

АДАПТИВНЫЕ И ДИЗАДАПТИВНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ЭЛЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА У СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Е.М. Степанова, Е.А. Луговая

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

Цель. Изучение особенностей содержания макро- и микроэлементов в организме юношей-спортсменов высоких квалификационных разрядов г. Магадана. **Материалы и методы.** Содержание 25 химических элементов (Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn) в волосах 55 юношей определяли с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой на приборе Agilent 8900 ICP-MS. Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics 21. **Результаты.** Для всех спортсменов, независимо от спортивной специализации, по сравнению с контрольной группой характерно достоверно пониженное содержание Se, Co, Cr. К адаптивным перестройкам элементной системы спортсменов высоких квалификационных разрядов следует отнести: повышенное содержание в волосах пловцов P, Fe, Cu, единоборцев – P и Zn; формирование в корреляционной структуре элементной системы устойчивых комплексов так называемых тиреоспецифических (I, Se, Mg, Zn), иммуноукрепляющих (Co, Se, Cu, Mg, Zn), регенерирующих (Zn, Se), противодиабетических (Cr, I, Se) и антиоксидантных (Ca, Se, Zn, I) элементов; большее, по сравнению с контрольной группой, значение адаптационного потенциала у спортсменов. **Заключение.** Проведенное исследование особенностей содержания макро- и микроэлементов в организме и анализ элементных взаимосвязей у спортсменов высокой квалификации позволяет говорить о формировании адаптивных и дизадаптивных черт. На фоне дефицита концентраций основных эссенциальных химических элементов элементная система организма спортсменов стремится к равновесному состоянию путем увеличения числа элементных связей как способа более надежного функционирования при повышенных физических и психоэмоциональных нагрузках.

Ключевые слова: макро- и микроэлементы, дисбаланс, спорт, Север, юноши.

Введение. Повышенная физическая активность подразумевает интенсификацию энергетических и пластических процессов, что увеличивает потребность не только в субстратах биологического окисления и «структурных блоках», но и макро- и микроэлементах (МЭ) [4, 16].

По мнению некоторых авторов, у спортсменов часто наблюдается состояние гипоземиев – патологических процессов, связанных с дефицитом магния, цинка, железа, марганца, селена и меди, что способствует, в свою очередь, снижению активности основных физиологических систем организма [3, 9].

Вместе с тем, несмотря на значительное количество работ в области спортивной физиологии и обеспеченности организма спортсменов микронутриентами и витаминами, существующие данные во многом разнонаправлены и противоречивы. Так, при изучении элементного статуса футболистов высшей лиги

было установлено повышенное содержание у них многих элементов, главным образом макроэлементов [10]. Часто это обусловлено еще и антропометрическими параметрами, так как у большинства спортсменов высокое отношение обезжиренной массы тела к жировому компоненту, что связано с повышенной работоспособностью организма, а повышение жировой массы может выступать в качестве депо элементов и снижать общее состояние здоровья [13].

Целью настоящего исследования явилось выявление адаптивных и дизадаптивных особенностей в содержании макро- и микроэлементов в волосах юношей-спортсменов высоких квалификационных разрядов г. Магадана и выявление особенностей элементных взаимосвязей в организме.

Материалы и методы. В обследовании приняли участие 55 добровольцев:

– 13 представителей циклического спорта –

плавание (средний возраст $18,46 \pm 0,74$ года; длина тела $180,19 \pm 1,91$ см; масса тела $71,12 \pm 2,58$ кг);

– 16 представителей спортивных единоборств – бокс, греко-римская борьба ($19,44 \pm 0,57$ года; $173,94 \pm 2,25$ см; $73,08 \pm 6,05$ кг соответственно);

– 26 юношей контрольной группы ($18,77 \pm 0,25$ года; $177,52 \pm 1,62$ см; $70,52 \pm 2,76$ кг соответственно).

Все спортсмены имели высокие квалификационные разряды: кандидат в мастера спорта (КМС) и мастер спорта (МС). Обследование проводили в осенне-зимний период на этапе тренировочной деятельности.

