

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ БИОСУБСТРАТОВ (СЫВОРОТКА КРОВИ И ШЕРСТЬ) ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

А.А. Скальный^{1*}, *М.В. Мелихова*¹, *Е.Ю. Бонитенко*¹, *А.В. Скальный*^{1,2,4},
М.Г. Скальная^{2,3}, *С.А. Мирошников*^{2,3}

¹ Институт токсикологии ФМБА России, Санкт-Петербург

² Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

³ Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства, г. Оренбург

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва

РЕЗЮМЕ. Изучена информативность диагностических биосубстратов при определении элементного статуса здоровых нелинейных белых крыс-самцов. Анализ сыворотки крови, шерсти, печени, почек, мышцы сердца, мышцы бедра на содержание Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Se проводился методом ИСП-МС. Установлена прямая зависимость между содержанием Ca, Cu, Zn в печени, Ca, Zn в почках, Ca в миокарде и шерсти экспериментальных животных.

На основании корреляционного анализа полученных данных можно утверждать, что анализ волос (шерсти) на содержание Ca, Zn, Cu и Se является информативным методом оценки статуса этих элементов в здоровом организме и отражает их активное участие в метаболических процессах (белоксинтезирующая, выделительная, детоксикационная и другие функции).

Анализ сыворотки крови в меньшей степени отражает состояние обмена микроэлементов по сравнению с волосами: концентрация только Cu и Zn в сыворотке крови коррелировала с содержанием этих микроэлементов в почках и печени соответственно. Показана перспективность применения анализа шерсти в качестве метода контроля перераспределения химических элементов между органами и тканями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: макроэлементы, микроэлементы, крысы, шерсть, сыворотка крови, печень, почки, мышцы.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что для оценки элементного статуса человека и животных наиболее часто используется определение элементного состава сыворотки крови (плазмы) или цельной крови (Панченко и др., 2004; Скальный и др., 2009; Momcilovic et al., 2012). В последние годы в физиологических исследованиях в качестве неинвазивного метода оценки элементного статуса применяется определение содержания химических элементов в волосах человека (Ревич, 1996; Скальный и др., 2012; Луговая, Максимов, 2012; Мирошников и др., 2012; Momcilovic et al., 2014) и шерсти у животных (крысы) (Скальный и др., 1990; Pereira et al., 2006; Lesage et al., 2010). Например, для определения элементного статуса организма животных (КРС – крупный рогатый

скот) в качестве тест-объекта С.П. Замана (2006) предлагает использовать волосы (шерсть), так как по результатам ее исследования данные по химическому составу шерсти позволяют надежно выявлять экологические связи сельскохозяйственных животных с геохимической средой обитания. Однако в целом работ, изучающих информативность важнейших диагностических биосубстратов, тем более в сравнительном аспекте, в доступной нам литературе обнаружилось ограниченное количество.

Цель исследования – изучение связи между содержанием химических элементов в сыворотке крови, шерсти и внутренних органах крыс для сравнительной оценки информативности сыворотки крови и волос (шерсти).

* Адрес для переписки:

Скальный Андрей Анатольевич

E-mail: andrey_sk@microelements.ru

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты выполнялись на 24 самцах белых нелинейных крыс. Животные поступили из питомника РАН «Рапполово» (Ленинградская область) массой 160–180 г в возрасте 13–14 недель.

Содержание животных соответствовало правилам лабораторной практики (GLP), Приказу МЗ СР РФ № 708н от 23.08.2010 г. «Правила лабораторной практики» и проводилось в соответствии с правилами, принятыми в Европейской конвенции по защите позвоночных животных (Страсбург, 1986 г.).

Крыс выводили из эксперимента путем декапитации с немедленным извлечением органов и тканей и их последующим взвешиванием. Шерсть животных состригалась с верхней части спины ближе к шее и помещалась в специальные пластиковые контейнеры.

Взятие крови у экспериментальных животных осуществлялось в сухой вакутейнер. Далее отобраный биологический материал центрифугировался на скорости 3000 об/мин при 40 °С в течение 10 мин, затем отбиралась надосадочная жидкость – сыворотка крови.

У животных были взяты на исследование и помещены в отдельные пробирки следующие органы и ткани: почки, печень, сердечная мышца, мышца бедра. После помещения шерсти, сыворотки крови и органов в специальные контейнеры происходило взвешивание, маркирование и замораживание образцов при температурном режиме от 18 до 20 °С.

