

МИКРО И НАНОКАПИЛЛЯРНАЯ ИОННАЯ ОПТИКА И КРС ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И МЕДИЦИНЕ

А. О. Шуляковский

Белорусский государственный университет, г. Минск,

email: artem.shuliakovski@gmail.com

науч. рук.: Ф. Ф. Комаров, д-р физ.-мат наук, профессор

Методом PIXE (proton induced x-ray emission) исследована структура срезов костной ткани людей, страдающих коксартрозом. Проведено сравнение здоровых и больных участков костной ткани по спектрам характеристического рентгеновского излучения. Показано, что в ткани, разрушенной в результате коксартроза, наблюдается низкое содержание кальция и фосфора, а также появление избытка хлора. Так же проведен молекулярный анализ образцов методом спектроскопии комбинационного рассеяния света.

Ключевые слова: конусообразные капилляры; тазобедренный сустав; костная ткань; микроэлементный состав; коксартроз; комбинационное рассеяние света.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время пучки заряженных частиц находят широкое применение в различных областях науки и техники. Они широко применяются в фундаментальных исследованиях (получение образцов с заданными параметрами, изучение свойств и структуры материалов, анализ тонких пленок и др.), в технике (ионная имплантация, электронно-лучевая сварка, определение состава вещества и т.п.), в медицине (для лечения онкологических заболеваний). Важной задачей является доставка пучка заряженных частиц к объекту исследования. В настоящее время существует несколько способов вывода ионного пучка, генерируемого ускорителями, в атмосферу. Для этой цели используются металлические капилляры из фольги и других материалов. Все эти способы не позволяют превысить плотности исходного ионного пучка, что негативно сказывается на скорости сбора статистических данных. В то же время известно, что при прохождении ионного пучка через диэлектрические конусные капилляры плотность пучка на выходе может быть увеличена на несколько порядков за счёт явления самофокусировки. Именно это обстоятельство послужило основополагающим критерием для реализации именно этой методики. В качестве генерирующих характеристическое рентгеновское излучение в материале мишени ионов были выбраны протоны, как обладающие максимальным пробегом в воздухе, а так же из-за

того, что протоны – легкие частицы, и регистрировать их спектры гораздо проще.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

На базе ионного ускорителя AN-2500 (Рис.1) собран, отъюстирован, проверен на герметичность и запущен комплекс по выводу ионного пучка в атмосферу [1].

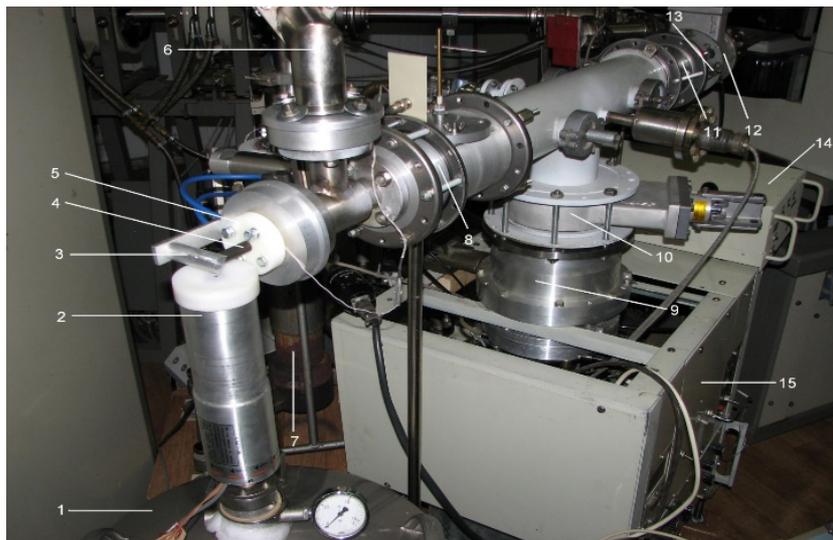


Рис.1. Общий вид комплекса по выводу ионного пучка ускорителя в атмосферу и измерению энергетических спектров ионноиндуцированного ХРИ

- 1 – дьюар с жидким азотом, 2 – детектор ХРИ с предусилителем, 3 – держатель мишени,
4 – капилляр с защитой, 5 – держатель капилляра, 6 – тракт откачки объема капилляра,
7 – диффузионный вакуумный насос, 8, 10, 13 – вакуумные затворы,
9 – турбомолекулярный вакуумный насос,
11 – сифон, 14 – блок питания турбомолекулярного вакуумного насоса,
15 – блок управления форвакуумными и диффузионным насосами.

Использовался конусообразный стеклянный капилляр. Такой выбор обусловлен преимуществом данного капилляра: он обладает эффектом самофокусировки, что увеличит плотность пучка в 1500 раз. Входное отверстие капилляра 1 мм, выходное 10 мкм.

Исследуемый образец помещается на держатель, который поворачивается на угол 45 градусов относительно оси пучка и детектора, соответственно. Мониторинг ионного тока осуществляется коллиматором, включенным в цепь измерителя тока на пульте ускорителя, что позволяет определять количество ионов, попавших на образец.

