

Влияние колебаний содержания металлов в крови на их содержание в тканях лабораторных животных при нормальном и избыточном пищевом потреблении металлохелатов

А.О. Ревякин¹, Н.Н. Каркищенко¹, Е.Б. Шустов¹, В.Н. Каркищенко¹,
Д.А. Ксенофонов²

¹ – ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России», Московская область

² – ФГБОУ ВПО РГАУ – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва

Контактная информация: к.б.н. Ревякин Артем Олегович, scbmt@yandex.ru

Методом атомно-абсорбционной спектрометрии изучено содержание кальция, магния, железа, меди, марганца и цинка в тканях лабораторных животных при уровнях пищевого потребления, составляющих 100, 120 и 140% от суточной потребности. Выявлены статистические закономерности их распределения в тканях в зависимости от уровня содержания металлов в крови.

Ключевые слова: металлохелаты, микроэлементы, содержание в тканях, атомно-абсорбционная спектрометрия.

Данная статья является продолжением анализа данных, полученных при исследовании особенностей распределения металлов в тканях лабораторных животных при их нормальном и избыточном пищевом потреблении, и опубликованных нами ранее [2].

Схема проведения экспериментальной работы

Исследование планировалось и проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики (GLP)» и РД 64-126-91 «Правила доклинической оценки безопасности фармакологических средств. Протокол исследования

был одобрен биоэтической комиссией НЦБМТ ФМБА России.

Исследование выполнялось на лабораторных белых аутбредных крысах, поступивших из филиала «Андреевка» НЦБМТ ФМБА России. Карантин, содержание животных, осмотры и рандомизация, введение препаратов и эвтаназия осуществлялись в соответствии с утвержденными СОП (Стандартные операционные процедуры) организации. В качестве корма животным использовался стандартный экструдированный гранулированный полнорационный комбикорм для лабораторных животных ПК-120, произведенный в соответствии с ГОСТ Р 51849-2001 Р.5.

Кормление животных осуществлялось в свободном режиме исходя из суточных нормативов. Водопроводная очищенная вода давалась всем животным *ad libitum* в стандартных поилках.

Полнораационный комбикорм в суточной дозе (из расчета на одну крысу массой 250 г) содержал кальция - 54 мг, железа - 0,54 мг, цинка - 0,136 мг, марганца - 0,27 мг, меди - 0,072 мг, магния - 0,8 мг, кобальта - 0,0054 мг [3].

Так как в исследовании планировалось изучение содержания металлов в тканях животных при избыточном их поступлении, то дополнительное количество металлов, обеспечивающее превышение суточной нормы потребления на 20 и 40%, вводилось животным в виде смеси хелатных комплексов ежедневно, однократно, внутривентрикулярно в объеме 0,1 мл водного раствора, на протяжении 28 дней.

Животные выводились из эксперимента методом декапитации с отбором крови и тканей. Ткани высушивались в сухожаровом шкафу при температуре +105 °С до достижения постоянной сухой массы, затем озолялись в муфельной печи при температуре +850 °С. Навески золы растворяли в 30% химически чистой соляной кислоте и определяли содержание металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии (прибор «Спектр 5-4», производство ОАО «Союзцветметавтоматика», Россия, номер Государственного реестра средств измерений 13743-04). Полученные количественные результаты измерений из золевых навесок пересчитывались в содержание металлов в тканях (мг / 100 г ткани).

Исследуемые металлохелатные комплексы были получены путем совместной инкубации при комнатной темпера-

туре и pH=7,1 – 7,2 водных растворов солей металлов с низкомолекулярной фракцией (< 10 кДа) ферментативных гидролизатов сывороточных белков молока [1]. Полученные жидкие хелаты лиофильно высушивали и определяли в них содержание металлов атомно-абсорбционным методом.

В работе исследовалось содержание металлов в следующих тканях: кровь (суммарно плазма и форменные элементы крови), печень, кости (включая костный мозг), волосы, мышцы, кишечник (включая кишечное содержимое).

Содержание металлов в крови (мг/100 г ткани) животных при нормальном и избыточном пищевом потреблении имеет следующие статистические характеристики (табл.1).

