

УДК 57.085.1+546.62

***ВЛИЯНИЕ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ОБМЕН
ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧКАХ КРЫС***

Усманова Э. Н.

младший научный сотрудник

Федеральное бюджетное учреждение науки «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

Уфа, Россия

Афонькина С. Р.

к.х.н., старший научный сотрудник

Федеральное бюджетное учреждение науки «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

Уфа, Россия

Зеленковская Е.Е.

младший научный сотрудник

Федеральное бюджетное учреждение науки «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

Уфа, Россия

Мусабиров Д. Э.

младший научный сотрудник

Федеральное бюджетное учреждение науки «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека»

Уфа, Россия

Аннотация: Исследование направлено на оценку динамики накопления алюминия в почках крыс и его влияния на гомеостаз эссенциальных элементов (кальций, магний, железо) при остром воздействии гидроксида алюминия. Эксперимент проведен на самцах крыс линии Wistar (контроль: n=10; опыт: n=7), получавших перорально 100 мг/кг соединения. Концентрации элементов в Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

почечной ткани анализировали методом атомно-абсорбционной спектрометрии через 1, 2, 4, 6, 24, 48 и 96 часов. Результаты показали, что через 96 часов уровень алюминия в почках достигал $9,48 \pm 8,04$ мг/кг (в 6,5 раз выше контроля, $p=0,0001$), что свидетельствует о его замедленной экскреции. Нарушения минерального обмена включали временное повышение магния ($173,0 \pm 4,86$ мг/кг через 1 час) с последующей нормализацией, снижение железа к 4-му часу ($16,73 \pm 1,14$ мг/кг) и высокую вариабельность кальция. Полученные данные подтверждают, что алюминий индуцирует дисбаланс эссенциальных элементов, что подчеркивает необходимость разработки методов коррекции нефротоксических эффектов.

Ключевые слова: гидроксид алюминия, почки, эссенциальные элементы, крысы, токсичность.

EFFECT OF ALUMINUM HYDROXIDE ON ESSENTIAL ELEMENTS METABOLISM IN RATS' KIDNEYS

Usmanova E. N.

junior researcher

Federal Budgetary Institution "Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology",

Ufa, Russia

Afonykina S. R.

Ph.D., senior researcher

Federal Budgetary Institution "Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology",

Ufa, Russia

Zelenkovskaya E. E.

junior researcher

Federal Budgetary Institution "Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology",

Ufa, Russia

Musabirov D. E.

junior researcher

*Federal Budgetary Institution "Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology",
Ufa, Russia*

Abstract: The study aimed to evaluate the dynamics of aluminum accumulation in rat kidneys and its impact on the homeostasis of essential elements (calcium, magnesium, iron) under acute exposure to aluminum hydroxide. The experiment involved male Wistar rats (control: n=10; experimental: n=7) orally administered 100 mg/kg of the compound. Element concentrations in renal tissue were analyzed using atomic absorption spectrometry at 1, 2, 4, 6, 24, 48, and 96 hours. Results revealed that after 96 hours, aluminum levels in kidneys reached $9,48 \pm 8,04$ mg/kg (6,5-fold higher than control, $p=0,0001$), indicating delayed excretion. Mineral metabolism disruptions included a transient magnesium increase ($173,0 \pm 4,86$ mg/kg at 1 hour) followed by normalization, iron reduction by the 4th hour ($16,73 \pm 1,14$ mg/kg), and high calcium variability. The findings demonstrate that aluminum induces essential element imbalance, emphasizing the need for strategies to mitigate its nephrotoxic effects.

Keywords: aluminum hydroxide, kidneys, essential elements, rats, toxicity.

Актуальность. Алюминий, являясь одним из наиболее распространенных металлов в окружающей среде, представляет значительный интерес в контексте изучения его нефротоксического потенциала как в экспериментальных моделях, так и в клинической практике [1–3]. Способность данного элемента накапливаться в тканях почек, основного органа, ответственного за его экскрецию, создает риски нарушения гомеостаза эссенциальных микро- и макроэлементов, включая кальций, магний и железо, что критически влияет на минеральный обмен и физиологические функции организма [4–5]. Несмотря на многочисленные исследования токсичности алюминия, временная динамика его

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

аккумуляции в почечной ткани и сопутствующие изменения концентраций ключевых элементов остаются недостаточно изученными, особенно в контексте трансляции данных с животных моделей на человека.

