

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ, ВОЛОСАХ (ШЕРСТИ), ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

**А.А. Скальный**

ст. преподаватель, кафедра медицинской элементологии,  
Медицинский институт, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия)  
E-mail: skalny.pfur@yandex.ru

**Цель исследования.** Изучение информативности таких диагностических биосубстратов, как сыворотка крови и шерсть, при определении элементного статуса у экспериментальных животных в физиологических условиях.

**Материал и методы.** Использованы 72 здоровых самца крыс Wistar, находившихся на стандартном рационе. Анализ сыворотки крови, шерсти, печени, почек, мышцы сердца, скелетной мышцы на содержание 25 химических элементов проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой (ИСП-МС).

**Результаты.** Получены данные содержания 25 химических элементов в исследуемых органах и тканях. Изучены корреляции элементного состава сыворотки крови, волос (шерсти) и основных активных депо макро- и микроэлементов (почки, печень, миокард, скелетная мышца). Установлена зависимость между содержанием As, B, Ca, Cu, Fe, I, Na, Ni, P, Se и Zn в ряде органов и тканей и обоих биосубстратах – сыворотке крови и шерсти. Содержание Al, Co, Hg, Mg, Mn, Sn, Sr и V в ряде органов и тканей коррелировало с их концентрацией только в сыворотке крови, а уровень K, Li, Si в ряде органов и тканей – с их количеством в шерсти. При этом была выявлена зависимость между содержанием таких элементов, как As, B, Ca, Fe, Hg, I, Li, P и V в сыворотке крови и шерсти.

**Выводы.** На основании корреляционного анализа полученных данных можно утверждать, что анализ волос (шерсти) на содержание ряда химических элементов является информативным методом оценки статуса этих элементов в здоровом организме и их депонирования. Анализ сыворотки крови немного в меньшей степени отражает состояние обмена ряда элементов по сравнению с волосами. Показана перспективность применения анализа шерсти в качестве метода контроля перераспределения химических элементов между органами и тканями и накопления в них.

**Ключевые слова:** ИСП-МС, макроэлементы, микроэлементы, крысы, шерсть, сыворотка крови, печень, почки, скелетная мышца, миокард.

**Для цитирования:** Скальный А.А. Сравнительная оценка информативности определения содержания химических элементов в сыворотке крови, волосах (шерсти), органах и тканях экспериментальных животных. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2021;24(11):54–61. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-11-09>

Изучение роли макро- и микроэлементов в здоровье животных и человека является актуальной научной проблемой. Эссенциальность и токсичность этих элементов были тщательно исследованы на людях, лабораторных животных и частично на домашних животных, в то время как о метаболизме микроэлементов в большинстве живых организмов известно мало [1].

Концентрации макро- и микроэлементов в органах животных указывают на состояние их здоровья и представляют собой справочные данные для экспериментов на животных [2].

В работе А.В. Скального [3] впервые в отечественной литературе была показана связь между содержанием химических элементов в шерсти и крови животных, их органах и тканях.

Исследование D. Cygan-Szczegieliński [4] выявило множество существенных корреляций между уровнями элементов и их высокой изменчиво-

стью в отдельных тканях и органах. Накопление определенного металла в ткани или органе может снизить его концентрацию в другой матрице или способствовать увеличению содержания в другой ткани или другом органе.

Ученые N.P. Zaksas, S.E. Soboleva, G.A. Nevinsky [5] определили концентрацию двадцати элементов в семи органах человека (селезенка, печень, почки, мышцы, сердце, легкие и мозг). Они провели анализ возможной биологической роли и причин повышенного содержания некоторых элементов в анализируемых органах.

Тема выбора рекомендуемых биосубстратов недостаточно изучена. В связи с этим в настоящем исследовании рассмотрена связь между содержанием химических элементов в сыворотке крови и шерсти как между собой, так и с другими органами и тканями (печень, почка, мышца сердца, скелетная мышца) крыс.