Образцы шерсти подвергали промывке и обезжириванию ацетоном (осч). Затем их высушивали и взвешивали на аналитических весах OHAUS Explorer (EX) (США). Необходимая масса одного образца шерсти составлял 10–50 мг. После взвешивания пробы шерсти помещали в

специальные тефлоновые бюксы и добавляли концентрированную азотную кислоту.

Полученные биологические образцы (шерсть, сыворотку крови, органы и ткани) подвергали разложению в закрытой системе микроволнового разложения с вертикальной загрузкой образцов SPEEDWAVE Four (BERGHOF, Германия), в течение 20 мин при температуре 180 °С. Разложившийся образец доводили деионизированной водой до 15 мл.

Все биологические образцы подвергались пробоподготовке согласно МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой», разработанным в АНО «Центр биотической медицины» (Москва) и утвержденным МЗ РФ в 2003 г.

Определение содержания макро- и микроэлементов в шерсти, сыворотке крови, органах и тканях выполнялось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой (ИСП-МС) на приборе Nexion 300D+NWR213 («Perkin Elmer», США) в испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва), аккредитованной на техническую компетентность и независимость в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии, аттестат аккредитации РОСС.RU.0001.22ПЯ.05.

В работе лаборатории использованы серии стандартных образцов ClinChek Plasma Control lot 129 («Recipe», Германия) и GBW09101b human hair («SINP», Китай), которые позволяли осуществить эффективный контроль качества проведенного анализа при исследовании элементного состава биосубстратов (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Стандартные образцы волос (GBW09101b human hair (SINP, Китай))

Элемент	Стандарт	От	До	SD	М
Ca	1537	1469	1605	112	1517
Cu	33,6	31,3	35,9	4,46	33,72
Fe	160	144	176	21	140
Mg	248	234	262	23	231
Mn	3,83	3,44	4,22	0,34	3,09
Se	0,59	0,55	0,63	0,064	0,553
Zn	191	175	207	17	193

Таблица 2. Стандартные образцы сыворотки крови
(ClinChek Plasma Control lot 129 (Recipe, Германия))

Элемент	Стандарт	От	До	SD	М
Cu	0,871	0,699	1,045	0,049	0,869
Mg	16,9	15,2	18,6	0,85	16,92
Mn	0,00672	0,00538	0,00806	0,0011	0,0081
Se	0,08	0,064	0,096	0,0045	0,0826
Zn	0,925	0,74	1,11	0,066	0,931

Статистический анализ результатов был проведен с использованием программного обеспечения Statistica for Windows (v. 6.0) и оценкой состояния минерального обмена параметрическими и непараметрическими методами, его динамики в процессе восстановительной коррекции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Были получены данные об элементном составе внутренних органов экспериментальных животных – крыс (печени, почки, сердечной мышцы и мышцы бедра), как важнейших депо макро- и микроэлементов и тканей, в которых они оказывают свое физиологическое действие, проведен сравнительный анализ этих данных с показателями элементного состава сыворотки крови и волос (шерсти).

Данные о содержании химических элементов в изученных органах и тканях крыс представлены в табл. 3.

Полученные данные (табл. 3) свидетельствуют о том, что в сыворотке крови экспериментальных животных отмечается наибольшая концентрация Ca (108,3 мкг/мл), а наименьшая – Mn (0,007 мкг/мл). Медианы уровней изученных макро- и микроэлементов в сыворотке крови крыс ранжированы в следующем порядке: Ca (108,3 мкг/мл) > Mg (18,2 мкг/мл) > Zn (3,68 мкг/мл) > Fe (3,33 мкг/мл) > Cu (1,33 мкг/мл) > Se (0,97 мкг/мл) < Mn (0,007 мкг/мл). Следует отметить, что в сыворотке крови крыс отмечена самая низкая концентрация по сравнению с другими органами и тканями таких элементов, как Mg, Fe, Zn и Mn (18,2; 3,33; 3,68 и 0,007 мкг/мл соответственно).

В шерсти экспериментальных животных среди всех изученных элементов была отмечена наивысшая концентрация Ca, наименьшая – Se. Ранжирование по элементам выглядит следую-

щим образом: Ca (399,6 мкг/г) > Zn (163,3 мкг/г) > Mg (161,2 мкг/г) > Fe (20,2 мкг/г) > Cu (9,56 мкг/г) > Mn (1,23 мкг/г) > Se (0,294 мкг/г). В шерсти отмечен самый высокий уровень таких элементов, как Ca, Zn и Cu (399,6; 163,3 и 9,56 мкг/г соответственно). При этом уровень Ca в шерсти и в почке оказался практически одинаков: 9,56 мкг/г в шерсти против 9,51 мкг/г в почках.