Использование крыс линии Wistar в качестве модели для изучения нефротоксичности алюминия обосновано высокой степенью гомологии физиологических и метаболических процессов почек грызунов и человека, включая механизмы фильтрации, реабсорбции и экскреции металлов [6]. Полученные данные о замедленной элиминации алюминия и дисбалансе эссенциальных элементов актуальны для оценки профессиональных рисков у работников промышленных предприятий, пациентов с хронической почечной недостаточностью, а также лиц, длительно контактирующих с алюминийсодержащими препаратами или продуктами. Например, накопление алюминия в почках человека ассоциировано с развитием остеодистрофии, анемии и нейродегенеративных нарушений [7-8], что подчеркивает необходимость изучения ранних маркеров его токсического воздействия.

Целью настоящей работы явилась комплексная оценка накопления алюминия в почках крыс при остром воздействии гидроксида алюминия, а также анализ взаимосвязи его концентрации с уровнями кальция, магния и железа, что необходимо для углубления понимания механизмов нефротоксичности и разработки стратегий профилактики связанных патологий.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на крысах-самцах линии Wistar (масса 200–250 г), разделенных на контрольную (n=10) и опытную (n=7) группы. Контрольная группа получала дистиллированную воду, тогда как опытной группе перорально вводили гидроксид алюминия в дозе 100 мг/кг массы тела. Забор почечной ткани осуществляли через 1, 2, 4, 6, 24, 48 и 96 часов после введения соединения. Концентрации алюминия, кальция, магния и железа определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической и пламенной атомизацией, обеспечивающей высокую чувствительность и специфичность анализа. Статистическую обработку данных Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с последующим применением критерия Тьюки для множественных сравнений; различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Исследование продемонстрировало, что гидроксид алюминия существенно нарушает баланс ключевых элементов в почках крыс. В контрольной группе содержание алюминия в почках составляет $3,13 \pm 1,43$ мг/кг, однако уже через час после интоксикации его концентрация увеличивается вдвое ($7,02 \pm 1,54$ мг/кг), достигая максимума к 48 часам ($8,21 \pm 2,34$ мг/кг) ($p = 0,0001$) (рис.1). Даже спустя 96 часов уровень алюминия оставался повышенным ($2,33 \pm 0,72$ мг/кг), что подтверждает его способность накапливаться в тканях и медленно выводиться.

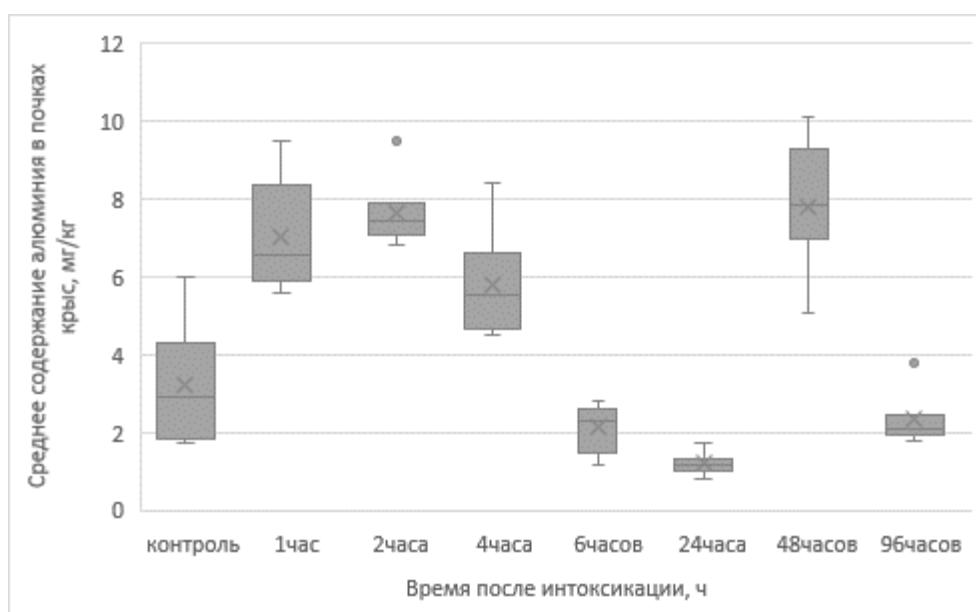


Рис. 1. Среднее содержание алюминия в почках крыс при остром отравлении гидроксидом алюминия