Цель исследования – изучение информативности сыворотки крови и волос (шерсти) животных, а также составление их сравнительной оценки.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В эксперименте были использованы 72 самца крыс Wistar, потреблявшие стандартный рацион. Животные поступили из питомника РАН «Рапполово» (Ленинградская область) массой 160–180 г в возрасте 13–14 недель. Содержание животных соответствовало правилам лабораторной практики (GLP). Экспериментальные исследования проводили в соответствии с Приказом МЗ РФ № 199К от 01.04.2016 г. «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», Правилами, принятыми в Европейской конвенции по защите позвоночных животных (Страсбург, 1986) [6].

Крыс выводили из эксперимента путем декапитации с немедленным извлечением органов и тканей и их последующим взвешиванием. Волосы (шерсть) животных состригали с верхней части спины ближе к шее и помещали в специальные пластиковые контейнеры. Взятие крови у экспериментальных животных осуществляли в сухой вакутейнер. Далее отобранный биологический материал центрифугировали на скорости 3000 об/мин при 40 °С в течение 10 мин, затем отбирали надосадочную жидкость – сыворотку крови.

У животных брали на исследование следующие органы и ткани: почки, печень, сердечную мышцу, скелетную мышцу, которые помещали в отдельные пробирки. Далее образцы взвешивали, маркировали и замораживали при температурном режиме от 18 до 20 °С.

Образцы шерсти промывали и обезжиривали ацетоном (о.с.ч.). Затем их высушивали и взвешивали на аналитических весах OHAUS Explorer (EX) (США). Необходимая масса одного образца шерсти составляла 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. Пробоподготовку биологических

образцов осуществляли согласно МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 [7].

Определение содержания макро- и микроэлементов в шерсти, сыворотке крови, органах и тканях выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой (ИСП-МС) на приборе «Nexion 300D+NWR213» (Perkin Elmer, США) в испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва). 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.

Статистический анализ результатов проводили с использованием программного обеспечения Statistica for Windows (v.6.0). Состояние обмена макро- и микроэлементов оценивали параметрическими и непараметрическими методами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования представляют собой данные определения содержания химических элементов в органах и тканях экспериментальных животных (табл. 1), а также их корреляционный анализ (табл. 2).

Как видно из табл. 1, при сопоставлении содержания изученных элементов в отдельно рассмотренных органах и тканях, К чаще других элементов находился в максимальной концентрации в органах и тканях (шерсть, скелетная мышца и миокард), а Cd, наоборот, чаще всего определялся в минимальном количестве (сыворотка крови, шерсть, скелетная и сердечная мышца).

Шерсть экспериментальных животных по сравнению с другими изученными типами биологических образцов характеризуется в целом более высоким уровнем большинства химических элементов (табл. 1). Так, в шерсти наблюдается максимальное для исследованных биосубстратов содержание Al, B, Ca, Cr, Cu, Hg, I, Li, Ni, Pb, Sn, Sr, Zn. При этом для ряда элементов содержание в шерсти превышает их уровень в других биосубстратах в несколько раз и даже на порядок. В частности, содержание Al в шерсти в 3,4–4,5 раз выше, чем в образцах органов и в 30 раз выше, чем в сыворотке крови; содержание B в 11,4 раза выше, чем в сыворотке крови и в 6,5–16 раз выше, чем во внутренних органах; содержание Pb в 3,8–6

раз выше, чем в образцах внутренних органов и в 30 раз выше, чем в сыворотке крови. С другой стороны, в шерсти наблюдается минимальное среди изученных биосубстратов содержание Na (в 1,03–2,6 раз ниже, чем во внутренних органах, и в 6,5 раз ниже, чем в сыворотке крови) и достаточно

низкое содержание P (выше, чем в сыворотке крови, но в 6,4–9,6 раз ниже, чем во внутренних органах). Содержание прочих исследованных химических элементов (As, Cd, Co, Fe, K, Mg, Mn) значительно не выходит за интервал содержаний, свойственный другим типам биологических образцов.

