22	<1,00	0,30–0,67	0,062
Sn	0,046	0,297	0,803	0,023	0,088	0,11	0,36	0,45	0,021	0,758	<3,00	0,04–0,20	0,415
Pb	0,04	0,072	0,059	0,034	0,102	0,043	0,11	0,16	0,028	0,108	<5,00	0,09–0,33	0,771

Таблица 2. Встречаемость элементного дисбаланса в организме женщин репродуктивного возраста с разным уровнем сывороточного тиреотропного гормона, проживающих в Магадане, %

Table. 2. Frequency of elemental imbalance in the body of reproductive women with different levels of serum thyroid-stimulating hormone living in Magadan, %

Группа Group	Встречаемость элементного дисбаланса Frequency of elemental imbalance
1-я	Fe(6)
	Cu(65)Ca(53)Co(41)Mg(35), Mn, Na, Zn(29), Se(18)I, P(12)
2-я	Al(6)Be(6)Co(6)Fe(6)Se(13)Zn(6)
	Cu(75)Mg, Na(25)Ca, Co, I, Mn, Se, Zn(13)

и низконормальный уровень), а также различается ли минералограмма организма женщин в зависимости от уровня сывороточного ТТГ. На стадии формирования научной гипотезы предполагалось, что у женщин с признаками

минимальной тиреоидной недостаточности, ранней по срокам возникновения и наиболее лёгкой по степени тяжести, будет выявлен глубокий дефицит тиреотропных элементов, ассоциированный с пониженной функцией щитовидной железы. Однако полученные нами данные свидетельствуют об обратном: больший процент элементного дефицита обнаружен в 1-й группе обследованных женщин на фоне низконормальной концентрации в организме ТТГ.

При высоконормальном уровне ТТГ наблюдаются признаки минимальной тиреоидной недостаточности, что влечёт за собой снижение уровня метаболизма и компенсаторно тормозит элиминацию макро- и микроэлементов из организма до тех пор, пока функциональные резервы сдерживают срыв адаптации.

На фоне общего дефицитного профиля при низконормальном уровне сывороточного ТТГ выявлена наибольшая частота недостаточного содержания Ca у 53% женщин, Co — у 41%, Mg — у 35%, Zn — у 29%, Mn — у 29%, Se — у 18%, дефицит йода выражен незначительно и соотносим в обеих группах. При этом дефицит тиреоспецифических

Таблица 3. Корреляционные связи пар тиреоспецифических макро- и микроэлементов у женщин репродуктивного возраста

Table. 3. Correlations of pairs of macro- and microelements involved in thyroid performance regulation in reproductive women

1-я группа Group 1			2-я группа Group 2		
Связь МЭ/МЭ ($r \geq 0,5$) ME/ME correlation ($r \geq 0,5$)	r	p	Связь МЭ/МЭ ($r \geq 0,5$) ME/ME correlation ($r \geq 0,5$)	r	p
Ca/Fe	0,655	0,01	Ca/Fe	0,862	0,01
Ca/I	0,520	0,05	Ca/I	0,738	0,01
Ca/Mg	0,748	0,01	Ca/Mg	0,810	0,01
Ca/Mn	0,718	0,01	Ca/Mn	0,786	0,05
Ca/Co	0,601	0,05	Ca/Zn	0,810	0,05
Ca/Cu	0,602	0,05			
Co/Mn	0,519	0,05	Co/Mn	0,810	0,05
Co/Fe	0,590	0,05	Co/Cu	0,731	0,05
Co/Mg	0,497	0,05	Co/Zn	0,714	0,05
Cr/Mo	0,655	0,01	Cr/Mo	0,755	0,05
Cr/I	0,484	0,05			
Cu/Mg	0,713	0,05	Cu/Mo		
			Cu/Zn	0,795	0,05
Mo/Fe	0,603	0,05			
Mo/I	0,603	0,05			
Mo/Zn	0,615	0,05			
Fe/I	0,548	0,05	Fe/I	0,874	0,01
Fe/Mg	0,522	0,05	Fe/Zn	0,886	0,01
Fe/Mn	0,644	0,05	Fe/I	0,874	0,01
Fe/Se	0,543	0,05			
Mg/Mn	0,643	0,01			
			I/Zn	0,881	0,01
Se/Zn	0,591	0,05			
			Mn/Zn	0,738	0,05