Элементный профиль организма обследованного контингента устанавливали на основе элементного анализа волос. Изучение содержания химических элементов в волосах человека – современный и информативный метод установления элементного профиля организма человека. Волос является более подходящей тканью, чем кровь или моча, для исследования баланса МЭ, поскольку отображает длительную экспозицию металлов в организме. Одновременно с этим вещества, единожды включившись в обменный процесс, не вступают в обратную связь с организмом, откладываются в них, оставляя «архив» для ретроспективного анализа жизнедеятельности организма в интересующий исследователя промежуток времени [2]. Отмеченные аспекты позволяют объяснить столь широкую популярность химического анализа волос как диагностического критерия микроэлементного баланса организма человека в последние годы как в отечественных исследованиях, так и за рубежом [12, 14, 15].

Исследование проводили в соответствии с принципами Хельсинской декларации с соблюдением требований биомедицинской этики, что сопровождалось добровольно полученным письменным информированным согласием обследуемых согласно ФЗ № 323 «Об основах охраны здоровья граждан в РФ» от 21.11.2011 г. и ФЗ № 152 «О персональных данных» от 27.07.2006 г., что было одобрено Комиссией по биоэтике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения Российской академии наук (протокол № 001/019 от 29 марта 2019 г.). В волосах определяли содержание

25 химических элементов: Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой на приборе Agilent 8900 ICP-MS, согласно МУК 4.1.1483-03 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методом масс-спектрометрии». Аналитические исследования проведены в лаборатории ООО «Микронутриенты» (г. Москва), заключения по результатам анализа и предлагаемая схема коррекции выявленных нарушений минерального обмена (для лечащего врача) были подготовлены в АНО «Центр биотической медицины» (г. Москва). Анкетирование обследуемых, взятие биологического материала и анализ результатов исследования проводили специалисты НИЦ «Арктика» ДВО РАН (г. Магадан) с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics 21. Характер распределения массива значений концентраций химических элементов определяли методом Колмогорова–Смирнова. Для установления различий между двумя независимыми выборками по количественным показателям, распределение которых отличалось от нормального, применяли критерий Манна–Уитни (U). Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принималось при $p < 0,05$. Параметры описательной статистики приведены в виде медианы (Me) и интерквартильной широты (25-й; 75-й процентиль). Полученные значения концентраций химических элементов сравнивали с референтными величинами [7, 8].

Анализ связей между химическими элементами в организме проводили с помощью ранговой корреляции Спирмена. На основании силы и количества корреляционных связей между химическими элементами определяли показатель степени адаптированности элементной системы организма к условиям окружающей среды (A):

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

где A – степень адаптированности в усл. ед., n – количество корреляционных связей между элементами с коэффициентом корреляции 0,5 и более, $\sum K_k$ – сумма коэффициентов корреляции без учета знака, N – число микроэлементов, объединенных в плеяды [1].

Результаты и обсуждение. Статистические величины содержания макро- и микроэлементов в волосах обследованного контингента представлены в таблице.

По нашим данным, в организме юношей, профессионально занимающихся плаванием, содержание в волосах эссенциальных К, Na, Se, Co, Cr отличалось от референтного диапазона в сторону понижения относительно 25-го центиля. Медианное значение концентрации P, Fe, Cu – напротив, было выше 75-го центиля. В организме юношей-единоборцев ниже

нормативного диапазона оказались значения концентраций Ca, Se, Co, Cr, выше – P и Zn. Характерно, что понижение содержания Se, Co, Cr относительно 25-го центиля референтного коридора характерно для всех спортсменов независимо от спортивной специализации. Содержание в волосах токсичных, потенциально токсичных и условно-эссенциальных ультрамикро- и микроэлементов соответствовало нормативному диапазону, концентрация Al, Be, Cd, Pb при этом оказалась ниже 25-го центиля.

Содержание макро- и микроэлементов (МЭ) в волосах спортсменов высокой квалификации г. Магадана, мкг/г (Ме (25-й; 75-й процентиль))
Macro-and microelements (ME) in the hair samples of highly skilled athletes from Magadan, µg / g (Me (25th, 75th percentile))

