

ПАТОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ И ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

С. А. Лемешева¹, О. А. Голованова¹, С. Л. Вотьяков²

¹ – Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского,
s_lemesheva@mail.ru, golovanova2000@mail.ru,

² – Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН,
votyakov@igg.uran.ru

В настоящее время актуальным объектом естественнонаучных исследований необходимо для решения геолого-минералогических, эколого-медицинских проблем является костная ткань человека [Данильченко С. Н., 2007]. Так, несмотря на имеющийся обширный материал по костному метаболизму остаются открытыми вопросы по механизмам возникновения многих костных заболеваний, методам их диагностики, полному восстановлению костной ткани и т.д. [Лулева С. Н., 2003]. Одной из причин является узкоспециализированный описательный характер имеющихся данных: медицинские – как правило, касаются изменения клинических показателей, не всегда дающих полное представление о заболевании; минералого-химические – содержат лишь информацию по составу и свойствам «нормальной» костной ткани, но и она часто носит дискуссионный характер.

Работа в этом направлении требует разработки новых подходов, идей по анализу патогенных изменений костных тканей. К таковым относится их изучение в «норме» и при костных заболеваниях современными физико-химическими методами.

Цель работы: сравнительное исследование поверхностных свойств, органического и минерального состава «нормальных» и поврежденных коксартрозом костных тканей человека с помощью электронной сканирующей микроскопии и термического анализа.

Объекты и методы исследования. Характер развития поражения костной ткани оценивался путем анализа состава трех горизонтальных срезов «нормальных» (4 шт.) и пораженных (16 шт.) головок бедренных костей (верхний – наиболее поврежденный, средний, нижний – менее поврежденный) жителей Омской области мужского и женского пола четырех возрастных групп: 30–49, 50–59, 60–69, 70–79 лет.

Поверхностные свойства костных проб исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6390V (разрешение 5–500 мкм, ускоряющее напряжение – 30 кВ).

Термический анализ проведен на дериватографе SII Diamond – TG-DTA, Perkin Elmer. Исследуемый температурный диапазон – 25–1000 °С, скорость нагревания – 20 °С/мин; масса пробы – 25–30 мг; чувствительность измерения веса – $2 \cdot 10^{-3}$ %, погрешность ~ 0.1 %; чувствительность измерения термоэффектов $6 \cdot 10^{-4}$ В, погрешность ~ ± 6 °С, чувствительность измерения веса ~ 10^{-5} %. Количественные данные массовых потерь при отжиге получены в ходе математической обработки термогравиметрической кривой (ТГ) и ее производной (ДТГ) с помощью приборного программного обеспечения PYRIS 7.0; характер энергетических процессов оценивался по виду дифференциально-гравиметрической кривой (ДТА).

Результаты подтверждены методами многомерной статистики (программный пакет Statistica 6.0, StatSoft).

Результаты и обсуждение: С помощью электронной микроскопии показано, что в последовательности «нормальная»-патогенная костные пробы и верхний-средний-нижний пораженные срезы повышается степень уплотнения костной ткани, за счет уменьшения размеров пор и увеличения толщины костных перекладин. В наиболее пораженных местах исследуемых образцов обнаружены трещины. Приведенные данные

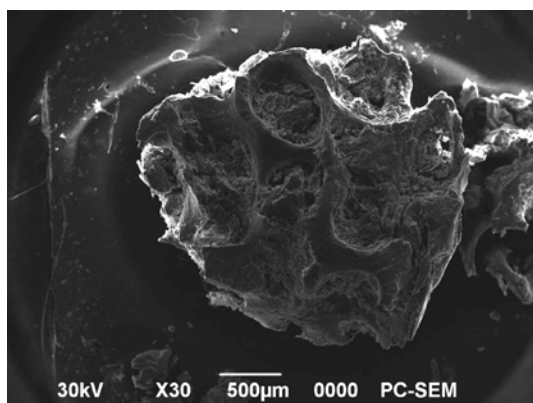


Рис. 1. Микрофотографии костных тканей человека в «норме» (1) и при патологии (2) (сканирующий электронный микроскоп).