**Таблица 1. Содержание химических элементов в образцах сыворотки крови, шерсти, тканей и органов экспериментальных животных (Me, 25–75)**

Элемент	Печень, мкг/г	Скелетная мышца, мкг/г	Почка, мкг/г	Миокард, мкг/г	Сыворотка крови, мкг/мл	Шерсть, мкг/г
1	2	3	4	5	6	7
Al	0,361 0,282–0,603	0,387 0,299–0,572	0,290 0,234–0,372	0,323 0,230–0,410	0,045* 0,045–0,106	1,331** 0,957–1,841
As	0,145** 0,110–0,188	0,012* 0,009–0,016	0,080 0,057–0,126	0,083 0,058–0,152	0,019 0,011–0,042	0,028 0,017–0,035
B	0,085 0,008–0,821	0,081 0,018–3,039	0,111 0,034–1,402	0,045* 0,001–2,185	0,063 0,046–0,108	0,719** 0,568–0,992
Ca	35,71 2,46–88,51	52,95 15,01–108,51	43,17 15,54–140,02	28,81* 16,89–76,43	114,59 101,90–124,13	318,58** 231,95–438,74
Cd	0,004 0,0026–0,0135	0,001 0,0003–0,0011	0,017** 0,0037–0,0371	0,000* 0,0002–0,0009	0,000* 0,0001–0,0002	0,003 0,0020–0,0035
Co	0,073 0,060–0,081	0,004 0,003–0,005	0,151** 0,112–0,175	0,028 0,021–0,037	0,001* 0,001–0,002	0,032 0,026–0,045
Cr	0,018 0,013–0,033	0,049 0,022–0,102	0,019 0,014–0,033	0,018 0,009–0,041	0,004* 0,002–0,282	0,078** 0,028–0,124
Cu	4,462 4,062–4,857	0,981* 0,853–1,232	5,695 4,948–7,559	5,610 5,195–6,270	1,526 1,368–1,743	9,906** 8,692–11,062
Fe	97,30** 79,02–128,45	12,25 8,50–15,76	43,93 38,82–69,71	70,36 56,72–106,03	3,89* 3,14–5,27	15,82 12,70–19,52
Hg	0,009 0,007–0,011	0,004 0,002–0,006	0,035 0,027–0,055	0,003 0,001–0,007	0,000* 0,0003–0,0004	0,036** 0,019–0,048
I	0,095 0,072–0,152	0,053* 0,027–0,110	0,122 0,085–0,163	0,065 0,039–0,108	0,158 0,110–0,194	4,778** 3,493–7,819
K	3218,1 3068,6–3460,3	3849,9** 3494,4–4376,6	2473,7 2281,1–2655,5	2648,8 2475,1–2869,5	254,6 241,7–269,9	3802,4 2839,5–5199,8
Li	0,003* 0,002–0,005	0,005 0,003–0,006	0,005 0,004–0,006	0,004 0,003–0,005	0,014 0,001–0,091	0,021** 0,017–0,027
Mg	236,3 224,2–249,9	285,9** 262,4–301,6	194,8 182,0–210,1	217,7 203,2–230,8	21,2* 18,8–23,4	132,7 118,4–166,7
Mn	2,068** 1,843–2,307	0,089 0,073–0,111	0,810 0,711–0,895	0,310 0,284–0,377	0,007* 0,005–0,011	1,060 0,679–1,322
Na	658,9 591,4–706,6	529,3 484,8–608,2	1349,6 1245,0–1439,8	1014,0 904,7–1106,6	3323,6** 3241,4–3450,3	513,0* 417,6–632,8
Ni	0,013 0,009–0,018	0,022 0,015–0,037	0,029 0,024–0,035	0,013 0,009–0,025	0,005* 0,003–0,007	0,091** 0,059–0,130