МЭ ME	Обследованные группы лиц Group			Уровень значимости различий между сравниваемыми группами (p) Significance of differences between the groups (p)		
	Циклический спорт Cyclic sports	Спортивные единоборства Combat sports	Контроль Baseline			
	1	2	3	1-2	2-3	1-3
Эссенциальные жизненно необходимые Essential elements						
K	45,39 (21,93; 167,55)	111,35 (54,51; 211,75)	54,27 (32,11; 97,69)	0,09	0,09	0,20
Na	26,78 (11,01; 191,50)	251,09 (109,21; 626,50)	82,23 (51,33; 402,5)	0,01	0,04	0,00
Ca	490,00 (226,75; 1017,26)	190,50 (154,86; 269,22)	233,00 (140,00; 272,50)	0,00	0,71	0,00
Mg	26,78 (15,63; 43,92)	19,43 (14,68; 29,23)	22,62 (16,88; 27,76)	0,27	0,37	0,37
P	156,37 (142,67; 167,10)	162,00 (150,46; 191,25)	157,50 (137,75; 176,25)	0,38	0,29	0,96
Fe	27,52 (17,37; 48,99)	16,47 (10,33; 27,53)	12,84 (10,84; 16,25)	0,06	0,23	0,00
Zn	173,87 (152,92; 190,00)	200,00 (175,57; 209,25)	189,00 (174,50; 241,50)	0,04	0,93	0,05
Cu	56,32 (29,01; 648,00)	11,46 (9,14; 17,89)	8,83 (7,67; 11,56)	0,00	0,02	0,00
Se	0,44 (0,31; 0,47)	0,33 (0,25; 0,55)	0,51 (0,49; 0,56)	0,61	0,01	0,00
I	0,28 (0,11; 1,11)	0,38 (0,20; 1,35)	0,22 (0,15; 0,29)	0,29	0,04	0,74
Mn	0,33 (0,29; 0,66)	0,45 (0,21; 0,86)	0,32 (0,24; 0,44)	0,57	0,17	0,37
Co	0,01 (0,00; 0,02)	0,01 (0,00; 0,02)	0,00 (0,00; 0,01)	0,95	0,00	0,01
Cr	0,12 (0,08; 0,18)	0,19 (0,13; 0,27)	0,33 (0,25; 0,72)	0,04	0,02	0,00
Токсичные, потенциально токсичные, условно-эссенциальные Toxic, Potentially Toxic, Conditionally Essential Elements						
As	0,03 (0,02; 0,07)	0,03 (0,02; 0,04)	0,03 (0,02; 0,04)	0,44	0,90	0,50
Sn	0,10 (0,06; 0,27)	0,05 (0,04; 0,07)	0,08 (0,05; 0,12)	0,01	0,12	0,18
B	0,17 (0,07; 0,82)	0,57 (0,31; 1,25)	0,72 (0,40; 1,24)	0,04	0,63	0,01
Li	0,004 (0,001; 0,005)	0,007 (0,003; 0,010)	0,005 (0,002; 0,010)	0,04	0,25	0,37
Ni	0,29 (0,24; 0,55)	0,17 (0,11; 0,22)	0,11 (0,076; 0,145)	0,01	0,01	0,00
V	0,04 (0,02; 0,05)	0,03 (0,01; 0,06)	0,06 (0,03; 0,09)	0,95	0,11	0,06
Si	22,16 (16,14; 30,26)	23,32 (18,61; 31,55)	41,57 (31,88; 63,21)	0,91	0,00	0,00
Hg	0,15 (0,12; 0,35)	0,44 (0,20; 0,57)	0,15 (0,08; 0,22)	0,01	0,00	0,33
Pb	0,43 (0,16; 0,71)	0,56 (0,36; 1,33)	0,26 (0,16; 0,43)	0,13	0,01	0,21
Cd	0,011 (0,006; 0,019)	0,030 (0,021; 0,054)	0,01 (0,00; 0,02)	0,00	0,00	0,25
Be	0,0002 (0,0002; 0,0004)	0,0002 (0,0002; 0,0003)	0,0002 (0,0002; 0,0003)	0,65	0,07	0,00
Al	5,33 (4,52; 7,33)	6,09 (4,45; 9,42)	3,98 (2,53; 5,42)	0,51	0,01	0,06

Примечание. Полужирным шрифтом выделены достоверно значимые различия при $p < 0,05$.

Note. The bold font is for significant differences at $p < 0.05$.

Достоверность различий в содержании в волосах химических элементов выявлена как в группе спортсменов в зависимости от спортивной специализации, так и у спортсменов в сравнении с контрольной группой юношей. В зависимости от спортивной специализации в волосах юношей, организм которых испытывает нагрузки, присущие циклическим видам спорта, по сравнению с элементным профилем единоборцев содержание Cr, Na, Zn достоверно ниже, Ca и Cu – выше. В сравнении с контрольной группой в волосах пловцов достоверно выше (при $p < 0,05$) оказалась концентрация эссенциальных Ca, Co, Cu, Fe, ниже – Na, Se, Cr. В группе единоборцев выше значения концентраций Na, Fe, Cu, I, Co, ниже – Se, Cr.

