УДК 611.718.4+611.068

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДИННЫХ РАСПИЛОВ ГОЛОВОК БЕДРЕННЫХ КОСТЕЙ

[1]Подорожная В.Т., [1]Кирилова И.А., [2,3]Шаркеев Ю.П., [2]Попова К.С., [2]Уваркин П.В., [1]Фомичев Н.Г.

[1]ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск;
[2]ИФПМ СО РАН, Томск;
[3]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск,
e-mail: IKirilova@niito.ru

Образцы срединных распилов из головок бедренных костей, резецированных у 6 пациентов с коксартрозом при первичном эндопротезировании тазобедренного сустава одинаковых типо-размеров (1,0x3,0 см) испытывали на микротвердость и нанотвердость, изучали модуль Юнга и элементный состав костного материала. Исследования образцов на трёхточечный изгиб показали, что предел прочности изменялся от 0,187 до 1,650 МПа, а модуль упругости – от 1,69 до 8,15 МПа. Микротвёрдость образцов изменялась в интервале 220–265 МПа, среднее значение микротвёрдости образцов срединных распилов из головок бедренной кости – 240 МПа. Элементный состав образцов срединных распилов из головок бедренной кости представлен основными элементами Ca, P, O, Na, Mg, а также Sn, S, Fe, Cr, C в микроколичествах, и атомное соотношение Ca к P в костной ткани составило 1,55.

Ключевые слова: головка бедренной кости, структурно-функциональные характеристики, микротвердость, нанотвердость, элементный состав, костная ткань

THE STUDY OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF FEMORAL HEAD MIDLINE SECTION SPECIMENS

[1]Podorozhnaya V.T., [1]Kirilova I.A., [2,3]Sharkeev Y.P., [2]Popova K.S., [2]Uvarkin P.V., [1]Fomichev N.G.

[1]Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk;
[2]Institute of Strength Physics and Material Science, SB RAS, Tomsk;
[3]Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: IKirilova@niito.ru

Specimens of midline sections of femoral heads resected in 6 patients with coxarthrosis during primary hip replacement and having the same size of 1,0x3,0 cm were tested for micro-hardness and nano-hardness, Young's modulus, and the elemental composition of bone material. Three-point bend testing of specimens showed that the tensile strength ranged from 0,187 to 1,650 MPa, and the modulus of elasticity – from1,69 to 8,15 MPa. Micro-hardness of specimens varied between 220 and 265 MPa, the average value of micro-hardness was 240 MPa. Elemental composition of specimens of femoral head midline sections was represented by the following basic elements: Ca, P, O, Na, and Mg, as well as by trace amounts of Sn, S, Fe, Cr, and C, and Ca/P concentration ratio of bone tissue was 1,55.

Keywords: femoral head, Struma-functional characteristics, microhardness, anotherdate, element composition, bone tissue

В настоящее время всё более широкие масштабы приобретает использование костной пластики для восполнения дефицита и восстановления целостности костной ткани при ревизионных эндопротезированиях тазобедренных суставов [1–5]. Применение костной пластики приводит к восстановлению биомеханики конечности за счет нормализации центра вращения сустава, что, в свою очередь, позволяет повысить качество ревизионных операций [1].

Доказано, что материалом для костной пластики могут быть фрагменты губчатой аллокости от кадаверных доноров, но наличие этических проблем подтолкнуло исследователей и врачей предложить использование головок бедренных костей (ГБК), резецированных ранее при первичном эндопротезировании [7, 9].

В то же время известно, что структура резецированной у пациентов кости отличается по анатомо-функциональным свойствам от структуры трабекулярной костной ткани в норме [8]. Поэтому одной из самых важных тем, поднимаемых в современной литературе, посвященной описанию костной ткани, является поиск корреляций между механическими и структурными свойствами ткани [6].

Цель работы: изучение анатомо-функциональных свойств головок бедренных костей, резецированных при первичном эндопротезировании тазобедренного сустава у пациентов с коксартрозом.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования служили образцы срединных распилов из головок бедренных костей в ко-

личестве шести штук, резецированных в ходе первичного эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов с коксартрозом. Возраст пациентов – доноров костной ткани – составил от 46 до 67 лет, средний возраст – 55,8.

В соответствии с утвержденным алгоритмом у доноров костного материала осуществлялся забор крови для обследования на инфекционные агенты (сифилис, ВИЧ, гепатиты В и С). При отрицательных результатах обследования материал поступал в обработку. Осуществлялся радиальный распил ГБК с шагом 0,4–0,5 см, из срединного фрагмента выпиливался образец размерами 1,0x3,0 см. Весь костный материал доноров подвергался промывке очищенной проточной водой, обезжириванию спирт-эфиром и химическому очищению 6% – раствором перекиси водорода (в соответствии с методиками).