Параллельно наблюдалось резкое снижение уровня кальция: исходный показатель $128,5 \pm 16,3$ мг/кг за 48 часов уменьшился на 44% ($56,4 \pm 12,1$ мг/кг) ($p = 0,001$) (рис.2), что связано с блокирующим действием алюминия на усвоение этого элемента. К 96 часам частичное восстановление кальция до $59,8 \pm 9,7$ мг/кг

указывает на попытки организма компенсировать дефицит, однако его концентрация так и не вернулась к исходным значениям. Динамика магния оказалась неоднозначной: кратковременный рост на 38% через час ($283,4 \pm 36,1$ мг/кг) сменился нормализацией к концу эксперимента ($195,2 \pm 14,5$ мг/кг). Это может объясняться тем, что организм сначала мобилизовал внутренние запасы магния для борьбы с токсическим воздействием, но со временем ресурсы истощились.

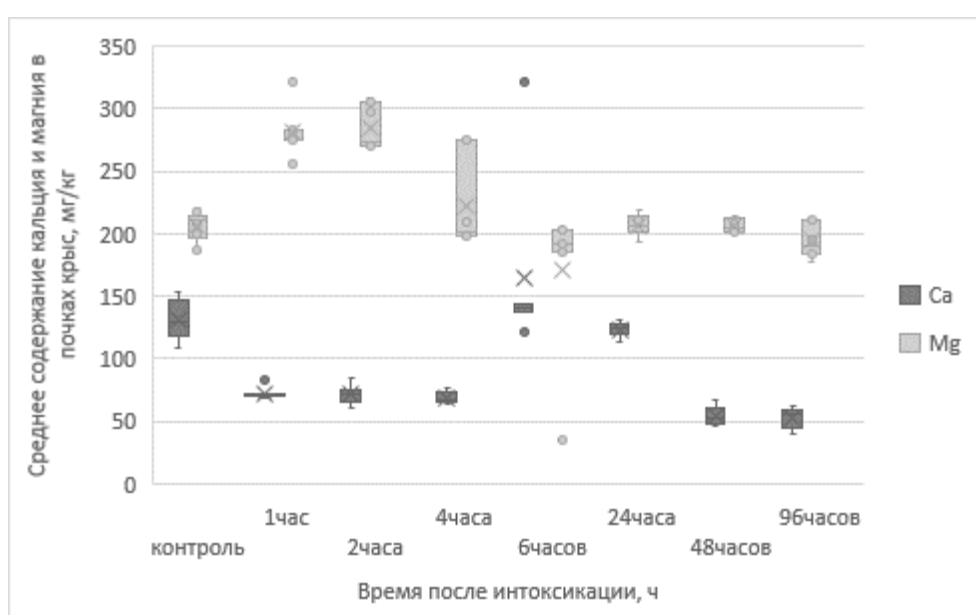


Рис. 2. Среднее содержание кальция и магния в почках крыс при остром отравлении гидроксидом алюминия

Уровень железа также претерпел изменения: пиковое увеличение на 55% через 24 часа ($79,8 \pm 6,9$ мг/кг), вероятно, связано с воспалительной реакцией или усиленным всасыванием элемента, однако к 96 часам его концентрация снизилась до $61,3 \pm 8,2$ мг/кг, продемонстрировав высокую вариабельность, что говорит о нарушении регуляции его обмена (рис.3).

