

УДК 539.3

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ
ОСТЕОЗАМЕЩЕНИЯ**

Е.И. Сенькина

Научный руководитель: профессор, д.т.н. С.П. Буякова
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055
E-mail: elena.senkina.1995@mail.ru

**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ZIRCONIA CERAMICS FOR OSTEO-
REPLACEMENT**

E.I. Senkina

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.P. Buyakova
Institute of Physics of Strength and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, pr. Akademicheskij 2/4, 634055
E-mail: elena.senkina.1995@mail.ru

Abstract. *In this work, porous ceramic materials based on zirconium dioxide have been studied. Ceramics are obtained by uniaxial cold pressing of powder mixtures followed by multi-stage high-temperature sintering at 1500°C. Spherical ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) with an average particle size of about 150 μm was used as a blowing agent. The following data were obtained: pore size distribution, flexural strength, modulus of elasticity, and the viability of a 3T3 mouse fibroblast cell culture was studied. The data indicate that the mechanical parameters of the obtained material correspond to those of the bone tissue. The studied ceramics showed high biocompatibility.*

Введение. Одной из актуальных современных проблем науки о материалах является развитие технологий создания структурно-функциональных заменителей поврежденных тканей, в частности, для остеозамещения. На данном этапе одним из решений является подход, основанный на изготовлении тканеинженерных конструкций, представляющих собой клетки, посаженные на скаффолды [1]. Настоящая работа посвящена исследованию физико-механических свойств пористого керамического скаффолда на основе биологически инертных оксидов циркония и алюминия. Эти керамики обладают высокой прочностью, стойкостью к химически-агрессивным средам и включены в реестр ISO как материалы, допустимые к имплантации и остеозамещению [2].

Материалы и методы. Исходные составы были подготовлены путем механического смешивания порошков 80% $ZrO_2(Y_2O_3)$ – 20% Al_2O_3 и $ZrO_2(Y_2O_3)$ со сверхвысокомолекулярным полиэтиленом (СВМПЭ) 60 и 150 мкм в среде этанола. Содержание частиц СВМПЭ составляло 50 об. % от общего объема смеси. Одноосное холодное прессование осуществлялось в стальной пресс-форме при давлении 130 МПа. Удаление порообразующих частиц происходило путем отжига компактов в воздушной печи при температуре 1100[□] С с выдержкой 1 час, спекание - при температуре 1500[□] С, скорости нагрева 200[□] С/час и с выдержкой в 1 час. Размеры пор оценены методом случайных секущих по снимкам полированной поверхности шлифов исследуемых образцов. Механические характеристики определяли с помощью теста на трехточечный изгиба. Для определения жизнеспособности живой культуры использовались

фибробласты мышцы линии 3T3. Культивирование клеток на образцах проводили в 24-х луночном планшете в полной культуральной среде DMEM–F12 в термостатах с подачей 5 % CO₂ при 37 °С. Инкубация проводилась 24 часа. Далее определялась оптическая плотность на приборе «Multiscan RC».

Результаты. В ходе проведенного эксперимента, были получены образцы цилиндрической формы с высотой 5 мм и диаметром 10 мм. Результаты по измерению пор представлены на рис. 1 и в таблице 1. При разрезе образца было замечено незначительное сдавливание пор. В случае с СВМПЭ 150 мкм, обнаружилось существенное уменьшение размера пор. Причиной этому может послужить усадка образцов при спекании. Тем не менее, согласно исследованиям [3], полученная пористая структура благоприятствует пролиферации клеток, что немаловажно при остеоинтеграции.