В качестве регистрирующего спектры РИХЕ блока использовался Si(Li) детектор с предварительным усилителем. Измеренное

энергетическое разрешение спектрометра на линии железа составило 5,9 кэВ, разрешение детектора составляет 151 эВ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ МЕТОДОМ РХЭ

Объекты исследования предоставил Республиканский научно-исследовательский центр травматологии и ортопедии, это были ткани головок бедренных костей мужчин и женщин в возрасте 58-69 лет, больных коксартрозом тазобедренного сустава.

По спектрам на Рис. 2 видно, что в больной костной ткани более низкое содержание кальция и фосфора, а также наблюдается избыток хлора.

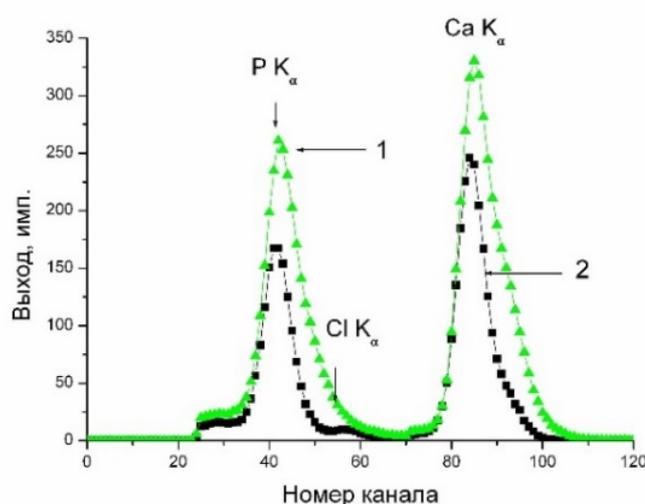


Рис. 2. Энергетические спектры ХРИ костной ткани больной коксартрозом головки бедра

1 – здоровая костная ткань, 2 – больная костная ткань

Для определения молекулярного строения образцов был использован метод комбинационного рассеяния света (КРС). Он показал, что между кристаллической решеткой гидроксиапатита и окружающей его средой (кровь, межклеточная жидкость) происходит ионный обмен, в результате чего накапливаются те или иные ионы, изменяющие или сохраняющие минеральную структуру костной ткани. В состав костного минерала в заметном количестве входят карбонат ионы. Соотношение «карбонат/фосфат» (Рис. 3) является также показателем кристалличности костной ткани. Замещение фосфат-ионов карбонат-ионами приводит к уменьшению размеров кристаллитов и степени кристалличности гидроксиапатита. В результате увеличивается коэффициент растворимости костной ткани, она становится более аморфной и хрупкой.

Оценить количество замещений карбонатной группой в решетке гидроксиапатита можно с помощью отношения интенсивностей полос при

960 cm^{-1} (PO_4^{3-}) и 1070 cm^{-1} (CO_3^{2-}) на спектрах КРС. Так, с помощью метода спектроскопии КРС было показано, что старение сопровождается увеличением уровня замещений фосфатной группы в костном минерале ионами карбоната.

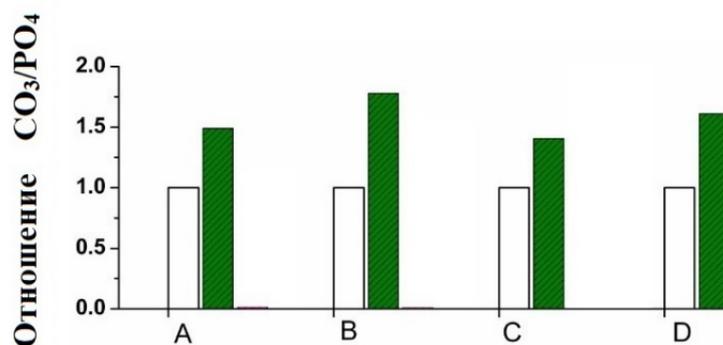


Рис. 3. Изменение отношения полос CO_3/PO_4 на спектрах КРС при поражении коксартрозом. Приведены данные для четырех выбранных пациентов (A–D) для здоровой ткани (принимались за единицу) и для больных тканей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было выполнено исследование состава образцов при помощи микрокапиллярного рентгеновского микроанализа. Он реализуется при помощи возбуждения ХРИ быстрыми протонами с энергией 1,5 МэВ. ХРИ имеет линейчатый спектр и полностью зависит от электронной структуры атомов. Протонное возбуждение позволяет проводить микроанализ с высокой чувствительностью: один атом примеси на миллион атомов материала матрицы. На примере кости тазобедренного сустава показана эффективность использования метода ХРИ.

Библиографические ссылки

1. *Комаров Ф. Ф.* Комплекс для локальной ионной имплантации и элементного микроанализа с выводом ионного пучка в атмосферу / Ф.Ф.Комаров, А.С.Камышан, В.В.Пилько, А.А.Шекунов, О.Ф.Романовская, Г.А.Урьев. Доклады НАН Беларуси, том 60, № 5, 2016, с.71-74.