В печени крыс больше всего содержится Mg и меньше всего – Se. Ранжирование медиан содержания изученных макро- и микроэлементов в печени выглядит следующим образом: Mg (270,1 мкг/г) > Fe (151,9 мкг/г) > Ca (98,19 мкг/г) > Zn (30,76 мкг/г) > Cu (3,85 мкг/г) > Mn (2,52 мкг/г) > Se (0,558 мкг/г).

Выявлено наивысшее содержание в печени по сравнению с другими органами и тканями таких элементов, как Fe и Mn (151,9 и 2,52 мкг/г соответственно), а наименьшее – Ca (98,2 мкг/г).

При изучении содержания элементов в мышце бедра у экспериментальных животных обнаружено наибольшее количество Mg (331,2 мкг/г) и наименьшее – Se (0,109 мкг/г). Определено следующее ранжирование по концентрации элементов в мышце бедра: Mg (331,2 мкг/г) > Ca (126,3 мкг/г) > Fe (17,2 мкг/г) > Zn (11,8 мкг/г) > Cu (0,95 мкг/г) > Mn (0,15 мкг/г) > Se (0,11 мкг/г). При сравнении содержания изученных элементов в мышце бедра с другими биосубстратами выявлено, что уровень Mg оказался самым высоким (331,2 мкг/г), а Cu и Se – самым низким (0,95 и 0,109 мкг/г соответственно).

В почках было отмечено наибольшее содержание Mg (255,4 мкг/г) и наименьшее – Mn (1,147 мкг/г). Выявлено следующее ранжирование по уровню химических элементов: Mg (255,4 мкг/г) > Ca (226,8 мкг/г) > Fe (106,9 мкг/г) > Zn (33,22 мкг/г) > Cu (9,513 мкг/г) > Se (1,382 мкг/г) > Mn (1,147 мкг/г).

Таблица 3. Содержание химических элементов в различных биосубстратах крыс

Биосубстрат		Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Se	Zn	Zn/Cu
Сыворотка крови, мкг/мл	Медиана	108,3	1,328	3,325*	18,22*	0,007*	0,970	3,680*	2,739*
	25-й квартиль	101,6	1,193	3,240	18,15	0,006	0,921	2,083	1,725
	75-й квартиль	120,6	1,428	3,675	19,41	0,007	1,018	5,805	4,057
Шерсть, мкг/г	Медиана	399,6**	9,562**	20,24	161,2	1,227	0,294	163,3**	16,64**
	25-й квартиль	394,7	9,537	19,52	141,3	1,135	0,283	153,5	15,55
	75-й квартиль	427,4	9,906	20,33	181,0	1,322	0,298	165,6	18,05
Доля печени, мкг/г	Медиана	98,19*	3,852	151,9**	270,1	2,523**	0,558	30,76	8,117
	25-й квартиль	96,67	3,826	137,6	251,9	1,867	0,541	29,87	7,898
	75-й квартиль	101,5	3,878	155,5	276,1	2,820	0,564	31,77	8,262
Мышца бедра, мкг/г	Медиана	126,3	0,950*	17,18	331,2**	0,153	0,109*	11,82	11,46
	25-й квартиль	110,2	0,909	17,12	319,7	0,150	0,105	10,85	10,91
	75-й квартиль	187,8	1,075	17,19	332,7	0,182	0,125	12,48	11,95
Почка, мкг/г	Медиана	226,8	9,513**	106,9	255,4	1,147	1,382**	33,22	3,456
	25-й квартиль	212,1	9,103	98,87	241,9	1,145	1,350	32,85	3,247
	75-й квартиль	250,1	10,41	127,6	270,6	1,213	1,409	33,47	3,794
Сердце, мкг/г	Медиана	102,4	6,825	107,2	247,7	0,483	0,282	24,22	3,572
	25-й квартиль	99,15	6,650	106,9	243,9	0,459	0,282	23,88	3,414
	75-й квартиль	112,5	7,146	142,7	248,9	0,523	0,307	24,25	3,901

Примечание: $n = 24$; * – наименьшее содержание химического элемента среди всех биосубстратов; ** – наибольшее содержание химического элемента среди всех биосубстратов.

Концентрация Se в почках крыс – самая высокая при сравнении с другими органами и тканями (1,38 мкг/г). Также наибольшая концентрация Cu (9,51 мкг/г) обнаружена в почках и в шерсти (9,56 мкг/г).