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
P	3614,0** 3474,8–3975,7	2463,7 2275,4–2708,0	2995,7 2802,2–3230,7	2405,8 2293,2–2707,8	139,1* 123,5–157,9	375,9 164,9–418,5
Pb	0,005 0,003–0,008	0,006 0,005–0,008	0,008 0,004–0,013	0,005 0,003–0,007	0,001* 0,001–0,001	0,030** 0,021–0,042
Se	0,634 0,558–0,726	0,133* 0,110–0,175	1,188** 1,076–1,355	0,308 0,265–0,346	0,509 0,431–0,901	0,301 0,282–0,329
Si	16,98 8,26–26,29	16,01* 11,05–23,16	16,43 8,21–24,68	16,65 8,80–25,91	22,85** 11,39–32,76	16,10 10,41–23,92
Sn	0,005 0,003–0,009	0,004 0,002–0,005	0,005 0,002–0,010	0,003 0,002–0,004	0,001* 0,000–0,001	0,033** 0,022–0,054
Sr	0,051* 0,041–0,067	0,064 0,054–0,081	0,099 0,084–0,128	0,052 0,045–0,064	0,112 0,100–0,147	0,580** 0,439–0,760
V	0,002 0,001–0,005	0,001* 0,001–0,007	0,006** 0,004–0,013	0,001* 0,001–0,010	0,001* 0,0004–0,076	0,005 0,003–0,007
Zn	32,12 29,84–36,76	10,74 8,93–12,76	21,76 18,83–25,80	17,94 16,36–22,96	1,44* 1,27–1,71	156,89** 137,72–170,29

П р и м е ч а н и е : данные представлены в виде медианы (*Me*) и 25-го и 75-го перцентилей;  $n = 72$ ; \* – наименьшее содержание химического элемента среди всех биосубстратов; \*\* – наибольшее содержание химического элемента среди всех биосубстратов.

**Таблица 2. Результаты корреляционного анализа содержания химических элементов в сыворотке крови и волосах (шерсти) и образцах тканей и органов экспериментальных животных**

Элемент	Субстрат	Коэффициент корреляции $r$				
		Печень	Скелетная мышца	Почка	Сердце	Сыворотка крови
1	2	3	4	5	6	7
Al	Сыворотка крови	0,108	-0,122	-0,291*	-0,272*	–
	Шерсть	-0,108	-0,177	0,017	0,200	-0,006
As	Сыворотка крови	0,429**	0,348**	0,485**	0,571**	–
	Шерсть	0,523**	0,091	0,580**	0,516**	0,463**
B	Сыворотка крови	0,794**	0,739**	0,858**	0,805**	–
	Шерсть	0,594**	0,563**	0,546**	0,573**	0,534**
Ca	Сыворотка крови	-0,520**	-0,274*	-0,469**	-0,532**	–
	Шерсть	0,621**	0,042	0,590**	0,643**	-0,418**
Cd	Сыворотка крови	0,048	0,039	-0,095	0,223	–
	Шерсть	0,070	-0,031	0,016	-0,050	0,061
Co	Сыворотка крови	0,221	-0,215	-0,413**	-0,480**	–
	Шерсть	0,001	-0,022	0,248	0,231	-0,216
Cr	Сыворотка крови	0,040	-0,222	-0,204	-0,012	–
	Шерсть	-0,069	-0,022	0,020	-0,010	0,066
Cu	Сыворотка крови	0,255*	0,083	-0,371**	-0,042	–
	Шерсть	0,535**	0,020	-0,364**	-0,203	0,179

