

Перспективы применения замещенных фторгидроксиапатитовых порошков в качестве основы покрытий внутрикостных имплантатов

А.В. Лясникова, В.Н. Лясников, О.А. Дударева, И.П. Гришина, О.А. Маркелова
Саратов, ул. Политехническая, 77, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., *kafbma2011@yandex.ru*

Рассмотрены особенности применения фторгидроксиапатитов и замещенных фторгидроксиапатитов в медицине. Представлены перспективы использования замещенных фторгидроксиапатитовых порошков в качестве покрытий внутрикостных имплантатов, полученных с помощью технологии плазменного напыления.

Perspectives of application of substituted fluorhydroxyapatite powders as a basis of intra-intensive implant covering. A.V. Lyasnikova, V.N.Lyasnikov, O.A.Dudareva, I.P.Grishina, O.A.Markelova. Specific features of the use of fluorhydrocapatitates and substituted fluorhydroxyapatites in medicine are considered. The prospects of using substituted fluorhydroxyapatite powders as coatings of intraosseous implants obtained with the help of plasma deposition technology are presented.

Актуальной проблемой современной имплантологии является снижение количества отторжений внутрикостных имплантатов. Известна технология плазменного напыления покрытий, позволяющая формировать биоактивные слои на внутрикостных частях имплантатов различного назначения, тем самым создавая идеальную поверхность с точки зрения долговременности и надежности функционирования [1].

В качестве порошка для нанесения покрытий применение нашел порошок фторгидроксиапатита (ФГАП). В общем случае порошок ФГАП получают замещением гидроксильной группы OH на ионы фтора, что приводит к созданию материала с формулой: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Fx}(\text{OH})_{2-x}$ [2].

Технология нанесения покрытий на основе ФГАП заключается в очистке напыляемой поверхности в УЗ-ванне, воздушно-абразивной обработки поверхности для создания необходимого микрорельефа и напыления с использованием полуавтоматической установки УПН-28 по следующим технологическим режимам: дистанция напыления от 70 до 100 мм, ток дуги – от 300 до 350 А, дисперсность порошка ФГАП – 70-100 мкм [2].

При напылении ФГАП происходит его диспергирование в плазменной струе, наблюдается сохранение достаточно крупных частиц сферической формы, которые создают свой собственный микрорельеф с развитой шероховатостью и не повторяют предыдущую поверхность (рис.1). Это обеспечивает возможность регулирования параметров биокомпозиционного покрытия, изменяя режимы напыления с целью повышения однородности структуры.

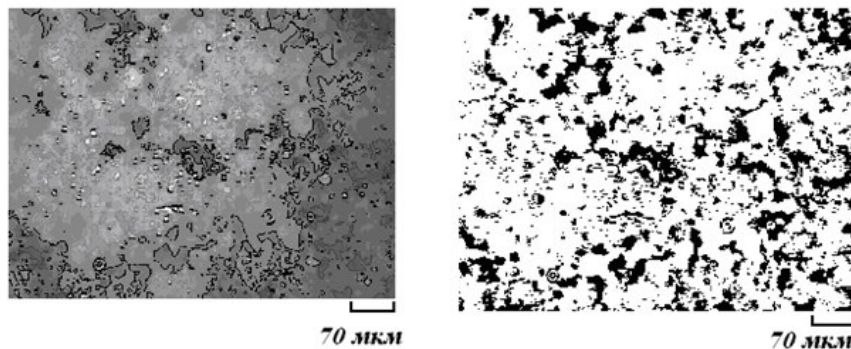


Рис.1. Микрофотографии поверхности напыленных ФГАП покрытий [2].

При напылении ФГАП формируется достаточно равномерный микрорельеф: относительная неравномерность не более 16%, количество впадин и пор до 620, максимальный размер – около 70 мкм, разброс размеров не более 12,4% (рис.1) [2].

Для оценки медико-биологических свойств ФГАП покрытий был проведен модельный эксперимент [3], целью которого была оценка процессов костномозгового кроветворения на титановых дисках с ФГАП покрытием, с применением длительных культур костного мозга.