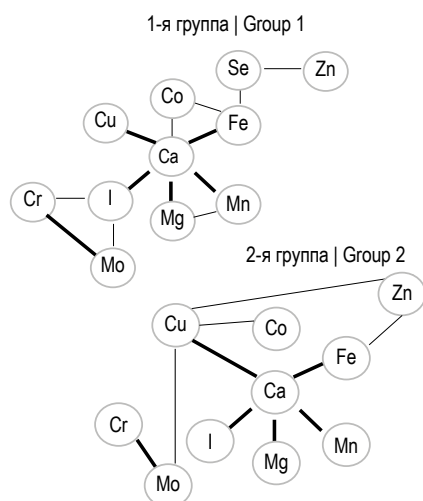


Рис. 1. Корреляционные плеяды химических элементов в группах обследованных женщин: прямая линия — прямая корреляционная связь, полужирный контур — связи, обнаруженные в корреляционных плеядах обеих групп, независимо от уровня сывороточного тиреотропного гормона (ТТГ) в группе; 1-я группа — низконормальный ТТГ; 2-я группа — высоконормальный ТТГ.

Fig. 1. Correlational matrix of chemical elements in the groups of examined: a straight line is a direct correlation, the bold outline indicates the relationships found in the correlational pleiades of both groups, regardless of the level of serum thyroid-stimulating hormone (TSH) in the group; Group 1 — low-normal TSH; Group 2 — high-normal TSH.

макро- и микроэлементов, участвующих в процессе усвоения йода щитовидной железой, вероятно, можно рассматривать как стромогенный фактор формирования йоддефицитных состояний у женщин репродуктивного возраста в условиях Севера.

Для оценки элементного статуса организма человека и количественной оценки степени резистентности организма к действию неблагоприятных условий окружающей среды и интерпретации данных о содержании макро- и микроэлементов в волосах людей с учётом не только абсолютных значений показателей, но и с анализом их соотношений путём расчёта различных коэффициентов и выведения индикаторов дисбаланса интересен коэффициент степени адаптированности элементной системы организма к условиям окружающей среды.

Одним из важнейших подходов к диагностике нарушений элементного гомеостаза является анализ парных корреляций между элементами (по данным атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии биосубстратов), который может служить источником достоверной информации о наличии или отсутствии в биосубстрате металлолигандных комплексов, а также позволяет выявить адаптационные механизмы в структуре межэлементных отношений.

По мнению исследователей, одним из механизмов, обеспечивающих адекватный ход адаптационных перестроек, является увеличение числа внутри- и межсистемных связей как средство более надёжного функционирования организма (или его отдельной системы)

в случае каких-либо нарушений или поломки в одном из регуляторных звеньев. При этом, как было показано рядом физиологических исследований, происходит перераспределение функциональных нагрузок на другие системы организма, что компенсирует вызванные нарушения и не приводит к срыву адаптации, выраженным дисрегуляторным последствиям или патологии [26, 27]. Вместе с тем А.Н. Горбань и соавт. отмечают [28], что при значительном адаптационном напряжении корреляции между физиологическими параметрами растут, соответственно, растёт значение показателя степени адаптированности, а в ходе успешной адаптации — уменьшается. В линейном приближении получается уменьшение корреляций в ходе адаптации: чем выше адаптированность, тем меньше корреляции, и, напротив, чем больше напряжение, тем они выше.