При анализе таблицы обращает на себя внимание, что только распределение значений меди может быть охарактеризовано как соответствующее критериям нормального распределения (близкие значения моды, медианы и среднего по выборке, минимальные значения эксцесса и асимметричности). Следовательно, на концентрацию меди в крови животных не оказывал влияние никакой из внешних факторов. Статистические параметры значений содержания железа, марганца и магния в крови характеризуются асимметричностью с превалированием зоны высоких значений, что может отражать влияние на содержание этих ионов какого-либо одного внешнего фактора, например, избыточность их поступления в организм с пищей. Статистические параметры значений содержания кальция и цинка в крови не могут быть приведены к нормальному распределению, и, следовательно, находятся под сильным влиянием нескольких внешних факторов.

Таблица 1

**Содержание металлов в крови (мг/100 г ткани) животных при нормальном
и избыточном пищевом потреблении**

Статистический параметр	Ca	Cu	Mn	Fe	Mg	Zn
Среднее	3,6914	0,857963	0,093917	228,2269	1,819633	2,424767
Стандартная ошибка	0,135	0,045167	0,011326	17,06994	0,040148	0,101818
Медиана	3,8365	0,8428	0,069	207,4905	1,783	2,2385
Мода	4,1	0,83	0,04	160	1,594	2,161
Стандартное отклонение	0,739425	0,247391	0,062037	93,49589	0,2199	0,557679
Дисперсия выборки	0,54675	0,061202	0,003849	8741,481	0,048356	0,311006
Эксцесс	-0,41035	0,259695	0,76253	1,228308	0,860984	5,283579
Асимметричность	-0,10138	0,26055	1,230637	0,984952	0,918417	2,288396
Интервал	3,035	1,029	0,2289	428,652	0,903	2,403
Минимум	2,369	0,36	0,0262	69,888	1,49	1,873
Максимум	5,404	1,389	0,2551	498,54	2,393	4,276
Коэффициент вариации.	0,148114	0,071335	0,040979	0,409662	0,120848	0,229993
Счет	30	30	30	30	30	30

По широте размаха колебаний и коэффициенту вариации анализируемые металлы могут быть разделены на три группы: с высокой вариативностью (железо), умеренной вариативностью (цинк, кальций, магний) и низкой вариативностью (медь, марганец) показателей содержания в крови. Следовательно, именно эти два металла (медь, марганец) должны иметь самые жесткие гомеостатические механизмы регулирования их содержания в крови. Высокая вариативность содержания железа в крови может быть связана с разной степенью насыщения металлом эритроцитарных и плазменных депо. Умеренная вариативность показателей содержания в крови цинка, кальция и магния, вероятно, связана с частичной разбалансированностью механизмов всасывания и выведения, распределения по тканям и тканевого депонирования, возникшего при избыточном пищевом потреблении этих металлов.

Кальций

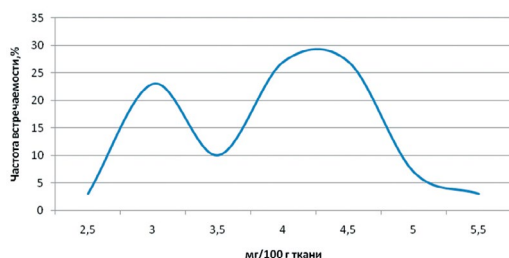


Рис. 1. Частотная кривая распределения значений уровня кальция в крови.

Кривая частотного распределения содержания кальция в крови животных представляет собой наложение двух кривых нормального распределения — одна из них находится в зоне низких значений (вершина — 3 мг/100 г ткани), вторая — в зоне средних значений (максимум в зоне 4,25 мг/100 г ткани). Наличие дополнительного пика в области низких значений может отражать относительную недостаточность у от-

дельных животных содержания этого металла в стандартном корме. Исходя из особенностей распределения частот встречаемости значений содержания кальция в крови животных, они могут быть распределены в три группы:

с низким значением кальция в крови (менее 3,5 мг/100 г ткани),

со средними значениями (от 3,5 до 4,5 мг/100 г ткани)

и с высокими значениями (более 4,5 мг/100 г ткани).