В сердце, как и в других внутренних органах, выявилась наибольшая концентрация Mg среди всех изученных элементов (247,7 мкг/г), а наименьшая – Se (0,28 мкг/г). Содержание химических элементов ранжировалось по следующей схеме: Mg (247,7 мкг/г) > Fe (107,2 мкг/г) > Ca (102,4 мкг/г) > Zn (24,2 мкг/г) > Cu (6,83 мкг/г) > Mn (0,483 мкг/г) > Se (0,282 мкг/г).

Таким образом, полученные данные о различиях в содержании химических элементов исследованных тканей и органах крыс согласуются работами ряда ученых. Так, С.П. Замана (2006) в работе, посвященной изучению принципов оценки и коррекции элементного состава шерсти животных, отмечает, что для оценки состояния агроэкосистемы именно волосы, взятые с кисти хвоста КРС, являются более надежным тест-объектом по сравнению с другими частями тела за счет более высокого содержания большинства химических элементов. В работе О.А. Зайко (2012) было проведено исследование содержания химических элементов в органах и тканях сви-

ней. Было выявлено, что в щетине и копытном роге больше всего аккумулируется цинка в сравнении с другими микроэлементами ($p < 0,001$), так как производные кожи являются конечным депо, одним из путей выведения из организма, при этом в щетине имеется цинксодержащий фермент ретинредуктаза.

Для сравнения информативности шерсти и сыворотки крови как диагностических биосубстратов был проведен корреляционный анализ содержания химических элементов в органах и тканях экспериментальных животных и их концентрации в шерсти (табл. 4) и сыворотке крови (табл. 5).

Таблица 4. Корреляция между содержанием макро- и микроэлементов в шерсти и других изученных органах и тканях у крыс ($n = 24$)

Субстрат	Доля печени	Почка	Сердце	Мышца бедра	Сыворотка крови
Шерсть	Ca, Cu, Zn	Ca, Zn	Ca	–	–Se

Таблица 5. Корреляция между содержанием макро- и микроэлементов в сыворотке крови и других изученных органах и тканях у крыс ($n = 24$)

Субстрат	Доля печени	Почка	Сердце	Мышца бедра	Шерсть
Сыворотка крови	–Zn	–Cu	–	–	–Se

Установлено, что в шерсти экспериментальных животных содержание Ca положительно коррелирует с уровнем этого элемента в печени ($r = 0,55$, $p < 0,001$), сердце ($r = 0,46$, $p < 0,005$) и почках ($r = 0,48$, $p < 0,003$), Zn – в печени ($r = 0,42$, $p < 0,011$), почках ($r = 0,34$, $p < 0,048$), Cu – в печени ($r = 0,33$, $p < 0,049$). Корреляции между содержанием других изученных макро- и микроэлементов (Mg, Fe, Mn, Se) в шерсти и других тканях не обнаружено.

В сыворотке крови лабораторных животных содержание Cu отрицательно коррелирует с содержанием этого элемента в почках ($r = -0,43$, $p < 0,022$), Se – в шерсти ($r = -0,45$, $p < 0,017$), Zn – в печени ($r = -0,46$, $p < 0,015$).

Полученные данные перекликаются с данными ряда ученых. Так, О.А. Зайко (2012) были выявлены одинаковые закономерности в накоплении эссенциальных микроэлементов в миокарде, скелетной мускулатуре, печени и легких свиней скороспелой мясной породы. Ранжированный ряд по этим элементам имел вид: Mn < Zn < Fe.

Следовательно, можно предположить, что уровень Ca, Zn и Cu в волосах (шерсти) (табл. 4) отражает уровень этих элементов в паренхиматозных органах – печени и почках, а также Ca в миокарде, Se – в сыворотке крови. На основании полученных данных можно утверждать, что анализ волос (шерсти) на содержание Ca, Zn, Cu и Se является информативным методом оценки статуса этих элементов в организме и отражает

их активное участие в метаболических процессах (белоксинтезирующая, выделительная, детоксикационная и другие функции).

Анализ сыворотки крови (табл. 5) в меньшей степени отражает состояние обмена микроэлементов по сравнению с волосами: концентрация только Cu и Zn в сыворотке крови коррелировала с содержанием этих микроэлементов в почках и печени соответственно. Вероятно, этот факт обусловлен влиянием гомеостатических механизмов на состав сыворотки крови, тогда как на содержание элементов в шерсти гомеостаз не влияет (Калетина (ред.), 2008).