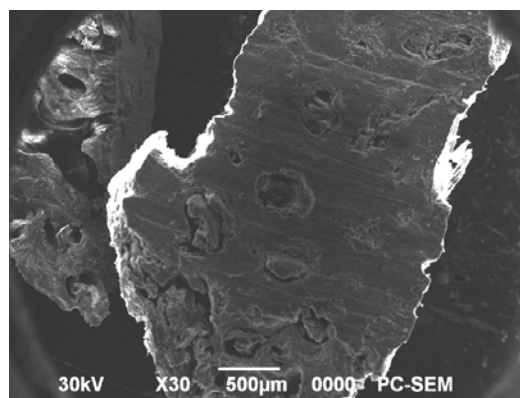


Рис. 2. Дериватограмма «нормальной» костной ткани человека.

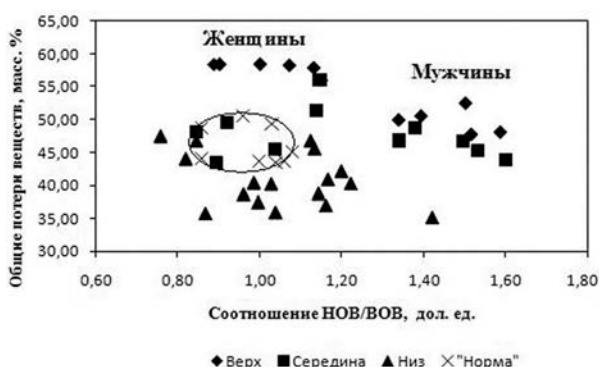


Рис. 3. Вариации суммарного содержания органики и доли ее низкомолекулярной формы в пораженной и «нормальной» костной ткани мужчин (30–80 лет) и женщин (50–70) из различных участков суставов.

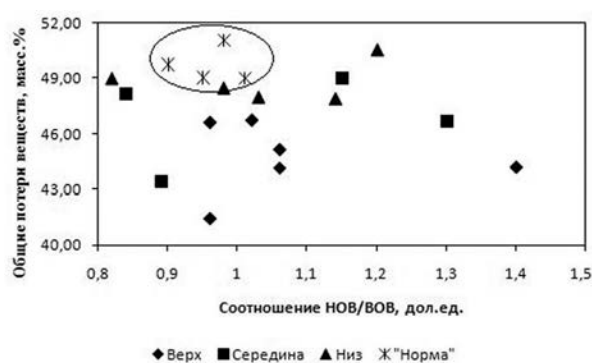


Рис. 4. Вариации суммарного содержания органики и доли ее низкомолекулярной формы в пораженной и «нормальной» костной ткани женщин (30–49 лет) из различных участков суставов.

указывают на замедленный и разрушающий характер метаболических процессов при коксартрозе.

По термическим кривым проанализированы массовые потери костной ткани и энергетические эффекты при отжиге в температурных диапазонах: 25–270 °С – потеря адсорбционной воды; 270–430 °С – удаление структурной воды и низкомолекулярных органических веществ (НОВ) – неколлагеновых белков с малой молекулярной массой; 430–600 °С – разложение высокомолекулярных органических соединений (ВОВ) – коллагена; (IV) 700–900 °С – выделение летучих соединений, преимущественно углекислого газа минеральной костной компоненты при переходе нестехиометричного карбонатгидроксилапатита в стехиометричный [Гилинская и др., 2003; Ivanova T. I., Frank-Kamenetskaya O. V., 2004; Danilchenko S. N., 2005].

Установлено, что с увеличением степени поражения костной ткани во всех возрастных группах мужчин и женщин (с 60 до 70 лет) повышаются общие массовые потери веществ (рис. 3). В мужских костных образцах данное увеличение происходит за счет повышения содержания низкомолекулярных веществ, участвующих в костном метаболизме, летучих компонентов и адсорбционной воды (табл.); в женской костной ткани (с 60 до 70 лет) связано с повышением количеств адсорбционной воды (табл.). В возрастных категориях от 30 до 59 лет в женских образцах отмечается уменьшение массовых потерь веществ (рис. 4).