Микротвердость измерялась по ГОСТ 9450-76 на микротвердомере марки Duramin 5. При измерениях применялась нагрузка 245 мН. Также производилось измерение нанотвердости на приборе «Nano Hardness Tester» NHT-S-AX-000X в соответствии с международным стандартом ISO 14577-4:2007 при нагрузке на индентор 10 мН. Измерения микротвердости и нанотвердости производились по методу восстановленного отпечатка путем вдавливания алмазной четырехгранной пирамидой Виккерса с углом 136° между противоположными гранями. Значения микротвердости и нанотвердости определяются делением нагрузки P на площадь поверхности отпечатка F (1):

$$HV = \frac{P}{F} = 1{,}8544\frac{P}{d^2}, \qquad (1)$$

где d – диагональ отпечатка.

При измерении нанотвердости на приборе «Nano Hardness Tester» NHT-S-AX-000X проводилась также регистрация модуля Юнга.

Исследования на трёхточечный изгиб были выполнены на универсальной настольной электромеханической испытательной машине Instron 3369 (США, «Instron») по ГОСТ 14019-80 при скорости нагружения 0,1 мм/мин и максимальной нагрузке 2 кН. Образцы для испытаний на трёхточечный изгиб имели следующие размеры: 10×30×4 мм^3.

Для определения элементного состава костного материала использовали последовательный волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр Lab Center XRF-1800 (Япония).

Следует отметить, что имела место некоторая неоднородность исследуемого материала, поскольку анализировался материал от 6 разных пациентов. И по этой причине физико-механические характеристики имели большой разброс. Для более точного определения физико-механических параметров костной ткани необходимо провести исследование на большем количестве образцов.

Результаты исследования и их обсуждение

Морфология всех образцов костной ткани представлена пористой структурой, причём поры расположены по всему объёму материала. На рис. 1 представлены оптические изображения фрагмента костной ткани, полученного при различной глубине фокуса, позволяющие оценить внутренние поры образца. На некоторых изображениях можно наблюдать посторонние включения красного и чёрного цвета.

Исследования костных материалов на трехточечный изгиб показали большой диапазон значений, как предела прочности, так и модуля упругости. Величина модуля упругости изменяется от 1,69 до 8,15 МПа, а предела прочности – от 0,187 до 1,65 МПа. На рис. 2 приведены типичная кривая деформации образца при трёхточечном изгибе и вид образца после испытания.

Основные физико-механические характеристики исследуемых образцов приведены в табл. 1.

При исследовании элементного состава костной ткани было выявлено наличие следующих элементов: Ca, P, O, Na, Mg, а также Sn, S, Fe, Cr, C в микроколичествах. Данные по содержанию элементов в атомных процентах приведены в табл. 2. Из данных элементного анализа определено соотношение Ca/P в костной ткани, оно составило 1,55.

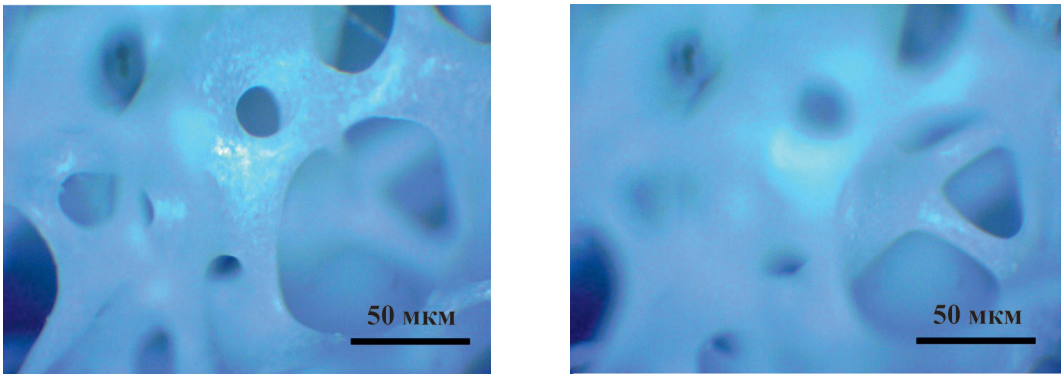
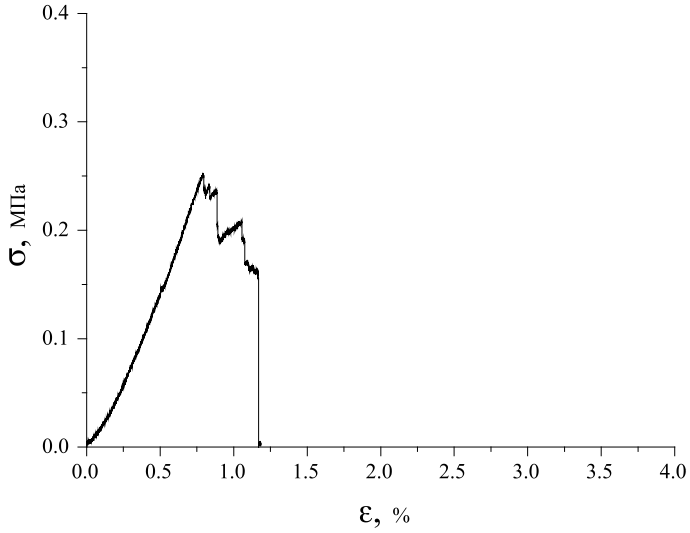
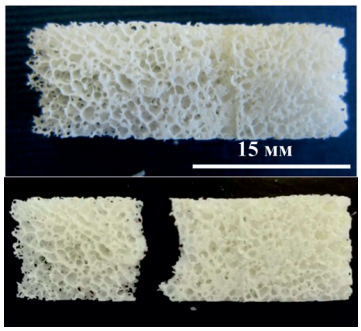