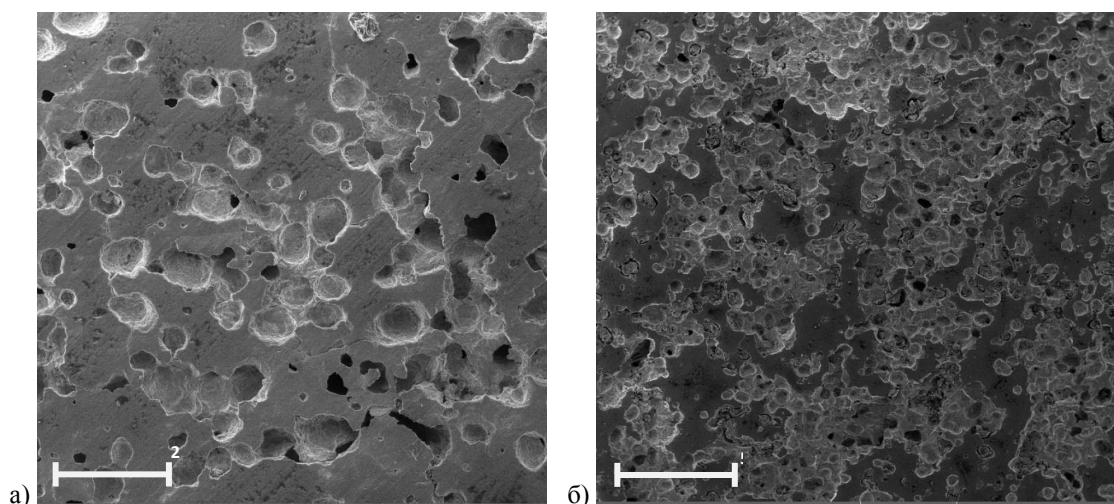


Рис.1. СЭМ – изображения пори стой керамики Y-TZP СВМПЭ 60 мкм

Таблица 1

Размеры пор полученных образцов

Состав	СВМПЭ ATZ (60 μm)	СВМПЭ Y-TZP (60 μm)	СВМПЭ ATZ (150 μm)	СВМПЭ Y-TZP (150 μm)
Средний размер пор, мкм	57,77	57,85	87,13	97,71

Согласно результатам теста на трехточечный изгиб, исследуемые образцы входят в диапазон значений предела прочности и модуля упругости костной такни (таблица 2) [4].

Таблица 2

Прочностные характеристики полученных образцов

Состав	СВМПЭ ATZ (60 μm)	СВМПЭ Y-TZP (60 μm)	СВМПЭ ATZ (150 μm)	СВМПЭ Y-TZP (150 μm)	Костная ткань (кортикальная)	Костная ткань (трабекулярная)
Предел прочности, σ, МПа	56,75	64,5	43,44	61,76	15-200	1,2-80
Модуль упругости, E, МПа	295,53	381,22	176,08	336,00	430–22000	20-4000

Как известно, оптическая плотность пропорциональна жизнеспособности клеток. Сравнив контрольную группу с образцами, выяснили, что наибольшую жизнеспособность клетки проявили на алюмоупрочненной циркониевой керамике со СВМПЭ 150 мкм. В то же время, другие образцы не показали высокой токсичности, что могло повлиять на гибель клеток (рис. 2).

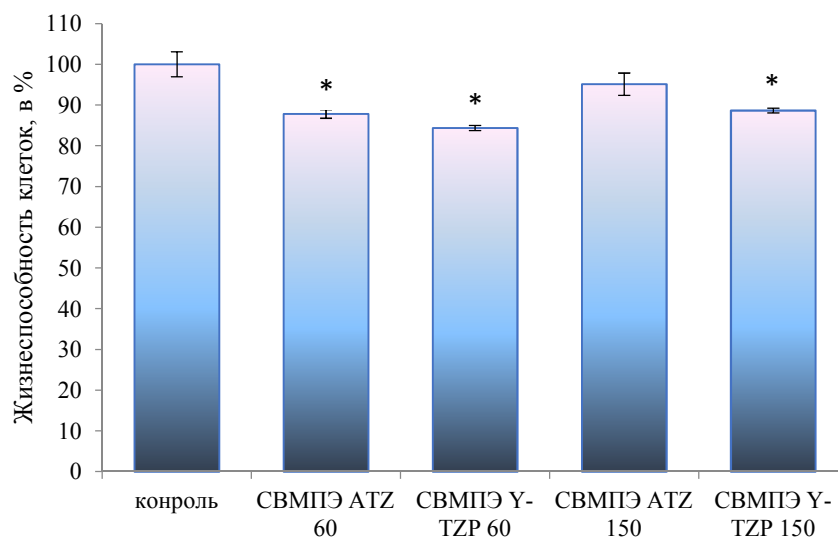


Рис. 2. Жизнеспособность клеток

Примечание: * — статистически значимые различия при $p < 0,05$ по сравнению с группой контроля

Достоверность разницы оптической плотности клеток в опытных лунках по сравнению с контрольными определяли по U-критерию Манна-Уитни, достоверное различие принято при $p < 0,05$.

Заключение. В ходе данной работы был получен материал, который потенциально может использоваться при операциях на остеозамещение. Полученные данные дают возможность дальнейшего варьирования характеристик. Это необходимо для максимального приближения физико-механических характеристик керамики к костной ткани.

Работы выполнены в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2022-0002 и Плана НИР Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра на 2020-2022 г., тема Эколан М-1.9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gerberich B.G., Bhatia S.K. Tissue scaffold surface patterning for clinical applications. // Biotechnol. Journal. – 2013. – V. 8 (1). P. 73-84.
2. Stadlinger B., Hennig M., Eckelt U., Kuhlisch E., Mai R., Comparison of zirconia and titanium implants after a short healing period. A pilot study in minipigs. // Int. J. Oral Max. Impl. – 2010. – V.39. – P. 585-592.
3. Sennerby L., Dasmah A., Larsson B., Iverhed M. Bone tissue responses to surface-modified zirconia implants: a histomorphometric and removal torque study in the rabbit. // Clin. Implant Dent. R. – 2005. – V.7.– P. 13-20.
4. Свешников А.А. Минеральная плотность костей скелета, масса мышц и проблемы профилактики переломов. – М.: Академия естествознания, 2013. – 179 с.