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Fe	Сыворотка крови	-0,158	-0,345**	-0,262*	-0,275*	-
	Шерсть	0,437**	0,321*	0,464**	0,398**	-0,396**
Hg	Сыворотка крови	-0,159	-0,216	-0,252*	-0,156	-
	Шерсть	-0,268	-0,131	0,025	-0,214	0,292*
I	Сыворотка крови	0,230	0,291*	0,309*	0,329**	-
	Шерсть	-0,284*	-0,361**	-0,322*	-0,331*	-0,373*
K	Сыворотка крови	-0,044	-0,016	-0,007	0,178	-
	Шерсть	0,408**	0,554**	0,334*	0,301*	-0,166
Li	Сыворотка крови	-0,018	0,016	-0,003	-0,002	-
	Шерсть	-0,396**	-0,148	-0,121	-0,129	0,379**
Mg	Сыворотка крови	-0,065	-0,397**	-0,121	-0,229	-
	Шерсть	0,131	-0,081	0,015	0,103	0,067
Mn	Сыворотка крови	-0,237	-0,281*	-0,339**	-0,257*	-
	Шерсть	0,166	0,093	0,163	0,122	-0,281
Na	Сыворотка крови	0,315	0,290	0,385*	0,071	-
	Шерсть	0,507**	0,125	0,306*	0,533**	-0,133
Ni	Сыворотка крови	0,250*	0,049	0,195	0,269*	-
	Шерсть	0,394**	0,244	0,299*	0,593**	0,167
P	Сыворотка крови	-0,202	-0,511**	-0,263*	-0,304*	-
	Шерсть	0,383**	0,245	0,285*	0,287*	-0,499**
Pb	Сыворотка крови	-0,197	-0,126	-0,116	0,135	-
	Шерсть	-0,041	0,049	-0,173	-0,069	-0,221
Se	Сыворотка крови	0,037	-0,309*	0,373**	0,267*	-
	Шерсть	0,317*	-0,133	0,013	-0,051	-0,054
Si	Сыворотка крови	0,201	-0,04	0,141	-0,056	-
	Шерсть	0,377**	0,510**	0,555**	0,369**	0,086
Sn	Сыворотка крови	-0,015	-0,099	0,526**	-0,098	-
	Шерсть	-0,149	0,004	-0,152	-0,024	-0,041
Sr	Сыворотка крови	-0,261*	-0,087	-0,356**	-0,377**	-
	Шерсть	0,116	-0,017	0,052	0,043	0,071
V	Сыворотка крови	0,350**	0,550**	0,574**	0,520**	-
	Шерсть	0,078	0,048	0,200	0,110	0,424**
Zn	Сыворотка крови	-0,098	-0,083	0,429**	0,179	-
	Шерсть	0,547**	-0,192	0,622**	0,433**	0,161

П р и м е ч а н и е : n=72; \*\* – корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя), \* – корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

Сыворотка крови крыс продемонстрировала наибольшую концентрацию только Na и Si. При этом большинство изученных элементов отражало минимальную концентрацию (Al, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sn, V, Zn) по сравнению с органами и тканями. В печени отмечено максимальное содержание As, Fe, Mn, P, а минимальное – Li и Sr. Элементы K и Mg определены в наибольшем количестве в скелетной мышце, при этом As, Cu, I, Se, Si и V – в наименьшем. В паренхиме почки экспериментальных животных наблюдалось максимальное содержание Cd, Co, Se и V. При этом не отмечалось ни одного минимального содержания по сравнению с другими биосубстратами. В миокарде, наоборот, в отличие от почки не было выявлено ни одного максимального значения при сравнении с другими органами и тканями. При этом в сердечной мышце было отражено минимальное содержание таких элементов, как B, Ca, Cd и V. Следует отметить, что Cd обнаружен в минимальных концентрациях одновременно в миокарде и сыворотке крови, а V – в сердечной и скелетной мышцах, а также в сыворотке крови.

Установлено, что существует достоверная положительная связь между концентрацией в сыворотке крови Zn и его содержанием в почках, Se и его содержанием в почках и миокарде, Na и его содержанием в почках, Cu и ее содержанием в печени, I и его содержанием в мышечной ткани и почках, Ni и его содержанием в печени и миокарде, V, As и B и их содержанием во всех изученных органах и мышечной ткани. То есть повышение содержания перечисленных химических элементов в шерсти отражает их содержание в изученных органах и тканях (табл. 2).

Была выявлена отрицательная зависимость между концентрацией ряда макро- и микроэлементов в сыворотке крови и их содержанием в изученных органах и мышечной ткани.

Очень интересно, что существует значимая отрицательная корреляционная связь между концентрацией в сыворотке крови экспериментальных животных Ca и его содержанием в сердце, печени, почках, икроножной мышце, а P – в миокарде, почках и скелетной мышце (в случае печени  $p < 0,1$ ). Концентрация Mg в сыворотке крови отрицательно коррелировала с содержанием этого элемента в скелетной мышце. Установлено, что корреляционные связи между показателями уровня Ca, P в тканях и сыворотке крови более выражены по сравнению с Na и Mg, а в случае K никаких до-

стоверных корреляций не выявлено. Близкий по физиологическому значению к Ca микроэлемент Sr также обнаруживает отрицательную связь между его концентрацией в сыворотке крови и печени, почках, миокарде.