Рис. 1. Оптические изображения образца костной ткани, полученные при различной глубине резкости





а *б*

Рис. 2. Кривая нагружения образца 69082 из костной ткани при трехточечном изгибе (а) и изображение образца (б)

Таблица 1

Физико-механические характеристики костных материалов

№ образца	Возраст донора, лет	Микротвердость (H_{25}), МПа	Предел прочности ($б_в$), МПа	Деформация (ε), %	Модуль Юнга при изгибе (E), МПа
69097	59	220	0,360	0,192	2,14
65531	59	265	0,187	0,371	1,69
65466	51	235	1,075	1,65	5,57
69082	53	254	0,249	0,76	3,29
65848	46	241	1,450	0,19	8,15
65631	67	246	1,650	0,1	7,53

Таблица 2

Содержание основных элементов в костной ткани

Элемент	Ca	P	O	Na	Mg	Sn	S	Fe	Cr	C
Содержание, ат.%	34,85 ± ± 0,15	22,45 ± ± 0,12	39,69 ± ± 0,17	1,36 ± ± 0,08	0,85 ± ± 0,04	0,36 ± ± 0,02	0,28 ± ± 0,02	0,09 ± ± 0,02	0,06 ± ± 0,01	0,04 ± ± 0,01

Выводы

При исследовании физико-механических свойств и элементного состава образцов, полученных из головок бедренных костей, были получены следующие основные результаты.

1. Исследования образцов срединных распилов из головок бедренной кости на трёхточечный изгиб показали, что предел прочности и модуль упругости изменяются в широких пределах. Модуль упругости изменялся от 1,69 до 8,15 МПа, а предел прочности – от 0,187 до 1,650 МПа.

2. Микротвёрдость образцов изменялась в интервале 220–265 МПа, среднее значение микротвёрдости образцов срединных распилов из головок бедренной кости равно 244 МПа.

3. Элементный состав образцов срединных распилов из головок бедренной кости костного материала представлен следующими основными элементами: Ca, P, O, Na, Mg, а также Sn, S, Fe, Cr, C в микроколичествах, соотношение Ca к P в костной ткани – 1,55.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проекта № 15-29-04849.

Список литературы

1. Дианов С.В., Тарасов А.Н. Аллопластика вертлужной впадины при первичном и ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава // Травматология и ортопедия России. – 2009. – № 3. – С. 130–132.

2. Мурылев В.Ю., Петров Н.В., Силин Л.Л., Рукин Я.А., Елизаров П.М., Калашник А.Д. Ревизионное эндопротезирование вертлужного компонента эндопротеза тазобедренного сустава // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2012. – № 1. – С. 20–25.

3. Подорожная В.Т., Кирилова И.А., Шаркеев Ю.П., Легостаева Е.В. Аллогенные костные материалы: структура, свойства, применение // Известия вузов. Физика. – 2013. – № 12/3. – С. 14–21.

4. Прохоренко В.М. Первичное и ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава. – Новосибирск: АНО «Клиника НИИТО», 2007. – 348 с.: ил.

5. Рукин Я.А. Ревизионное эндопротезирование вертлужного компонента тотального эндопротеза тазобедренного сустава при его асептической нестабильности. Автореферат дисс….канд.мед.наук. – М., 2008.

6. Cichanski A., Nowicki K., Mazurkiewicz A., Topolinski T. Investigation of statistical relationships between quantities describing bone architecture, its fractal dimensions and mechanical properties // Acta of Bioengineering and Biomechanics. 2010; 12 (4): 66–77.

7. Cornu O., Manil O., Godts B., et al. Neck fracture femoral heads for impaction bone grafting // Acta Orthop Scand. 2004;75(3):303–308.

8. Nikodem A. Correlations between structural and mechanical properties of human trabecular femur bone // Acta of Bioengineering and Biomechanics Vol. 14, No. 2, 2012:37–46.

9. Tanaka T., Sacurai T., Kashima I., Structuring of parameters for assessing vertebral bone strength by star volume analysis using a morphological filter // Journal of Bone and Mineral Metabolism. 2001. 19:150–158.