На фоне разных медианных значений концентраций в волосах элементов, достоверности их различий интересно проанализировать распространенность отклонений абсолютных значений в исследуемых группах в процентном отношении (рис. 1).

Больше половины пловцов попали в группу риска по развитию гипозлементозов K (77 %), Na (69 %), Co (69 %), I (62 %). Характерен избыток в волосах Cu (77 %), P (54 %) и Fe (38 %), что можно рассматривать, как

адаптивный механизм, в результате которого активное выведение элементов через экскреторные ткани организма препятствует избыточному депонированию, что может приводить к изменению состояния здоровья. Дефицит в организме более половины единоборцев выявлен для Mg (69 %), Ca (63 %), Co (56 %), I (50 %). В контрольной группе обследования элементный профиль имеет североспецифические черты с характерным дефицитом I (92 %), Co (88 %), Cu (65 %), Ca (62 %), Mg (58 %), Na (58 %).

Используя процент выявленного дисбаланса, путем расчета его суммарной площади (рис. 2) очевидно, что наибольшая площадь дефицита эссенциальных макро- и микроэлементов присуща элементному профилю контрольной группы обследованных лиц ($S = 1,5$ усл. ед.²), в то время как аналогичное значение в группе спортсменов соотносимо ($S = 0,9$ усл. ед.² и $S = 1,1$ усл. ед.²).

В настоящее время показано, что только количественного определения содержания в биологических средах организма тех или иных макро- и микроэлементов недостаточно, необходима оценка их корреляционных связей, так как активность каждого из них определяется особенностями суммарного эффекта,

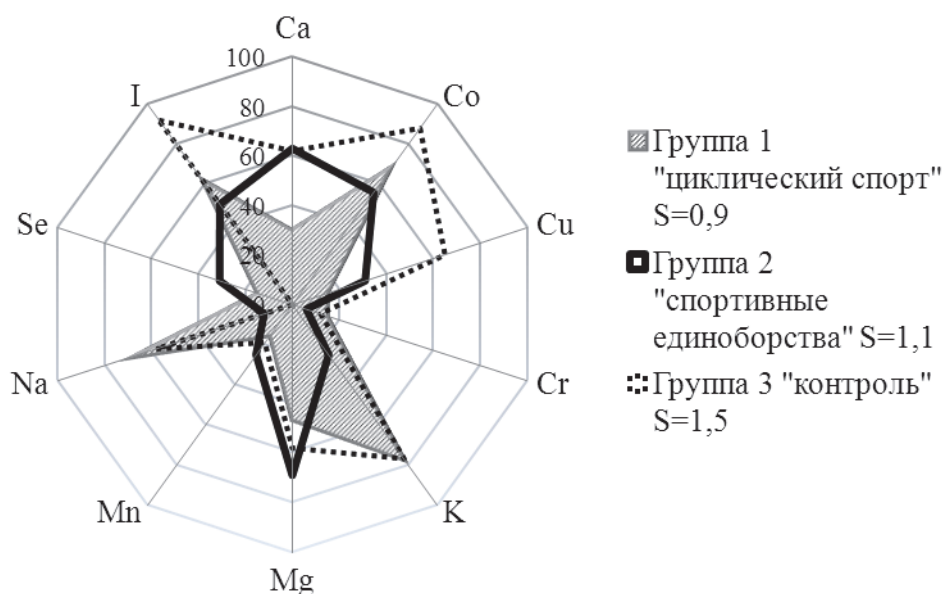


Рис. 1. Диаграмма нарушений элементного баланса (дефицит) в организме спортсменов высокой квалификации г. Магадана:
 S (усл. ед.²) – суммарная площадь дефицита химических элементов в исследуемой группе, рассчитанная путем сложения площадей треугольников, длина сторон которых равна показателю частоты выявленного нарушения (в %), принятая за условную единицу

Fig. 1. Chemical imbalance (deficit) in highly skilled athletes from Magadan:
 S (arb. units²) is the total area of deficiency of chemical elements in the studied group calculated by adding the areas of triangles, the sides of which are equal to the frequency of the detected disorder (in %) taken as an arb. unit