В соответствии с границами разделения по фактору «Уровень кальция в крови» выполнен дисперсионный анализ значений содержания кальция в тканях животных (табл. 2).

Анализ таблицы 2 позволяет сделать вывод, что содержание кальция в **печени** и **мышцах** не зависит от уровня кальция в крови, в **костях** и (в несколько меньшей степени) **волосах** – определяется уровнем кальция в крови. Динамика центроидов распределения значений кальция в **кишечнике** по подгруппам с низким, средним и высоким содержанием кальция в крови, позволяет предположить, что уровень кальция в крови во

многом определяется всасыванием его в кишечнике, так как максимальному уровню металла в крови соответствует минимальное его содержание в кишечнике, и наоборот, минимальному значению кальция в крови соответствует максимальное значение его содержания в кишечнике.

В связи с этим был выполнен дисперсионный анализ влияния фактора «Содержание кальция в кишечнике» на уровень кальция в крови животных.

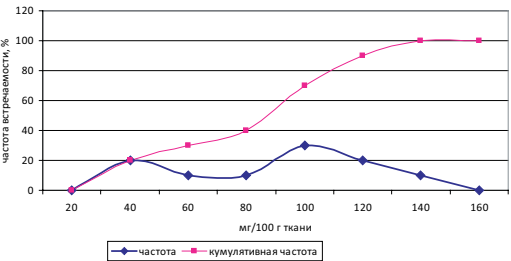


Рис. 2. Кривая распределения значений кальция в кишечнике.

На рис. 2 мы видим двухгорбую кривую, представляющую собой наложение двух кривых нормального распределения. Первый пик находится в зоне низкого содержания кальция в кишечнике

Таблица 2
Влияние уровня кальция в крови животных на его содержание в тканях

Металл	Ткань	Центроиды распределения (мг/100 г ткани) по уровням содержания кальция в крови			Коэффициент детерминации модели, D	Уровень значимости, р
		низкий	средний	высокий		
Кальций	Кровь	2,82	3,97	4,73	0,83	4*10 ⁻¹¹
	Печень	2,51	2,53	2,41	0,005	0,93
	Кость	1449	1724	1805	0,59	7*10 ⁻⁶
	Волосы	3,58	5,16	6,10	0,41	0,0009
	Мышцы	17,13	14,52	15,38	0,07	0,38
	Кишечник	111,3	71,6	48,9	0,48	0,0002

(40 мг/100 г ткани), и вероятно, характеризует субгруппу животных с высокой скоростью всасывания кальция. Второй пик находится в области более высоких значений содержания кальция в кишечнике (100 мг/100 г ткани), и вероятно, характеризует животных с замедленным усвоением кальция, в том числе – за счет образования менее растворимых комплексов кальция с другими металлохелатами.

Исходя из особенностей кривых частотного распределения (в том числе – кумулятивной кривой), границами диапазонов низкого, среднего и высокого значений содержания кальция в кишечнике были определены 60 и 110 мг/100 г ткани.

Животные были перегруппированы в соответствии с уровнем содержания кальция в кишечнике на 3 подгруппы: с низким содержанием кальция (до 60 мг/100 г ткани, подгруппа Н), средним уровнем содержания кальция в кишечнике (от 61 до 110 мг/100 г ткани, подгруппа С) и высоким содержанием кальция в кишечнике (более

110 мг/100 г ткани, подгруппа В.). Дисперсионному анализу подвергались данные о содержании кальция в крови животного.

Анализ динамики центроидов распределения значений содержания кальция в крови показывает, что подгруппе с низким содержанием кальция в кишечнике на фоне его полноценного пищевого потребления (то есть при его максимальном всасывании) соответствует самое высокое значение содержания кальция в крови, и наоборот, подгруппе с высоким содержанием кальция в кишечнике (то есть при его минимальном всасывании) соответствует самое низкое содержание кальция в крови. Таким образом, наша гипотеза о влиянии всасывания кальция в кишечнике на его содержание в крови была подтверждена с высокой степенью статистической значимости ($p < 0.0003$, коэффициент детерминации модели 0,45 – то есть 45% всей вариации значений содержания кальция в крови животных может быть объяснено за счет разного уровня его всасывания в кишечнике).

