

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ.

А. С. Осадчая<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт кристаллографии РАН, Москва

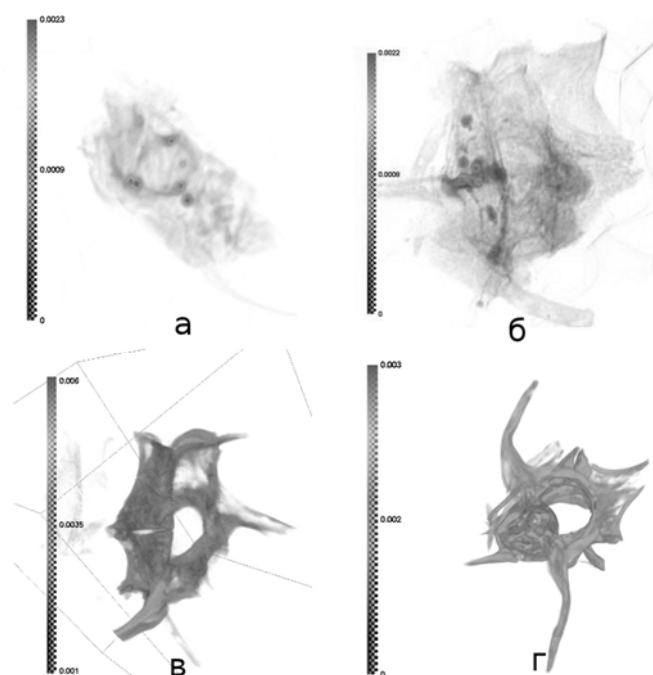
E-mail: [fyz-z@yandex.ru](mailto:fyz-z@yandex.ru)

В ходе различных заболеваний и при экстремальных нагрузках структура живых тканей подвергается частичным внутренним изменениям, которые не имеют внешних физиологических или анатомических проявлений. Исследование таких структурных изменений позволяет выявить причины, их вызывающие, что играет важную роль в постановке диагноза. Одним из наиболее интересных объектов исследований является костная ткань. Её патологии могут быть обусловлены различными причинами, например длительным нахождением позвоночных в условиях микрогравитации. Отмечено, что пребывание в таких условиях приводит к декальцификации костной ткани. Однако можно ожидать, что в этих условиях может происходить изменение концентрации и иных более тяжелых элементов.

В качестве образцов для исследования были использованы кости проксимальных хвостовых позвонков хрящепалого геккона *Chondrodactylus turneri*. Рептилии, благодаря их неприхотливости, малым размерам, принадлежности к амниотам и ряду других ценных качеств, являются очень привлекательным модельным объектом, прежде всего – для продолжительных орбитальных экспериментов на непилотируемых космических аппаратах[1]. Гекконы представляют для орбитальных экспериментов особый интерес, поскольку прикрепляются адгезивными подпальцевыми пластинками к любым поверхностям и не подвержены влиянию флотации. Однако вопрос о возможных изменениях костной ткани под влиянием факторов космического полета остается спорным и нуждается в дальнейших исследованиях. Возможно, деминерализация скелета после пребывания в космосе слабо выражена или отсутствует у хрящепалых гекконов потому, что благодаря адгезии они сохраняют в невесомости как реакцию опоры, так и локомоцию, характерную для них в наземных условиях. При этом хвост у хрящепалых гекконов не является хватательным и редко используется для опоры при локомоции – в основном он играет роль балансира, средства коммуникации и места для хранения запасов жира. В свете имеющихся данных представляло интерес исследование пространственного распределения коэффициента поглощения рентгеновского излучения и элементного состава именно в хвостовых позвонках хрящепалых гекконов с целью выявления возможной деминерализации или ее отсутствия.

Томографические исследования объемной структуры образцов костной ткани животных, побывавших в условиях микрогравитации, были выполнены на лабораторном рентгеновском микротомографе в ИК РАН [2] и на синхротронных станциях «Медиана» и «РТ-МТ» [3] НИЦ «Курчатовский институт». Лабораторный томограф ранее был использован для исследования

других костных материалов [4-8]. Типичные результаты восстановления внутренней структуры образцов представлены на рис. 1.