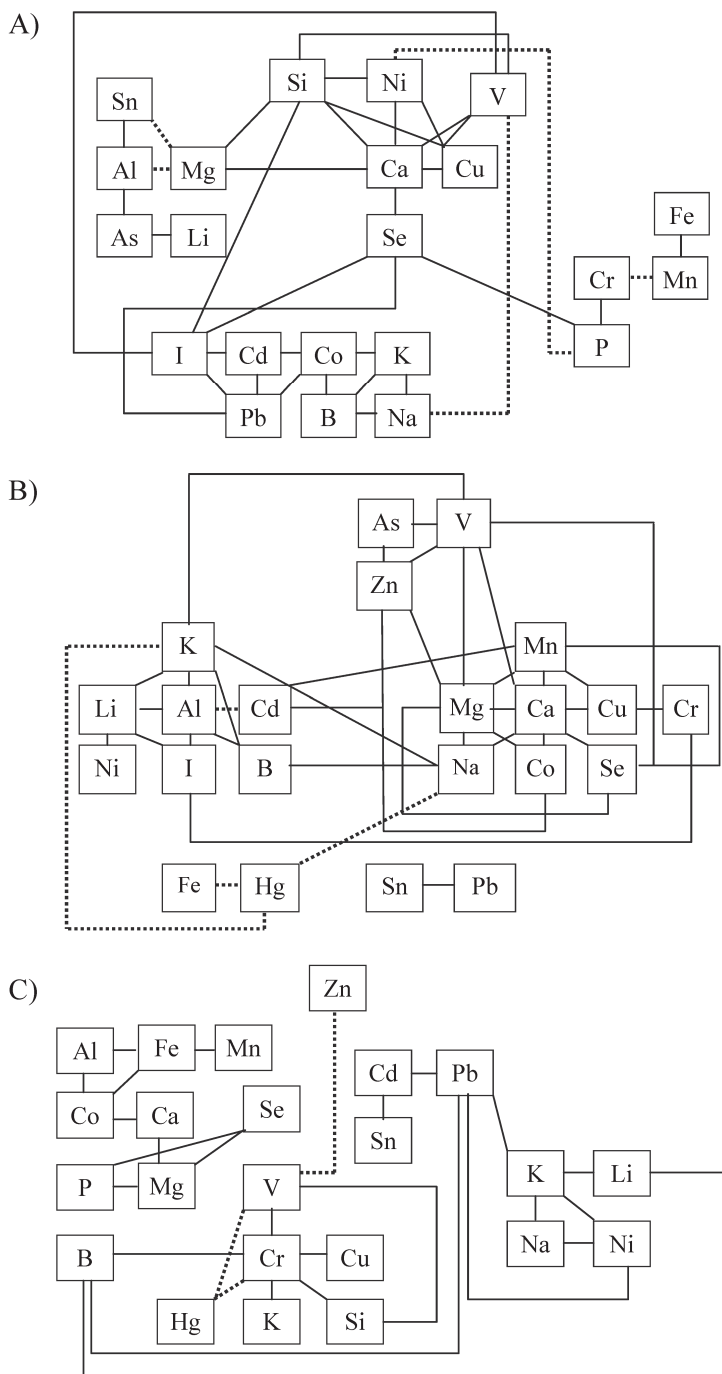


Рис. 2. Корреляционные связи химических элементов в организме спортсменов высокой квалификации г. Магадана:
 — — прямая связь, - - - - обратная связь, А – группа «циклический спорт»,
 В – группа «спортивные единоборства», С – группа «контроль»
Fig. 2. Correlations of chemical elements in highly skilled athletes from Magadan:
 — — is for direct correlation, - - - - is for inverse correlation,
 А – “cyclic sports”, В – “combat sports”, С – “baseline”

который может быть как синергическим, так и антагонистическим [11]. Поддержание элементного баланса в организме – сложный физиологический процесс, в результате которого складывается стабильная система физиологических корреляционных связей, обеспечи-

вающих нормальное существование и функционирование организма как единого целого.

Корреляционные элементные взаимодействия в профиле обследованных спортсменов и контрольной группы представлены в виде блоков на рис. 2.

По силе взаимовлияния в системе «элемент-элемент» корреляционные плеяды различаются, однако в большинстве значение коэффициента парной корреляции $0,5 \leq |r| \leq 0,8$, что свидетельствует о тесной связи. В группе «циклический спорт» в структуре корреляционных плеяд тиреоспецифический комплекс элементов (I, Se, Mg, Zn) формирует 13 связей, иммуноукрепляющий (Co, Se, Cu, Mg, Zn) – 16 связей, регенерирующий (Zn, Se) – 4 связи, противодиабетический (Cr, I, Se) – 11 связей, антиоксидантный (Ca, Se, Zn, I) – 15 связей. В группе «спортивные единоборства» – 19, 22, 8, 10, 19 связей соответственно. В контрольной группе – 5, 14, 3, 12, 8 связей соответственно.