Однофакторный дисперсионный анализ

ИТОГИ

Группы	Счет	Сумма	Центроиды	Дисперсия
Н	9	39,073	4,341444	0,219645
С	12	43,939	3,661583	0,401399
В	9	27,73	3,081111	0,314679

Дисперсионный анализ

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	7,165761	2	3,582881	11,13211	0,000298	3,354131
Внутри групп	8,689976	27	0,321851			
Итого	15,85574	29				

Медь

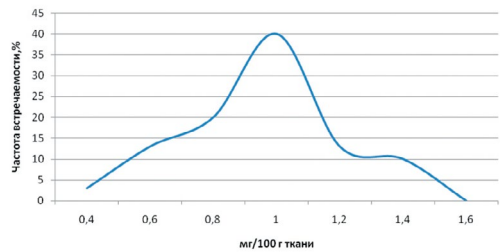


Рис. 3. Частотная кривая распределений значений уровня меди в крови.

Исходя из особенностей кривой частотного распределения значений содержания меди в крови, можно определить границы групп следующим образом: низкое содержание (до 0,6 мг/100 г ткани включительно), среднее содержание (от 0,61 до 1,10 мг/100 г ткани) и высокое содержание (более 1,10 мг/100 г ткани).

Анализ таблицы 3 показывает, содержания меди в печени определяется содержанием этого металла в крови. В то же время, закономерности, определяющие депонирование меди в костях

имеют более сложный характер. Так, низкому уровню меди в крови соответствует самое высокое значение центроида распределения этого металла в подгруппах, в то время как животным со средним уровнем содержания меди в крови соответствует самое низкое значение центроидов распределения этого микроэлемента в костях. То есть, можно предположить, что более низкий уровень меди в крови может быть связан с избыточностью его депонирования в костях и нарушением работы механизмов обмена металла между костной тканью и кровью. При повышении уровня меди в крови выше среднего диапазона значений, избыток металла начинает депонироваться в костной ткани (динамика центроидов при этом возрастает). Такая же реакция на превышение среднего диапазона содержания меди в крови характерна и для мышечной ткани – она начинает более интенсивно депонировать медь. Содержание меди в волосах животных при нормальном и избыточном его пищевом потреблении не зависит от содержания металла в крови.

Таблица 3
Влияние уровня меди в крови животных на его содержание в тканях

Металл	Ткань	Центроиды распределения (мг/100 г ткани) по уровням содержания меди в крови			Коэффициент детерминации модели, D	Уровень значимости, р
		низкий	средний	высокий		
Медь	Кровь	0,49	0,85	1,26	0,84	$2 \cdot 10^{-11}$
	Печень	1,09	1,48	1,98	0,27	0,015
	Кость	1,56	1,22	1,44	0,24	0,03
	Волосы	1,49	1,35	1,32	0,03	0,70
	Мышцы	0,39	0,37	0,45	0,17	0,08
	Кишечник	1,10	1,44	1,08	0,14	0,13

Марганец

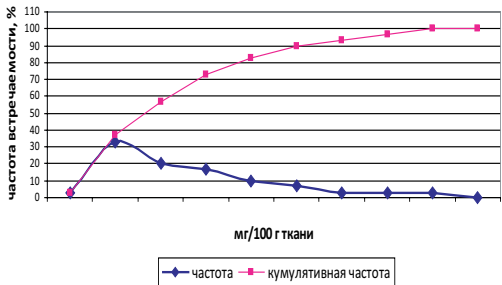


Рис. 4. Частотная кривая распределений значений содержания марганца в крови.