На основании полученных данных можно утверждать, что в физиологических условиях повышение концентрации Ca, P, Sr, Mg в сыворотке крови отражает выход этих элементов из активных депо в кровотоке.

При сравнении показателей эссенциальных микроэлементов установлена обратная зависимость между уровнем сывороточного Fe и Mn и их содержанием в почках, миокарде и скелетной мышце. Подобная зависимость установлена и для Co, уровень которого в сыворотке крови отрицательно коррелирует с содержанием в миокарде и почках. Концентрация Cu в сыворотке отрицательно коррелирует с ее содержанием в почках, тогда как в печени, как показано выше, эта связь оказалась положительной. Концентрация Se в сыворотке крови отрицательно коррелировала с его содержанием в скелетной мышце (см. табл.2).

Из условно эссенциальных элементов следует отметить обратную зависимость между концентрацией Al в сыворотке, почках и сердце.

На основании полученных данных можно утверждать, что определение Zn и Se в сыворотке крови экспериментальных животных в условиях физиологической нормы отражает уровень этих двух микроэлементов в почках, а Se – также в миокарде (прямая связь) и скелетной мышце (обратная связь). Следовательно, можно полагать, что определение Zn и Se в сыворотке крови и шерсти имеет высокую информативность по отношению к содержанию в почках, а Se – в мышечной ткани, что может быть использовано при интерпретации получаемых данных.

В волосах (шерсти), как известно, гомеостатический контроль (регуляция) состава химических элементов отсутствует. Между элементным составом шерсти и мышечной ткани крыс выявлена прямая зависимость по показателям макроэлементов K, Ca, Na, P (миокард), эссенциальных микроэлементов Fe, Zn, Ni (миокард), условно эссенциальных микроэлементов Si и токсических химических элементов As (миокард), то есть для шерсти в основном характерно отражение содержания в миокарде макроэлементов Ca, Na, P, K, а в скелетной мышце – только K, Zn и Fe, а также условно эссенциальных элементов Si и As в мышцах в целом, а As –



только в миокарде. Вместе с тем никаких связей не обнаружено между уровнем токсических микроэлементов в волосах и мышечной ткани.

Так же, как и в случае с печенью и почками, уровень в шерсти I был обратно пропорционален содержанию этого микроэлемента в мышцах. Исходя из целей исследования оценки метаболизма Zn в организме экспериментальных животных, можно использовать анализ шерсти, который положительно коррелирует с содержанием этого микроэлемента в печени, почках и миокарде, но не скелетной мышце. Также нет корреляции между уровнями Zn в шерсти и крови. Анализ содержания Zn в крови, вероятно, менее информативен для установления содержания в органах, но может быть хорошим показателем гомеостатического контроля его обмена (см. табл. 2).

Важно отметить, что в условиях поступления химических элементов с пищей в физиологических количествах и отсутствия нагрузки токсическими химическими элементами их содержание ни в шерсти, ни в крови практически не коррелирует с содержанием в печени, почках, мышечной ткани. Как следует из результата анализов биопроб, содержание в шерсти условно эссенциальных (V, B, Li) и токсических (As, Hg) микроэлементов положительно коррелирует с концентрацией этих элементов в сыворотке крови, а отрицательно – макроэлементов (Ca, P) и эссенциальных микроэлементов (Fe, I).

Следовательно, подтверждение высказанных ранее [8–10] предположений о том, что повышенное содержание в волосах (шерсти) ряда химических элементов (в данном случае Ca, P, Fe, I) является отражением усиленного выведения химических элементов из организма, «их преддефицита» (риск остеопороза, анемии, гипотиреоза и других состояний), положительная корреляция уровня в шерсти и в крови As, Hg, B, V, Li указывает, возможно, на отсутствие гомеостатического контроля за содержанием данных элементов в организме или его слабой выраженностью. Отсутствие корреляционной зависимости по остальным химическим элементам, в том числе Zn, может отражать как раз выраженное различие гомеостатической регуляции этих микроэлементов в сыворотке крови и отсутствие этого эффекта по отношению к шерсти.