По данным И.Э. Алиджановой (2009), содержание отдельных химических элементов в шерсти ассоциируется с содержанием этих же элементов в костной ткани, печени и теле в целом.

ВЫВОДЫ

Таким образом, по содержанию химических элементов Ca, Zn, Cu в шерсти можно предположительно судить об их концентрации во внутренней среде организма, в первую очередь, в печени, тогда как по Mg, Fe, Mn и Se достоверных корреляционных взаимосвязей между содержанием в шерсти, печени, почках, миокарде и мышце бедра не выявлено.

Полученные данные позволяют предположить, что изменения содержания макро- и микроэлементов в шерсти в большей степени, чем сыворотка крови, отражают физиологические

процессы перераспределения химических элементов между органами и тканями (ведущая роль принадлежит печени).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 14-16-00060.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Алиджанова И.Э., Нотова С.В., Кияева Е.В. Особенности элементного статуса лабораторных животных при воздействии различных внешних факторов. Технологии живых систем. 2009, 6(6):77–80.

(Alidzhanova I.E., Notova S.V., Kiyayeva E.V. [Peculiarities of elemental status of laboratory animals when exposed to various external factors]. Tehnologii zhivyyh sistem. 2009, 6(6):77–80 [in Russ]).

Европейская Конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Страсбург, 1986. 18 с.

(European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. Strasbourg. 1986).

Зайко О.А. Связь интерьерных показателей свиней породы СМ-1 с аккумуляцией химических элементов в органах и щетине. Сб. материалов VII межрегион. конф. молодых ученых и специалистов аграрных вузов Сиб. федер. округа «Инновационный потенциал молодых ученых в развитии агропромышленного комплекса Сибири». Новосибирск, 2009. С. 168–170.

(Zayko O.A. [Relationship between interior parameters of SM-1 breed pigs and accumulation of chemical elements in organs and bristles]. In: Proc VII Int Conf “The innovative potential of young scientists in the development of agro-industrial complex of Siberia”. Novosibirsk, 2009. 168–170 [in Russ]).

Замана С.П. Определение химического элементного состава волосяного покрова у крупного рогатого скота. Сельскохозяйственная биология. 2006. № 4. С.121–125.

(Zamana S.P. [Determination of chemical element composition of hair in cattle]. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya. 2006, 4:121–125 [in Russ]).

Луговая Е.А., Максимов А.Л. Элементный профиль организма жителей Северо-Востока России. Вопросы биологической, медицинской фармацевтической химии. 2012. № 6. С. 17–21.

(Lugovaya E.A., Maksimov A.L. [Body elemental profile of residents of the North-East of Russia]. Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2012, 6:17–21 [in Russ]).

Миросьников С.А., Нотова С.В., Кван О.В. Изучение взаимосвязи накопления тяжелых металлов в волосах и ткани щитовидной железы у лиц, проживающих в условиях экологически неблагоприятного региона. Вопросы биологической, медицинской фармацевтической химии. 2012. № 6. С. 30–34.

(Miroshnikov S.A., Notova S.V., Kvan O.V. [Study of the relationship between accumulation of heavy metals in hair and thyroid tissue in patients living in an ecologically unfavorable

region]. Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2012, 6:30–34 [in Russ]).

МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03. Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Федеральный центр госстандипнадзора Минздрава России, 2003. 56 с.

([Determination of chemical elements in biological fluids and drugs by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma mass spectrometry: Methodical guidelines MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03]. Moscow. 2003 [in Russ]).

Панченко Л.Ф., Маев И.В., Гуревич К.Г. Клиническая биохимия микроэлементов. Москва, 2004. 368 с.

(Panchenko L.F., Maev I.V., Gurevich K.G. [Clinical biochemistry of trace elements]. Moscow. 2004 [in Russ]).

Ревич Б.А. Химические элементы в волосах человека как индикатор воздействия загрязнений производственной и окружающей среды. Гигиена и санитария. 1990. № 3. С. 55–59.

(Revich B.A. [Chemical elements in human hair as an indicator of the impact of occupational and environmental pollution]. Hygiene and Sanitation. 1990, 3:55–59 [in Russ]).

Скальный А.В., Грабеклис А.Р., Демидов В.А., Детков В.Ю., Скальная М.Г., Березкина Е.С. Связь элементного статуса населения Центрального федерального округа с заболеваемостью. Часть 2. Эссенциальные и условно эссенциальные химические элементы. Микроэлементы в медицине. 2012. Т. 13. № 2. С. 1–7.