На рис. 1 видно, что, несмотря на практически одинаковый набор элементов, структура связей в обеих плеядах различна. Некоторые элементы опосредованно связаны между собой через другой элемент: например, несмотря на то что в обоих случаях в центре плеяды находится кальций как элемент с наибольшим количеством связей, в корреляционной плеяде микроэлементов в группе с низконормальным уровнем ТТГ он опосредованно связан с цинком через железо и селен, а во 2-й группе с высоконормальным уровнем ТТГ — только через железо. Учитывая функциональную роль селена в работе щитовидной железы в качестве элемента, участвующего в регуляции клеточного роста и апоптоза, секреции и метаболизме тиреоидных гормонов [29], в тиреоидном гормональном цикле, можно говорить о том, что для поддержания необходимого гомеостатического баланса необходимо образование этой дополнительной связи на фоне общего более выраженного, чем во 2-й группе, дисбаланса. Это касается и йода, который в 1-й группе связан не только с кальцием, но и хромом и молибденом, тогда как во 2-й группе образует простую сильную связь только с центральным элементом плеяды. Такой подход визуализации корреляционных связей также подтверждает неоднократно озвученное специалистами мнение, что чем менее устойчива система, тем большее количество межэлементных связей (в данном случае) она образует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольший суммарный дефицит эссенциальных макро- и микроэлементов выявлен у женщин с низконормальным показателем ТТГ, что определяет их в группу повышенного риска развития клинических состояний. Показатель степени адаптированности элементной системы можно считать информативным диагностическим маркером уровня внутри- и межсистемных перестроек функциональных параметров организма, который в 1-й группе с низконормальным уровнем ТТГ составил 86,50 усл. ед., что несколько выше значения в группе с высоконормальным содержанием ТТГ — 75,33 усл. ед.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.А. Луговая — подготовка протокола исследования, правки текста, окончательная редакция статьи; Е.М. Степанова — сбор и анализ данных, статистический анализ, интерпретация результатов, подготовка обзора литературы, подготовка первого варианта статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Протокол обследования одобрен комиссией по биоэтике Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения Российской академии наук (протокол № 001/020).

Информированное согласие на участие в исследовании. До включения в исследование от всех исследуемых получено письменное информированное согласие о добровольном участии в работе.

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках реализации темы государственного задания «Комплексная оценка состояния здоровья населения Дальневосточного федерального округа и Арктических территорий для разработки адаптационных программ трудоспособного контингента к экстремальным условиям жизнедеятельности» (рег. номер 124111200092-3) и при финансовой поддержке Правительства Магаданской области (конкурс грантов в форме субсидий из областного бюджета молодым учёным).

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. E.A. Lugovaya prepared the study protocol, edited the text, made the final revision of the article; E.M. Stepanova collected and analyzed data, performed statistical analysis and interpretation of results, prepared the reference review, and made the initial draft of the article. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Ethics approval. The examination protocol was approved by the Bioethics Commission of the Institute of Biological Problems of the North of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Protocol No. 001/020).

Consent for publication. Prior to inclusion in the study, all the subjects received written informed consent to participate voluntarily in the work.

Funding sources. This study was carried out by the Scientific Research Center "Arktika", Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences within the framework of the state assignment "Comprehensive assessment of the health state of populations in the Far Eastern Federal District and Arctic territories for the development of adaptation programs proposed to workable people who adapt to extreme living conditions" (Reg. number 124111200092-3), and was funded with the financial support of the Magadan Region Government as part of implementation of the Governor's Grant competition among young scientists.