*Рис. 1. Томографическая реконструкция позвонков геккона : а) образец F2-M2, б) образец S2-M2, в) образец F1-M3, г) образец S3-M3*

При использовании монохроматического излучения микротомография позволяет получить информацию о трехмерной структуре линейного коэффициента поглощения на конкретной длине волны. Проводя томографические измерения на разных длинах волн, мы получаем возможность локализовать области, в которых элементный состав отличается от других областей.

Для проведения исследований методом рентгеновской микротомографии проводились исследования биологических образцов на различных энергиях рентгеновского излучения (5.4, 8.0 и 12.0 кэВ). Проведенные исследования показали, что на периферийных участках исследуемых образцов не содержится элементов с атомным номером более 20 (что соответствует атомам кальция) или их концентрация меньше чувствительности метода. Кроме того, обнаружено существенно уменьшение (в 3–5 раз) коэффициента поглощения рентгеновского излучения в образцах группы M2 по сравнению с образцами группы M3. Это может говорить о том, что фиксация образцов после полета в космос проводилась в растворах, по-разному влияющих на структуру образцов. Уменьшение среднего коэффициента поглощения на образцах группы M2 позволило однако обнаружить в них области, поглощающие существенно сильнее остальной костной ткани (рис. 1). Это может говорить о том, что именно в этих областях (расположенных ближе к центральному каналу позвонка) локализованы тяжелые элементы.

В работе [9] результаты рентгеновской микротомографии сопоставлялись с результатами рентгенофлуоресцентного анализа и данными растровой

электронной микроскопии. Установлено, что в зависимости от условий эксперимента и способов приготовления препаратов поглощающая плотность названных позвонков может заметно меняться. Выявлены области повышенной плотности, расположенные ближе к центральному каналу позвонка. Следует отметить, что соотношение поглощений на разных участках костной ткани изменяется при варьировании длины волны зондирующего рентгеновского излучения. Это косвенно указывает на неравномерность распределения элементного состава в объеме костей. В этом смысле установлена корреляция данных рентгенофлуоресцентного анализа с результатами рентгеновской микротомографии.

По данным рентгенофлуоресцентного анализа впервые установлен факт наличия в данных структурах ряда тяжелых элементов (Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Sr) и выявлена неравномерность их распределения. Сопоставление данных электронной микроскопии и рентгено-флуоресцентного анализа показывают, что эти элементы расположены в глубине костной ткани (явно глубже, чем на расстоянии 10 мкм от ее поверхности), что также соответствует результатам рентгеновской микротомографии.

1. С.В Савельев., А.Н. Макаров, А.Е. Прошина и др. // Актуальные вопросы современной гистопатологии. М.: 1993. С. 141.
2. В.Е. Асадчиков, А.В. Бузмаков, Д.А. Золотов и др. // Кристаллография. 2010. Т. 55. № 1. С. 167.
3. Р.А. Сенин, А.С. Хлебников, К.В. Анохин и др. // Тез. Докл. РСНЭ-2011. 14-18 ноября 2011. С. 510.
4. V.V. Nikitin, V.I. Gulimova, E.A. Ilyin et al. // J. Gravitational Physiology. 2007. V. 14(1). P. 103.
5. V.I. Gulimova, V.V. Nikitin, V.E. Asadchikov et al. // J. Gravitational Physiology. 2006. V. 13(1). P. 197.
6. В.И. Гулимова, В.Б. Никитин, В.Е. Асадчиков и др. // Сб.: Актуальные вопросы морфогенеза в норме и патологии. М.: МДВ, 2006. С. 125.
7. В.И. Гулимова, В.Б. Никитин, В.Е. Асадчиков и др. // Морфология. 2006. № 4. С. 41.
8. V. Nikitin, V. Gulimova, V. Asadchikov et al. // Conference on Mission to Mars: African Perspective Subtheme on Brain Neuroplasticity October 22-23, 2007, Owerri, Nigeria. Book of abstracts, P. 26.
9. А.В. Бузмаков, А.Е. Благоев, В.И. Гулимова, Д.А. Золотов, М.В. Ковальчук, А.С. Орехов, А.С. Осадчая, К.М. Подурец, С.В. Савельев, Р.А. Сенин, А.Ю. Серегин, Е.Ю. Терещенко, М.В. Чукалина, В.Е. Асадчиков. // Сопоставление данных рентгеновской микротомографии и флуоресцентного анализа при изучении структурной организации костной ткани. Кристаллография, 2012, том 57, №5, с. 782-790