(Skalny A.V., Grabeklis A.R., Demidov V.A., Detkov V.Yu., Skalnaya M.G., Berezkina E.S. [Connection between morbidity and mineral status of population in the Central Federal District of Russia. Part 2. Essential and conditionally essential chemical elements]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2012, 13(2):1–7 [in Russ]).

Скальный А.В., Лакарова Е.В., Кузнецов В.В., Скальная М.Г. Аналитические методы в биоэлементологии. СПб.: Наука, 2009. 264 с.

(Skalny A.V., Lakarova E.V., Kuznetsov V.V., Skalnaya M.G. [Analytical methods in bioelementology]. Saint Petersburg: Nauka. 2009 [in Russ]).

Скальный А.В., Славин Ф.И., Семенов А.С. Хроническая алкогольная интоксикация и микроэлементный состав волос. Судебно-медицинская экспертиза. 1990. № 1. С. 42–43.

(Skalny A.V., Slavin F.I., Semenov A.S. [Chronic alcohol intoxication and the trace element composition of hair]. Sudebno-meditsinskaya ekspertiza. 1990, 1:42–43 [in Russ]).

Токсикологическая химия. Метаболизм и анализ токсикантов: учебное пособие. Под ред. проф. Н.И. Калетиной. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 1016 с.

(Kaletina N.I. (ed.) [Toxicological chemistry. Metabolism and analysis of toxicants. Handbook for students]. Moscow: GEOTAR-Media. 2008 [in Russ]).

Lesage F.-X., Deschamps F., Millart H. Lead levels in fur of rats treated with inorganic lead measured by inductively cou-

pled argon plasma mass spectrometry. *Interdiscip Toxicol.* 2010, 3(4):118–121.

Momcilovic B., Prejac J., Visnjevic, V. Skalnaya M.G., Mimica N., Drmic S., Skalny A.V. Hair iodine content in assessing the human iodine status. *Thyroid.* 2014, 17(6):1421–1429.

Momcilovic B., Prejac J., Visnjevic V., Skalnaya M.G., Mimica N., Drmic S., Skalny A.V. Incommensurability of hu-

man hair and whole blood iodine. *Trace elements in medicine (Moscow).* 2012, 13(1):20–24.

Pereira R., Pereira M.L., Ribeiro R., Goncalves F. Tissues and hair residues and histopathology in wild rats (*Rattus rattus* L.) and Algerian mice (*Mus spretus* Lataste) from an abandoned mine area (Southeast Portugal). *Environmental Pollution.* 2006, 139: 561–575.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INFORMATIVITY OF DIAGNOSTIC BIOSUBSTRATES (BLOOD SERUM AND DECKHAIR) WHEN DETERMINING ELEMENT STATUS OF EXPERIMENTAL ANIMALS

**A.A. Skalny¹, M.V. Melikhova¹, E.Yu. Bonitenko¹, A.V. Skalny^{1,2,4},
M.G. Skalnaya^{2,3}, S.A. Miroshnikov^{2,3}**

¹ Institute of Toxicology of the Federal Medical-Biological Agency, Bekhtereva str. 1, St. Petersburg, 192019, Russia

² Orenburg State University, Pobedy str. 13, Orenburg, 460015, Russia

³ All-Russian Research Institute of Beef Cattle Breeding, 9 Janvarja str. 29, Orenburg, 460000, Russia

⁴ All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Grina str. 7/1, Moscow, 117216, Russia

ABSTRACT. Informativity of diagnostic biosubstrates for determination of healthy nonlinear white male rats' elemental status was studied. Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn and Se was determined in samples of blood serum, hair, liver, kidneys, myocardium and hip (thigh) muscle by ICP-MS. Direct correlations between the content of Ca, Zn, Cu in liver; Ca and Zn in kidneys; Ca in myocardial muscle and hair were found.

On the basis of the correlation analysis of the found results we claim that the hair (fur) analysis of the content of Ca, Zn, Cu and Se is an informative method for the assessment of the status of these elements in the healthy body and reflects their active participation in metabolic processes (synthesis of proteins, excretion, detoxification and other functions).

However, the analysis of blood serum to a lesser degree reflects the state of metabolism of trace elements comparing to hair: only the concentration of two elements - Cu and Zn in blood serum correlated with the content of these trace elements in kidneys and liver correspondingly. The potential of application of hair analysis as the method for control of redistribution of chemical elements between organs and tissues has been shown.

KEYWORDS: macro elements, trace elements, rats, hair, blood serum, liver, kidney, muscles.