Disclosure of interests. Authors declare no apparent and prospective conflicts of interest related to the publication of this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Ulyanovskaya SA, Bazhenov DV, Shestakova VG, Kalinkin MN. Effect of the climatic and geographic factors of the North on adaptive reactions of the human body. *Pathological physiology and experimental therapy*. 2020;64(1):147–154. doi: 10.25557/0031-2991.2020.01.147-154 EDN: HECFWC
2. Gorbachev AL. Biogeochemical characteristics of Russia's northern regions. In: *Man in the North: system mechanisms of adaptation: a collection of works dedicated to the 90th Anniversary of the foundation of Magadan*. Magadan: Express-polygraphs. 2019;3:68–79. (In Russ.)
3. Gridin LA. Human adaptive reactions in the conditions of the Far North. *Politics and Society*. 2015;(10):1335–1362. doi: 10.7256/1812-8696.2015.10.15173 EDN: UKPYWN
4. Zaitseva NV, Zemlyanova MA, Koldibekova YuV, Peskova EV. Study of indicators of negative effects in children under the influence of adverse factors of the subarctic climate. *Yakut Medical Journal*. 2021;(3):5–8. doi: 10.25789/YMJ.2021.75.01 EDN: ERNAAP
5. Kleyn SV, Zemlyanova MA, Koldibekova YuV, Glukhikh MV. Climatic and chemical health risk factors for people living in Arctic and Sub-Arctic regions: population and sub-population levels. *Health Risk Analysis*. 2022;(3):39–52. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.03 EDN: MOCNGK
6. Kolpakov AR, Razumenko AA, Panin LE. Circumpolar medicine. General results, problems, perspectives. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2014;(2):56–59. EDN: SFACYP
7. Lugovaya EA, Aver'yanova IV. Assessing tension coefficient of body adaptation reserves under chronic exposure to factors existing in Polar Regions. *Health Risk Analysis*. 2020;(2):101–109. doi: 10.21668/health.risk/2020.2.11 EDN: XTIDIM
8. Markin VV, Silin AN, Vershinin IS. Human health in the Arctic: socio-spatial discourse (case study of the Yamalo-Nenets autonomous okrug). *Ekonomicheskie i Social'nye Peremeny: Fakty, Tendencii, Prognoz*. 2020;13(5):182–199. doi: 10.15838/esc.2020.5.71.11 EDN: CYBAXK
9. Sergeychik OI, Yaroslavskaya EI, Plyusnin AV. Impact of environmental factors on the risk of cardiovascular disease in the population of the Arctic. *Journal of Medical and Biological Research*. 2022;10(1):64–72. doi: 10.37482/2687-1491-Z091 EDN: UZGHNW
10. Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2020 report of the lancet countdown on health and climate change: responding to converging crises. *Lancet*. 2021;397(10269):129–170. doi: 10.1016/S0140-6736(20)32290-X
11. Evseeva SA, Burtseva TE, Klimova TM, et al. Seasonal changes in the pituitary — thyroid system in children of the arctic region of Yakutia. *Yakut Medical Journal*. 2021;(2):91–93. doi: 10.25789/YMJ.2021.74.23 EDN: HSMHIW