Частотная кривая распределения значений содержания марганца в крови имеет вид, далекий от нормального распределения (рис. 4). Во первых, частотный максимум смещен в области низких значений. Во вторых, нисходящая ветвь распределения существенно растянута в область более высоких значений при низкой частоте их встречаемости (3%). Возможно, такое растяжение частотной кривой распределения значений содержания марганца в области высоких значений отражает условия экспериментального исследования – его избыточное пищевое потребление. В связи с

этим, статистически корректно по точкам перегиба частотной кривой произвести разделение на группы по уровню содержания марганца в крови не получится. Для деления на группы придется воспользоваться правилами S-образного шкалирования кумулятивной частотной кривой, в соответствии с которыми границей области низких значений является 16% кумулятивной частоты (в нашем случае – это значение 0,04 мг/100 г ткани), а границей области высоких значений – 84% кумулятивной частоты (в нашем случае – более 0,16 мг/100 г ткани). Значения внутри этих границ (от 0,041 до 0,16 мг/100 г ткани включительно) относятся к среднему уровню.

Таким образом, содержание марганца в исследуемых тканях (табл. 4) при нормальном и повышенном пищевом потреблении этого металла не зависит от уровня его содержания в крови, и вероятно, депонирование его в тканях определяется иными, не связанными с уровнем содержания в крови, механизмами. Также, как и для содержания кальция в кишечнике, обращает на себя внимание обратное монотонное изменение центроидов распределения по

Таблица 4
Влияние уровня марганца в крови животных на его содержание в тканях

Металл	Ткань	Центроиды распределения (мг/100 г ткани) по уровням содержания марганца в крови			Коэффициент детерминации модели, D	Уровень значимости, р
		низкий	средний	высокий		
Марганец	Кровь	0,036	0,085	0,208	0,81	$2 \cdot 10^{-10}$
	Печень	0,556	0,546	0,489	0,07	0,35
	Кость	0,787	0,718	0,568	0,03	0,52
	Волосы	0,185	0,198	0,149	0,11	0,20
	Мышцы	0,065	0,083	0,082	0,03	0,64
	Кишечник	8,470	7,012	6,443	0,06	0,41

группам: группе с низким содержанием марганца в крови соответствует его более высокое содержание в кишечнике (задержка всасывания), и наоборот, группе с высоким уровнем марганца в крови соответствует его более низкое содержание в кишечнике (более полное всасывание).

В связи с возникновением такого предположения (зависимость уровня марганца в крови от полноты его всасывания в кишечнике), был проведен дисперсионный анализ влияния фактора «Уровень содержания марганца в кишечнике» на значения содержания марганца в крови.

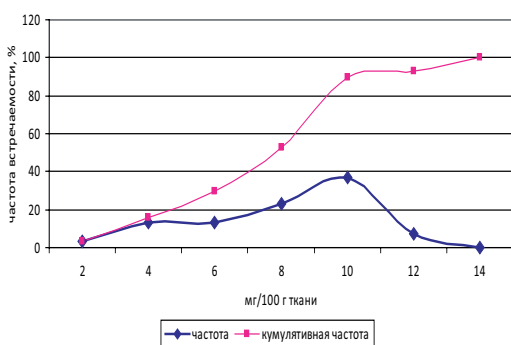


Рис. 5. Частотные кривые распределения значений содержания марганца в кишечнике животных при его полноценном и избыточном потреблении.

Частотная кривая распределения значений содержания марганца в кишечнике животных при полноценном и избыточном его потреблении частично напоминает кривую нормального распределения и смещена в область более высоких значений, что может отражать специфику избыточного пищевого потребления этого металла. В то же время, в области более низких значений также имеется превышение значений по

сравнению с стандартной кривой нормального распределения. Возможно, эта часть частотной кривой характеризует животных с более высокими показателями всасывания марганца в кишечнике. Исходя из особенностей кривых, граничными точками диапазонов низкого, среднего и высокого содержания марганца в кишечнике при его полноценном и избыточном потреблении могут быть 4 и 10 мг/100 г ткани.

Животные были перегруппированы в соответствии с уровнем содержания марганца в кишечнике на 3 подгруппы: с низким содержанием (до 4 мг/100 г ткани, подгруппа Н), средним уровнем (от 4,1 до 10 мг/100 г ткани, подгруппа С) и высоким содержанием марганца в кишечнике (более 10 мг/100 г ткани, подгруппа В.). Дисперсионному анализу подвергались данные о содержании марганца в крови животного.