Для анализа корреляционных связей интересен подход, предложенный в работе Р.М. Баевского и соавторов [1], в основе которого лежит расчет показателя степени адаптированности функциональной системы организма. В нашем исследовании к функциональной системе организма мы отнесли элементную систему – набор из 25 макро- и микроэлементов, представляющий стандартный комплекс химических элементов, определяемый масс-спектрометрическим методом в лабораторных условиях. По мнению авторов, предложивших этот подход, одним из механизмов, обеспечивающих адекватный ход адаптационных перестроек, является увеличение числа внутри- и межсистемных связей как средство более надежного 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 [5, 6].

По результатам нашего расчета значение «степени адаптированности элементной системы» минимальное в контрольной группе ($A = 17,60$ усл. ед.), максимальное – в элементной системе единоборцев (46,32 усл. ед.) и пловцов (36,93 усл. ед.), что очевидно демонстрирует стремление элементной системы организма спортсменов к равновесному состоянию путем увеличения числа элементных связей как способа более надежного функ-

ционирования на фоне повышенных физических и психоэмоциональных нагрузок.

Выводы. Проведенное исследование особенностей элементной системы организма у спортсменов высокой квалификации позволяет говорить о формировании адаптивных и дизадаптивных черт. Для каждой группы обследования составлен индивидуальный элементный профиль, значения концентраций макро- и микроэлементов которого отличаются от нормативных показателей. Однако для всех спортсменов независимо от спортивной специализации характерно понижение содержания Se, Co, Cr относительно 25-го центиля референтного коридора.

Вместе с тем к адаптивным перестройкам элементной системы спортсменов высоких квалификационных разрядов следует отнести:

– повышение содержания в волосах пловцов – P, Fe, Cu, единоборцев – P и Zn, в результате чего активное выведение элементов через экскреторные ткани организма препятствует избыточному депонированию элементов внутри организма, приводящему к изменению состояния здоровья;

– формирование в корреляционной структуре элементной системы организма спортсменов устойчивых комплексов тиреоспецифических, иммуноукрепляющих, регенерирующих, противодиабетических и антиоксидантных элементов;

– большее, по сравнению с контрольной группой, значение адаптационного потенциала у спортсменов, что означает стремление элементной системы организма спортсменов к равновесному состоянию путем увеличения числа элементных связей как способа более надежного функционирования на фоне повышенных физических и психоэмоциональных нагрузок.

Литература

1. Баевский, Р.М. Основы экологической валеологии человека / Р.М. Баевский, А.Л. Максимов, А.П. Берсенева. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2001. – 267 с.
2. Волосы как объект исследования при отравлениях солями тяжелых металлов / А.З. Павлова, Д.В. Богомолов, З.В. Ларев, А.Х. Аманмурадов // Судеб.-мед. экспертиза. – 2012. – № 6. – С. 25–29.
3. Горбачев, А.Л. Физиологическая роль микроэлементов в поддержании физической

формы спортсменов / А.Л. Горбачев. – Магадан: СВГУ, 2018. – 65 с.

4. Зайцева, И.П. Влияние физической нагрузки на содержание макро- и микроэлементов в волосах девушек / И.П. Зайцева // *Микроэлементы в медицине*. – 2015. – № 16 (1). – С. 36–40.

5. Комплексное многопараметрическое исследование системных реакций организма человека при дозированном гипоксическом воздействии / С.И. Сороко, Э.А. Бурых, С.С. Бекшаев, Е.Г. Сергеева // *Физиология человека*. – 2005. – Т. 31, № 5. – С. 88–109.

6. Максимов, А.Л. Влияние условий труда и природно-экологических факторов Северо-Востока России на гормональный статус женщин, занятых в золотодобывающем производстве / А.Л. Максимов, Т.П. Бартош // *Экология человека*. – 1999. – № 2. – С. 12–15.

7. Скальная, М.Г. О пределах физиологического (нормального) содержания Са, Mg, P, Zn и Си в волосах человека / М.Г. Скальная, В.А. Демидов, А.В. Скальный // *Микроэлементы в медицине*. – 2003. – № 4 (2). – С. 5–10.