12. Koubasov RV. Hormonal changes in response to extreme environment factors. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2014;69(9-10):102–109. doi: 10.15690/vramn.v69i9-10.1138 EDN: TBQJDB
13. Serikbayeva AA, Tauesheva ZB, Shcherbakova LV, Rymar OD. Associations of thyroid status and thyroperoxidase antibodies with serum trace elements. *Clinical and Experimental Thyroidology*. 2023;19(1):12–19. doi: 10.14341/ket12762 EDN: PKMLEU
14. Kudabaeva Khl, Koshmaganbetova GK, Mickuviene N, et al. Role of trace elements imbalance in development of endemic goitre among schoolchildren in oil and gas districts of the Western region of the republic of Kazakhstan. *Trace Elements in Medicine*. 2016;17(2):36–44. doi: 10.19112/2413-6174-2016-17-2-36-44 EDN: WBERXR
15. Kondratev KV, Kiku PF, Beniova SN, et al. Social and hygienic lifestyle factors and iodine deficiency diseases. *Public Health and Life Environment*. 2020;(12):10–15. doi: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-10-15 EDN: QTCHKQ
16. Rayman MP. Multiple nutritional factors and thyroid disease, with particular reference to autoimmune thyroid disease. *Proc Nutr Soc*. 2019;78(1):34–44. doi: 10.1017/S0029665118001192
17. Skalny AV, Grabeklis AR, Korobeynikova TV, et al. *Reference values of the content of chemical elements in human indicator biological samples*. Moscow; 2023. 58 p. (In Russ.)
18. Lugovaya EA, Stepanova EM. *Regional indicators of the content of macro- and microelements in the body of residents of Magadan*. Magadan: Ekspress-poligrafiya; 2019. 27 p. (In Russ.)
19. Voronin GL. *IBM SPSS Statistics V21.0.0.0 introductory course: a teaching aid*. Nizhny Novgorod; 2014. 79 p. (In Russ.)
20. Venchikov AI, Venchikov VA. *Basic methods of statistical processing of observational results in the field of physiology*. Moscow; 1974. 152 p. (In Russ.)
21. Baevsky RM, Maksimov AL, Berseneva AP. *Fundamentals of human ecological valeology*. Magadan: SVNC DVO RAN; 2001. 266 p. (In Russ.)
22. Cheremushnikova II, Notova SV. Evaluation adaptive systems microelement homeostasis persons aggressive tendencies in behavior. *Vrach-aspirant*. 2013;57(2):53–59. EDN: PZSQDH
23. Lugovaya EA, Stepanova EM, Gorbachev AL. Approaches to the body element status assessment. *Trace Elements in Medicine*. 2015;16(2):10–17. EDN: TWCAXD
24. Lugovaya EA, Stepanova EM. Reference values of chemical elements in hair of children and adolescents living in Magadan. *Pediatrics. Zhurnal im G.N. Speranskogo*. 2016;95(2):178–184. EDN: VOXEGB
25. Stepanova EM. Thyroid status in women of reproductive age living under mild iodine deficiency conditions. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023;15(5):97–116. doi: 10.12731/2658-6649-2023-15-5-928 EDN: IYSWHG
26. Maksimov AL, Bartosh TP. Influence of climatic-ecological factors of htenorth on hormonal status of the miners occupied in underground goldbmining. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 1999;(2):12–15.
27. Soroko SI, Burykh EA, Bekshaev SS, Sergeeva EG. Human systemic reactions to a dosed exposure to hypoxia: a multiparameter study. *Fiziologiya cheloveka*. 2005;31(5):88–109. EDN: HSCJPD
28. Gorbani' AN, Smirnova EV, Cheusova EP. *Gruppovoj stress: dinamika korrelyacij pri adaptacii i organizaciya sistem ekologicheskikh faktorov*. The manuscript is deposited in VINITI 17.07.1997, No 2434B97. 54 p. (In Russ.)
29. Biryukova YeV. A contemporary view on a role played by selenium in physiology and pathology of the thyroid gland. *Effective Pharmacotherapy*. 2017;(8):34–41. EDN: YGXVYL

ОБ АВТОРАХ

* Степанова Евгения Михайловна;

адрес: Россия, 685000, Магадан, пр-кт Карла Маркса, д. 24;
ORCID: 0000-0002-2223-1358;
eLibrary SPIN: 4972-0152;
e-mail: at-evgenia@mail.ru

Луговая Елена Александровна, канд. биол. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-6583-4175;
eLibrary SPIN: 5825-7122;
e-mail: elena_plant@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Evgenia M. Stepanova;

address: 24 Karl Marx ave, Magadan, Russia, 685000;
ORCID: 0000-0002-2223-1358;
eLibrary SPIN: 4972-0152;
e-mail: at-evgenia@mail.ru

Elena A. Lugovaya, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;

ORCID: 0000-0002-6583-4175;
eLibrary SPIN: 5825-7122;
e-mail: elena_plant@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author