## ВЫВОДЫ

Корреляционный анализ полученных данных продемонстрировал, что анализ волос (шерсти) на содержание химических элементов является ин-

формативным методом оценки статуса многих элементов в здоровом организме животных. Анализ сыворотки крови в немного меньшей степени отражает состояние обмена элементов по сравнению с волосами. Показана перспективность применения анализа волос (шерсти) в качестве метода контроля перераспределения химических элементов между органами и тканями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Carpenè E., Andreani G., Isani G.* Trace elements in unconventional animals: A 40-year experience. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2017 Sep; 43:169–179. doi: 10.1016/j.jtemb.2017.02.003.
2. *Orct T., Jurasović J., Micek V., Karaica D., Sabolić I.* Macro- and microelements in the rat liver, kidneys, and brain tissues; sex differences and effect of blood removal by perfusion *in vivo*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* 2017; 40: 104–111.
3. *Скальный А.В.* Исследование влияния хронической алкогольной интоксикации на обмен цинка, меди и лития в организме: автореферат дис. ... кандидата медицинских наук: 14.00.45. Всес. науч. центр медико-биол. проблем наркологии. Москва, 1990. 25 с.
4. *Cygan-Szczegielniak D.* The Levels of Mineral Elements and Toxic Metals in the *Longissimus lumborum* Muscle, Hair and Selected Organs of Red Deer (*Cervus elaphus* L.) in Poland. *Animals (Basel)*. 2021;11(5): 1231. doi: 10.3390/ani11051231.
5. *Zaksas N.P., Soboleva S.E., Nevinsky G.A.* Twenty Element Concentrations in Human Organs Determined by Two-Jet Plasma Atomic Emission Spectrometry. *ScientificWorldJournal*. 2019; 9782635; doi: 10.1155/2019/9782635.
6. Европейская Конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Страсбург, 1986. 18 с.
7. 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 госстандартнадзора Минздрава России, 2003. 56 с.
8. *Оберлис Д., Харланд Б.Ф., Скальный А.В.* Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. Техасский технологический ун-т г. Лаббок, США, Ун-т Говарда, г. Вашингтон, США. Федеральное гос. учреждение науки «Ин-т токсикологии» Федерального медико-биологического агентства России, Ин-т биоэлементологии гос. образовательного учреждения «Оренбургский гос. ун-т». Санкт-Петербург: Наука, 2008. 183 с.
9. *Скальный А.А., Мелихова М.В., Бонитенко Е.Ю. и др.* Сравнительный анализ информативности диагностических биосубстратов (сыворотка крови и шерсть) при определении элементного статуса экспериментальных животных. *Микроэлементы в медицине.* 2016; 17( 1): 38–44.
10. *Skalny A.V., Skalny A.A., Tinkov A.A. et al.* Ultratrace element contents in rat tissues: Comparative analysis of serum and hair as indicative matrices of the total body burden. *Archives of Biological Sciences.* 2016; 68(3): 623–632.

Поступила 8 августа 2021 г.

# COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE INFORMATIVENESS OF DETERMINING THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN BLOOD SERUM, HAIR (WOOL), ORGANS AND TISSUES OF EXPERIMENTAL ANIMALS

© A.A. Skalny, 2021

## A.A. Skalny

Senior Lecturer, Department of Medical Elementology, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russia)

E-mail: skalny.pfur@yandex.ru

**The aim of the study.** To study the informative value of diagnostic biosubstrates in determining the elemental status of experimental animals under physiological conditions.

**Material and methods.** 72 healthy male Wistar rats were used on standard laboratory feed. The analysis of blood serum, wool, liver, kidneys, heart muscles, thigh muscles for the content of 25 chemical elements was carried out by the ISP-MS method.