8. Скальный, А.В. Референтные значения концентраций химических элементов в волосах, полученные методом ИСП–АЭС (АНО Центр биотической медицины) / А.В. Скальный // *Микроэлементы в медицине*. – 2003. – № 4 (1). – С. 55–56.

9. Скальный, А.В. Физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в спорте / А.В. Скальный. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. – 210 с.

10. Скальный, А.В. Макро- и микроэлементы в физической культуре и спорте / А.В. Скальный, З.Г. Орджоникидзе, О.А. Громова. – М.: Изд-во «КМК», 2000. – 71 с.

11. Сороко, С.И. Возрастные и половые особенности содержания макро- и микроэлементов в организме детей на Европейском Севере / С.И. Сороко, И.А. Максимова, О.В. Протасова // *Физиология человека*. – 2014. – № 40 (6). – 23–33.

12. Assessment of commercial laboratories performing hair mineral analysis / S. Seidel, R. Kreuzer, D. Smith et al. // *JAMA*. – 2001. – Vol. 285 (1). – P. 67–72.

13. Body composition profiles of elite American heptathletes / L. Houtkooper, V.A. Mullins, S.B. Going, C.H. Brown // *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. – 2001. – Vol. 2. – P. 162–173.

14. Chojnacka, K. Interrelationship between elements in human hair: the effect of gender / K. Chojnacka, I. Michalak, A. Zielinska // *Ecotoxicol. Environ Saf.* – 2010. – Vol. 73 (8). – P. 2022–2028.

15. Klevay, L. Hair as a biopsy material: trace element data on one man over two decades / L. Klevay, D.M. Christopherson, T.R. Shuler // *Europ J Clin Nutr.* – 2004. – Vol. 58. – P. 1359–1364.

16. McClung, J.P. Female athletes: A population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance / J.P. McClung, E. Gaffney-Stomberg, J.J. Lee // *J. Trace Elem Med Biol.* – 2014. – Vol. 06. – P. 022.

Степанова Евгения Михайловна, научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний, Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук. 685000, г. Магадан, пр. Карла Маркса, 24. E-mail: at-evgenia@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2223-1358.

Луговая Елена Александровна, кандидат биологических наук, доцент, врио директора, Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук. 685000, г. Магадан, пр. Карла Маркса, 24. E-mail: elena_plant@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6583-4175.

Поступила в редакцию 11 апреля 2020 г.

ADAPTIVE AND MALADAPTIVE CHANGES IN THE CHEMICAL PROFILE OF HIGHLY SKILLED ATHLETES

E.M. Stepanova, at-evgenia@mail.ru, ORCID 0000-0002-2223-1358,

E.A. Lugovaya, elena_plant@mail.ru, ORCID 0000-0002-6583-4175

Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russian Federation

Aim. The article aims to study the profiles of macro-and microelement content in young highly skilled athletes from Magadan. **Material and methods.** The content of 25 chemical elements (Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn) obtained from the hair samples of 55 young males was determined using inductively coupled argon plasma mass spectrometry with the Agilent 8900 ICP-MS unit. Statistical processing of the research results was performed with the IBM SPSS Statistics 21 software package. **Results.** All the examined males regardless of their sports specialization were significantly lower in Se, Co, and Cr compared to the baseline group. The adaptive shifts in the chemical profile of highly skilled athletes include the following: increased P, Fe, and Cu in swimmers; high P and Zn in wrestlers; formation of the stable complexes of the so-called thyroid-specific (I, Se, Mg, Zn), immunostimulating (Co, Se, Cu, Mg, Zn), regenerating (Zn, Se), antidiabetic (Cr, I, Se) and antioxidant (Ca, Se, Zn, I) elements; a better adaptive capacity compared with the baseline group. **Conclusion.** The study of macro-and micronutrient content and the analysis of elemental relationships in highly skilled athletes suggests the formation of adaptive and maladaptive features. Due to the deficiency of essential elements, the chemical profile of athletes tends to balance by increasing the number of elemental bonds for better functioning under increased physical and psycho-emotional stress.