Анализ динамики центроидов распределения значений содержания марганца в крови показывает, что подгруппам и с низким, и со средним содержанием марганца в кишечнике на фоне его полноценного пищевого или избыточного потребления соответствуют высокие значения содержания марганца в крови, и только подгруппе с высоким содержанием марганца в кишечнике (то есть при его минимальном всасывании) соответствует самое низкое содержание металла в крови. То есть проведенный дисперсионный анализ отверг гипотезу о влиянии уровня содержания марганца в кишечнике (полнота всасывания) на содержание этого металла в крови животных. Коэффициент детерминации анализируемой модели составил всего 0,023, то есть только 2% вариативности уровня марганца в крови

Однофакторный дисперсионный анализ ИТОГИ

Группы	Счет	Сумма	Центроиды	Дисперсия
Н	7	0,663	0,094714	0,002563
С	20	1,9551	0,097755	0,004928
В	3	0,1994	0,066467	1,93E-05

Дисперсионный анализ

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,00256	2	0,00128	0,316873	0,731095	3,354131
Внутри групп	0,109049	27	0,004039			
Итого	0,111609	29				

могут быть объяснены колебаниями его всасывания в кишечнике ($p=0,73$). Следовательно, на содержание марганца в крови животных влияют другие факторы, не связанные с его содержанием в кишечнике.

Железо

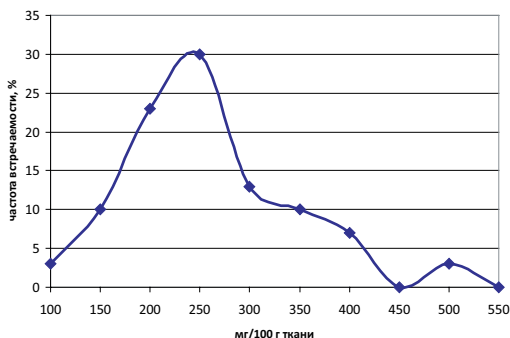


Рис. 6 Кривая частотного анализа встречаемости значений содержания железа в крови крыс.

Частотная кривая распределения значений содержания железа в крови крыс близка к кривой нормального распределения с максимумом около 250 мг/100 г ткани и несколько растянутым нисходя-

щим участком кривой (повышение доли значений в области высокого содержания железа, что может быть обусловлено экспериментальной ситуацией – превышением у ряда животных нормы его пищевого потребления). Анализ рис.6 позволяет определить следующие границы содержания железа в крови у крыс с нормальным и избыточным его потреблением:

Низкий уровень – до 150 мг/100 г тканей

Средний уровень – от 151 до 300 мг/100 г тканей

Высокий уровень – более 300 мг/100 г тканей.

Анализ таблицы 5 показывает, что содержание железа в тканях при его нормальном или избыточном пищевом потреблении не зависит от его уровня в крови. Обращает на себя внимание динамика центроидов содержания железа в кишечнике: низкому уровню содержания железа в крови соответствует и низкий уровень содержания железа в кишечнике, в то время как у животных с высоким уровнем содержания в крови

Таблица 5

Влияние уровня железа в крови животных на его содержание в тканях

Металл	Ткань	Центроиды распределения (мг/100 г ткани) по уровням содержания железа в крови			Коэффициент детерминации модели, D	Уровень значимости, р
		низкий	средний	высокий		
Железо	Кровь	111	209	370	0,72	$3 \cdot 10^{-8}$
	Печень	121	100	108	0,13	0,15
	Кость	14	15	14	0,02	0,30
	Волосы	5,1	4,9	4,1	0,03	0,62
	Мышцы	8,9	8,2	7,0	0,15	0,11
	Кишечник	26	43	45	0,18	0,06

железа, уровень его содержания в кишечнике соответствует средним значениям. Такая динамика может отражать наличие механизма ускоренного всасывания железа в кишечнике при его низком содержании в крови, и торможение всасывания при достаточной степени насыщения железом крови. Выявленная статистическая закономерность соответствует хорошо известной модели работы ферритинового транспортного механизма и «ферритинового занавеса», защищающего организм от избыточного энтерального поступления железа.