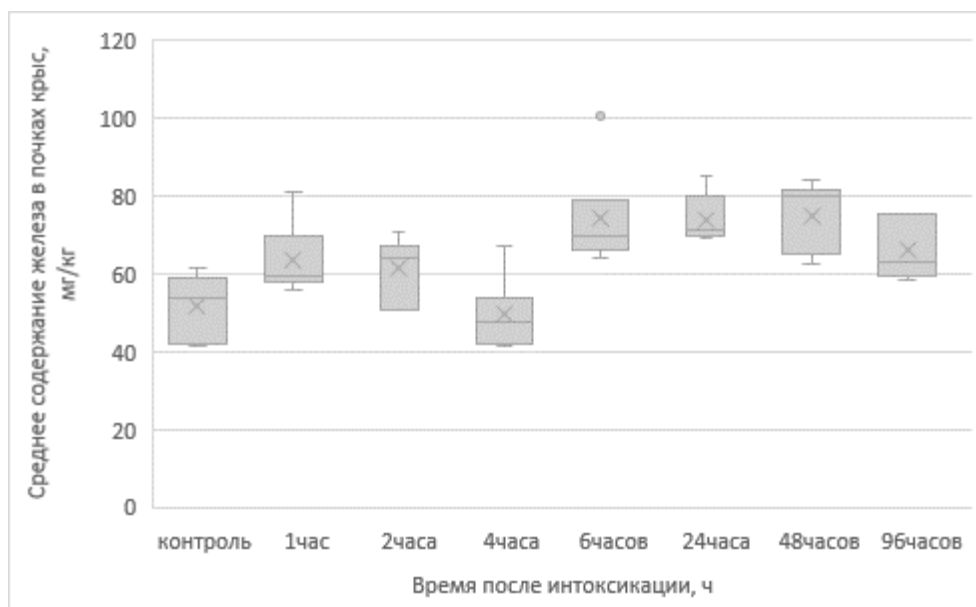


Рис. 3. Среднее содержание железа в почках крыс при остром отравлении гидроксидом алюминия

Заключение. Полученные данные свидетельствуют, что алюминий не только накапливается в почках, но и провоцирует долгосрочные нарушения минерального обмена, затрагивая кальций, магний и железо. Эти изменения особенно опасны при длительном контакте с алюминием, например, на производстве, так как могут привести к скрытому повреждению тканей и ухудшению функции почек. Результаты исследования подчеркивают необходимость разработки методов защиты почек и мониторинга уровня алюминия в организме для предотвращения его токсических эффектов. Это особенно важно в условиях роста промышленного использования алюминия и отсутствия регламентированных методов мониторинга его накопления в организме.

Библиографический список

1. Berthon G. Aluminium speciation in relation to aluminium bioavailability, metabolism and toxicity. Coordination chemistry reviews. 2002; 228(2): 319-341. [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(02\)00021-8](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(02)00021-8)

2. Kandimalla R. Understanding Aspects of Aluminum Exposure in Alzheimer's Disease Development. Brain Pathol. 2016;26(2):139-154. doi:10.1111/bpa.12333
3. Crisponi G. The meaning of aluminium exposure on human health and aluminium-related diseases. Biomol Concepts. 2013;4(1):77-87. doi:10.1515/bmc-2012-0045
4. Смолянкин Д.А. Особенности метаболических изменений в печени и почках лабораторных животных при воздействии гидроксида алюминия в подостром эксперименте. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2024;(9):204-211. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-229-9-204-211>
5. Усманова Э.Н. Токсикокинетика алюминия в организме крыс. Гигиена и санитария. 2020;99(9):1007-1010. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-1007-1010>
6. Ajibade A. J. Some morphological and biochemical changes in the kidney of adult wistar rats following aluminium chloride exposures. Asian Journal of Research in Nephrology. 2019; 2(1):1-9.
7. Moubarz G. Nephrotoxic effect of heavy metals and the role of DNA repair gene among secondary aluminum smelter workers. Environ Sci Pollut Res Int. 2023;30(11):29814-29823. doi:10.1007/s11356-022-24270-4
8. Rüster M. Aluminum deposition in the bone of patients with chronic renal failure--detection of aluminum accumulation without signs of aluminum toxicity in bone using acid solochrome azurine. Clin Nephrol. 2002;58(4):305-312. doi:10.5414/cnp58305

Оригинальность 76%