Keywords: *macro and microelements, imbalance, sport, North, young males.*

References

1. Bayevskiy R.M., Maksimov A.L., Berseneva A.P. *Osnovy ekologicheskoy valeologii cheloveka* [Fundamentals of Human Ecological Valeology]. Magadan, NESCFEB RAS Publ., 2001. 267 p.
2. Pavlova A.Z., Bogomolov D.V., Larev Z.V., Amanmuradov A.H. [Hair as an Object of Study in Case of Poisoning with Salts of Heavy Metals]. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza* [Forensic Medical Examination], 2012, no. 6, pp. 25–29. (in Russ.)
3. Gorbachev A.L. *Fiziologicheskaya rol' mikroelementov v podderzhanii fizicheskoy formy sportsmenov* [The Physiological Role of Trace Elements in Keeping Fitness Among Athletes]. Magadan, NESU Publ., 2018. 65 p.
4. Zaytseva I.P. [The Effect of Physical Activity on the Content of Macro- and Micronutrients in Girls' Hair Samples]. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine], 2015, no. 16 (1), pp. 36–40. (in Russ.) DOI: 10.19112/2413-6174-2015-16-1-36-40
5. Soroko S.I., Burykh Je.A., Bekshaev S.S., Sergeeva E.G. [A Comprehensive Multi-Parameter Study of the Systemic Reactions of the Human Body with Dosed Hypoxic Exposure]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2005, vol. 5, no. 5, pp. 88–109. (in Russ.)
6. Maksimov A.L., Bartosh T.P. [The Influence of Working Conditions and Environmental Factors of Russia's Northeast on Hormonal Status of Women Employed in Gold Mining]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology], 1999, no. 2, pp. 12–15. (in Russ.)
7. Skal'naya M.G., Demidov V.A., Skal'nyy A.V. [On the Limits of the Physiological (Normal) Content of Ca, Mg, P, Zn and Cu in Human Hair]. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine], 2003, no. 4 (2), pp. 5–10. (in Russ.)
8. Skal'nyy A.V. [The Referent Concentrations of Chemical Elements in the Hair, Obtained by ICP – AES (ANO Center for Biotic Medicine)]. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine], 2003, no. 4 (1), pp. 55–56. (in Russ.)

9. Skal'nyy A.V. *Fiziologicheskiye aspekty primeneniya makro- i mikroelementov v sporte* [Physiological Aspects of the Use of Macro- and Micronutrients in Sports]. Orenburg, 2005. 210 p.
10. Skal'nyy A.V., Ordzhonikidze Z.G., Gromova O.A. *Makro- i mikroelementy v fizicheskoy kul'ture i sporte* [Macro- and Trace Elements in Physical Culture and Sport]. Moscow, KMK Publ., 2000. 71 p.
11. Soroko S.I., Maksimova I.A., Protasova O.V. [Age- and Sex-Related Characteristics of the Content of Macro- and Micronutrients in the Child's Body in the European North]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2014, vol. 40 (6), pp. 23–33. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0362119714060115
12. Seidel S., Kreutzer R., Smith D. et al. Assessment of Commercial Laboratories Performing Hair Mineral Analysis. *JAMA*, 2001, vol. 285 (1), pp. 67–72. DOI: 10.1001/jama.285.1.67
13. Houtkooper L., Mullins V.A., Going S.B., Brown C.H. Body Composition Profiles of Elite American Heptathletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2001, vol. 2, pp. 162–173. DOI: 10.1123/ijsem.11.2.162
14. Chojnacka K., Michalak I., Zielinska A. Interrelationship Between Elements in Human Hair: the Effect of Gender. *Ecotoxicol. Environ Saf.*, 2010, vol. 73 (8), pp. 2022–2028. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2010.09.004
15. Klevay L., Christopherson D.M., Shuler T.R. Hair as a Biopsy Material: Trace Element Data on One Man Over Two Decades. *Europ J Clin Nutr.*, 2004, vol. 58, pp. 1359–1364. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1601975
16. McClung J.P., Gaffney-Stomberg E., Lee Female Athletes J.J. A Population at Risk of Vitamin and Mineral-Deficiencies Affecting Health and Performance. *J. Trace Elem Med Bio*, 2014, vol. 06, p. 022.

Received 11 April 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Степанова, Е.М. Адаптивные и дизадаптивные перестройки элементарной системы организма у спортсменов высокой квалификации / Е.М. Степанова, Е.А. Луговая // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 29–37. DOI: 10.14529/hsm200204

FOR CITATION

Stepanova E.M., Lugovaya E.A. Adaptive and Maladaptive Changes in the Chemical Profile of Highly Skilled Athletes. *Human. Sport. Medicine*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 29–37. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm200204