Весовые потери адсорбционной воды, летучих веществ (ЛК) костной тканью при отжиге, мас. % (n = 4, P = 0.95)

Возраст, лет	Пол	Костные срезы							
		Верх		Середина		Низ		«Норма»	
		Вода	ЛК	Вода	ЛК	Вода	ЛК	Вода	ЛК
30–49	м	6.83±0.01	2.06±0.39	7.43±0.001	2.52±0.001	7.12±0.26	1.91±0.19	6.16±0.45	2.41±0.18
	ж	7.25±0.01	2.56±0.09	6.90±0.26	2.27±0.01	6.96±0.06	2.10±0.08	–	–
50–59	м	6.37±0.70	2.86±0.09	6.47±0.001	2.63±0.11	6.55±0.27	2.31±0.30	5.40±0.01	2.30±0.05
	ж	6.24±0.59	2.68±0.07	6.02±0.01	2.59±0.001	5.33±0.20	2.45±0.04	–	–
60–69	м	7.70±0.34	2.80±1.23	5.90±0.98	3.82±0.78	7.10±0.39	3.23±0.83	–	–
	ж	8.65±0.86	1.99±0.17	7.55±0.23	2.03±0.02	7.53±0.26	2.04±0.06	–	–
70–79	м	7.20±0.27	2.36±0.06	5.88±1.50	2.77±0.01	7.27±0.13	2.43±0.05	–	–
	ж	7.27±0.13	2.43±0.05	5.52±1.55	3.01±0.58	6.89±0.37	2.28±0.14	–	–

Показано, что в мужских и женских пробах костной ткани уменьшаются массовые потери коллагеновой фазы (рис. 3, 4), что может быть связано, с ее дегенеративным разрушением с образованием низкомолекулярных продуктов (особенно выражено в пожилом возрасте – 60–70 лет) или с более плотной упаковкой деформированных коллагеновых нитей (наиболее характерно для женщин 30–59 лет), что может являться одной из причин повышенной ее твердости. Анализ кривых ДТА подтверждает приведенные данные.

В наиболее поврежденном срезе костной ткани мужчин и женщин в возрасте 30–59 лет наблюдается увеличение содержание адсорбированной воды и летучих компонентов (CO₂), что может быть связано с большим содержанием карбонат-ионов в структуре или на поверхности патогенного апатита.

Таким образом, показано, что при коксартрозе в костной ткани происходит значительное преобразование органической компоненты (в ткани мужчин и женщин уменьшаются массовые потери ВОВ; мужских образцах – увеличивается содержание НОВ) и минеральной фазы (увеличивается количество адсорбированной воды, летучих веществ) костной ткани.

Литература

Гилинская Л. Г., Григорьева Т. Н., Окунева Г. Н., Власов Ю. А. Исследование минеральных образований на сердечных клапанах человека. Химический и фазовый состав // Журнал структурной химии. Т. 44. № 4. 2003. С. 678–689.

Данильченко С. Н. Структура и свойства апатитов кальция с точки зрения биоминералогии и биоматериаловедения // Вестник СумДУ. Серия Физика, математика, механика. № 2. 2007. С. 33–58.

Лунева С. Н. Биохимические изменения в тканях суставов при дегенеративно-дистрофических заболеваниях и способы их направленной биологической коррекции. Дис. ... докт. биол. наук. Курган, 2003.

Danilchenko S. N., Pokrovskiy V. A., Bogatyrov V. M., Sukhodub L. F., Sulkio-Cleff B. Carbonate location in bone tissue mineral by X-ray diffraction and temperature-programmed desorption mass spectrometry // Cryst. Res. Technol., 2005. В 40. №. 7. P. 692–697.

Ivanova T. I., Frank-Kamenetskaya O. V., Kol'tsov A. B. Synthesis, crystal structure and thermal decomposition of potassium-doped carbonated hydroxyapatite // Z. Krist. 2004. № 219. P. 479–486.