Магний

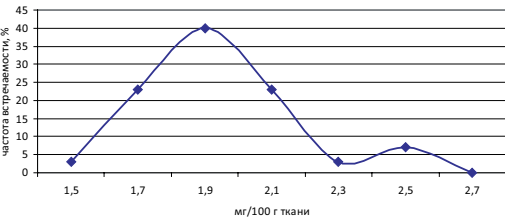


Рис. 7. Кривая частотного анализа распределения значений содержания магния в крови крыс.

Кривая частотного распределения значений содержания магния в крови крыс при полноценном и избыточном

его пищевом потреблении близка к кривой нормального распределения с небольшим дополнительным «хвостом» в области высоких значений, что может закономерно отражать вклад избыточного пищевого потребления этого минерала. Анализ рис. 7 позволяет определить следующие границы содержания магния в крови у крыс с нормальным и избыточным его потреблением:

Низкий уровень – до 1,60 мг/100 г тканей;

Средний уровень – от 1,61 до 2,0 мг/100 г тканей;

Высокий уровень – более 2,0 мг/100 г тканей.

Анализ таблицы 6 показывает, что между содержанием магния в крови и тканевыми депо существуют обратные механизмы: высокому уровню содержания магния в крови соответствуют самые низкие значения центроидов групп для **костной ткани, волос и мышц**. Можно предположить, что нарушение депонирования избыточного пищевого магния в этих тканях и определяет его более высокий уровень в крови. Такая модель является статистически значимой, и имеет приемлемый коэффициент детерминации (0,19 – 0,23). Возможно

Таблица 6

Влияние уровня магния в крови животных на его содержание в тканях

Металл	Ткань	Центроиды распределения (мг/100 г ткани) по уровням содержания магния в крови			Коэффициент детерминации модели, D	Уровень значимости, р
		низкий	средний	высокий		
Магний	Кровь	1,55	1,80	2,20	0,82	$1 \cdot 10^{-10}$
	Печень	6,52	6,57	6,18	0,03	0,67
	Кость	35,92	35,36	33,05	0,19	0,06
	Волосы	2,02	2,07	1,63	0,23	0,03
	Мышцы	8,89	8,34	7,79	0,20	0,046
	Кишечник	15,51	15,66	14,88	0,003	0,96

также, что более низкое содержание магния в крови у некоторых животных связано с избыточной работой депонирования металла в мышечной ткани, так как низкому уровню магния в крови соответствуют более высокие значения его содержания в мышечной ткани (вариативность содержания магния в мышцах на 20% объясняется влиянием уровня его содержания в крови). Содержание магния в печени и кишечнике не зависят от его уровня в крови.

Цинк

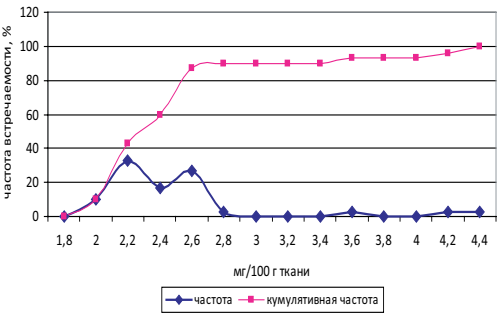


Рис. 8. Кривая частотного анализа распределения значений содержания цинка в крови крыс.

Частотная кривая распределения значений содержания цинка в крови крыс

при нормальном и избыточном пищевом потреблении (рис. 8) далека от кривой нормального распределения, имеет двугорбую вершину в области низких значений и длинный «хвост» в области высоких значений при низкой частоте встречаемости. Поэтому распределение животных на подгруппы с низкими, средними и высокими значениями содержания цинка в крови произведено по точкам перегиба кумулятивной частотной кривой. Точке, соответствующей 16% накопленных частот и являющейся границей низкого диапазона значений, соответствует 2,1 мг цинка /100 г ткани. Точке на кумулятивной кривой, соответствующей 84% накопленных частот и являющейся границей высокого диапазона значений содержания цинка в крови животных, соответствует 2,6 мг /100 г ткани. Значения, лежащие между этими точками, будут относиться к области средних значений содержания цинка в крови крыс.