**Results.** Data on the content of 25 chemical elements in the studied organs and tissues were obtained, and correlations of the elemental composition of blood serum and wool and the main active depots of macro- and microelements (kidneys, liver, myocardium, calf muscle) were studied. A relationship between the content of As, B, Ca, Cu, Fe, I, Na, Ni, P, Se and Zn in a number of organs and tissues and both biosubstrates - blood and wool serum was established. The content of Al, Co, Hg, Mg, Mn, Sn, Sr and V in a number of organs and tissues correlated with their concentration only in the blood serum, and the level of K, Li, Si in a number of organs and tissues - with their amount in the wool. At the same time, a relationship between the content of such elements as As, B, Ca, Fe, Hg, I, Li, P and V in blood serum and wool was revealed.

**Conclusions.** Based on the correlation analysis of the data obtained, it can be argued that the analysis of hair (wool) for the content of a number of chemical elements is an informative method for assessing the status of these elements in a healthy body and their deposition. The analysis of blood serum to a slightly lesser extent reflects the state of exchange of a number of elements compared to hair. The prospects of using wool analysis as a method of controlling the redistribution of chemical elements between organs and tissues are shown.

**Key words:** ICP-MS, macro elements, trace elements, rats, hair, blood serum, liver, kidney, skeletal muscle, myocardium.

**For citation:** Skalny A.A. Comparative assessment of the informativeness of determining the content of chemical elements in blood serum, hair (wool), organs and tissues of experimental animals. Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2021;24(11):54–61. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-11-09>

## REFERENCES

1. Carpenè E., Andreani G., Isani G. Trace elements in unconventional animals: A 40-year experience. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2017 Sep; 43:169–179. doi: 10.1016/j.jtemb.2017.02.003.
2. Orct T., Jurasović J., Micek V., Karaica D., Sabolić I. Macro- and microelements in the rat liver, kidneys, and brain tissues; sex differences and effect of blood removal by perfusion in vivo. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* 2017; 40: 104–111.
3. Skalny A.V. Investigation of the influence of chronic alcohol intoxication on the exchange of zinc, copper and lithium in the body: abstract dis. ... Candidate of Medical Sciences: 14.00.45 / Vses. Scientific. medical-biol center. problems of narcology. Moscow. 1990. 25 p.
4. Cygan-Szczegliński D. The Levels of Mineral Elements and Toxic Metals in the Longissimus lumborum Muscle, Hair and Selected Organs of Red Deer (*Cervus elaphus L.*) in Poland. *Animals (Basel).* 2021;11(5): 1231; doi: 10.3390/ani11051231.
5. Zaksas N.P., Soboleva S.E., Nevinsky G.A. Twenty Element Concentrations in Human Organs Determined by Two-Jet Plasma Atomic Emission Spectrometry. *ScientificWorldJournal.* 2019; 9782635. doi: 10.1155/2019/9782635.
6. *Evropejskaja Konvencija o zashhite pozvonocnyh zhivotnyh, ispol'zuemyh dlja jeksperimentov ili v inyh nauchnyh celjah.* Strasburg, 1986. 18 s.
7. MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03. *Opređenje himicheskih jelementov v biologicheskih sredah i preparatah metodami atomno-jemissionnoj spektrometrii s induktivno svjazannoj plazmoj i mass-spektrometrii s induktivno svjazannoj plazmoj.* Federal'nyj centr gossanjepidnadzora Minzdrava Rossii, 2003. 56 s.
8. Oberlis D., Harland B.F., Skalny A.V. Biological role of macro- and microelements in humans and animals. Texas Technological University Lubbock, USA, Howard University, Washington, USA, Federal State Institution of Science "In-t Toxicology" of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, In-t Bioelementology of the State Educational Institution "Orenburg State University". St. Petersburg: Nauka. 2008. 183 p.
9. Skalny A.A., Melikhova M.V., Bonitenko E.Y. et al. Comparative analysis of informativity of diagnostic biosubstrates (blood serum and deckhair) when determining element status of experimental animals. *Trace elements in medicine.* 2016; 17(1): 38–44.
10. Skalny A.V., Skalny A.A., Tinkov A.A. et al. Ultratrace element contents in rat tissues: Comparative analysis of serum and hair as indicative matrices of the total body burden. *Archives of Biological Sciences.* 2016; 68(3): 623–632.