При анализе таблицы 7 обращает на себя внимание, что только в отношении костной ткани выявлено определенное влияние фактора уровня содержания цинка в крови. С учетом отрицательной монотонной динамики значений цент-

Таблица 7

Влияние уровня цинка в крови животных на его содержание в тканях

Металл	Ткань	Центроиды распределения (мг/100 г ткани) по уровням содержания цинка в крови			Коэффициент детерминации модели, D	Уровень значимости, p
		низкий	средний	высокий		
Цинк	Кровь	1,95	2,31	3,63	0,80	$3 \cdot 10^{-10}$
	Печень	3,74	3,91	4,02	0,008	0,90
	Кость	21,57	20,87	17,64	0,23	0,03
	Волосы	3,28	3,45	3,27	0,005	0,94
	Мышцы	3,21	3,21	3,28	0,007	0,91
	Кишечник	6,22	6,44	6,67	0,007	0,91

роидов (группе с низкими значениями цинка в крови соответствует более высокое значение содержания цинка в кости, а группе с высокими значениями цинка в крови – более низкое значение содержания цинка в кости), можно сделать предположение, что с нарушениями депонирования избыточного пищевого цинка в костной ткани может быть связано колебание уровня его содержания в крови. Содержание цинка в остальных органах (печень, мышцы, волосы, кишечник) не зависело от содержания цинка в крови, и следовательно, определяется другими механизмами, не связанными с обменом кровь-ткань.

Выводы:

Статистический анализ характеристик значений содержания металлов в крови животных при нормальном или избыточном их пищевом потреблении показал, что только для меди распределение значений соответствует распределению случайной величины (не испытывает дополнительного влияния внешних факторов). Наибольшее влия-

ние внешних факторов характерно для содержания кальция и цинка в крови.

Низкая вариативность показателей содержания в крови меди и марганца отражает существование жестких механизмов их гомеостатического регулирования.

Содержание кальция в костях и волосах, меди в печени определяется уровнем соответствующего металла в крови.

Содержание кальция в печени и мышцах, меди в волосах, марганца и железа во всех исследуемых тканях, магния в печени, цинка в печени, волосах и мышцах не зависит от уровня соответствующего металла в крови при нормальном и избыточном их пищевом потреблении.

Между содержанием меди в костях и мышцах, магния в костях, мышцах и волосах, цинка в костях и содержанием этих металлов в крови существуют обратные зависимости – то есть повышению их содержания в крови соответствует нарушения депонирования в указанных тканях и наоборот – активное депонирование в тканях сопровождается более низкими значениями металлов в крови.

Список литературы

1. Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Люблинский С.Л., Капанадзе Г.Д., Шустов Е.Б., Ревякин А.О., Болотских Л.А., Касинская Н.В., Станкова Н.В. Роль микроэлементов в спортивном питании и безопасность металлохелатов // Биомедицина, 2013. - № 3. – С. 12 – 41.
2. Ревякин А.О., Каркищенко Н.Н., Шустов Е.Б., Каркищенко В.Н., Ксенофонтов Д.А., Касинская Н.В. Особенности распределения металлов в организме лабораторных животных при разных уровнях их пищевого потребления // Биомедицина, 2013. - №3. – С. 82-90.

Influence of fluctuations of the metals concentration in blood on their concentration in tissues of laboratory animals under normal and excess food consumption metallohelats

A.O. Revyakin, N.N. Karkischenko, E.B. Shustov, V.N. Karkischenko, D.A. Ksenofontov

The method of a nuclear and absorbing spectrometry studied the content of calcium, magnesium, iron, copper, manganese and zinc in fabrics of laboratory animals at levels of food consumption, equals to 100, 120 and 140% from daily requirement. Statistical regularities of their distribution in tissues depending on level of the concentration of metals in blood are revealed.

Key words: metal-chelates, microelements, concentration in tissues, nuclear and absorbing spectrometry.