Проведенные исследования показали, что фторгидроксиапатит обладает повышенными остеointегративными свойствами, не вызывает отрицательных реакций, и не оказывает ингибирующего влияния на рост клеток. Так, процентное содержание стромальных и кроветворных клеток для диска с ФГАП составляло 84 %, а доля этих же клеток на диске с гидроксиапатитом (ГА) составила только 37 %. Таким образом, покрытия внутрикостных имплантатов на основе ФГАП, способствуют построению костной ткани и стимуляции остеointеграции [3].

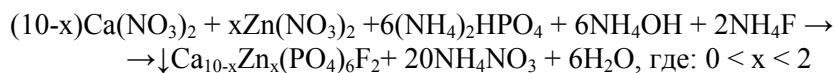
Интерес представляет исследование возможности замещения некоторого количества кальция в структуре ФГАП на частицы металлов, например серебра, стронция, цинка и др.

Введение в структуру ФГАП частиц серебра улучшает его антимикробные свойства, а наличие в структуре фтора придает стабильность покрытию и улучшает его механические характеристики [4].

Проводились исследования [5], показывающие эффективность применения в медицине композиций на основе стронцийзамещенных ФГАП и ГАП. Полученные материалы оказывают влияние на увеличение жизнеспособности и функциональной активности остеобластов.

В лаборатории кафедры ФМБИ СГТУ имени Гагарина Ю.А. успешно синтезирован цинкзамещенный ФГАП. Введение цинка в структуру соединений придает порошкам и покрытиям на их основе антимикробный эффект, также возможно улучшение механических свойств покрытий, что подтверждается результатами исследований цинкзамещенных ГА и трикальцийфосфатных покрытий [6-9].

Порошок цинкзамещенного ФГАП осаждали из растворов при pH на уровне 8-9 по реакции:



Полученный осадок прокаливали при температурах 200 и 600 °С. Рентгенофазовый анализ порошка (РФА) цинкзамещенного ФГАП показал, что он полностью соответствует структуре соединения в форме $\text{Ca}_{5-x}\text{Zn}_x(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (рис. 2).

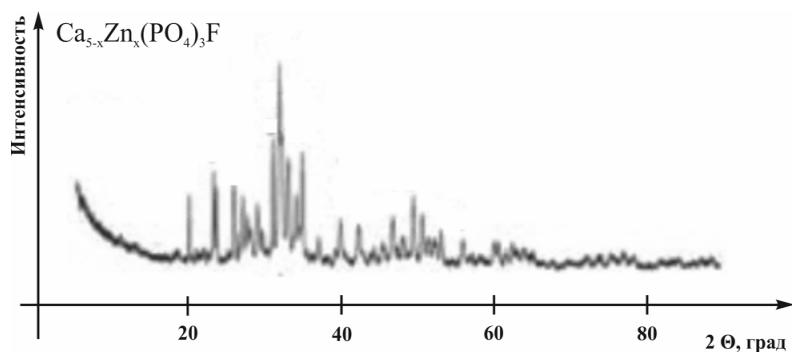


Рис.2. РФА порошка цинкзамещенного ФГАП.

Частицы порошка цинкзамещенного ФГАП имеют правильную форму с плоскими гранями размером 10-30 мкм, сгруппированных в агломераты размером 50-70 мкм (рис. 3).

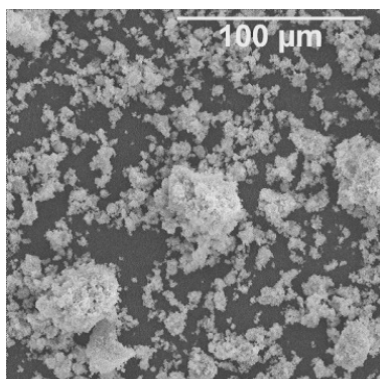


Рис.3. РЭМ порошка цинкзамещенного ФГАП.

Таким образом, весьма перспективным является разработка технологий синтеза и плазменного напыления порошков замещенных ФГАП. Причем от выбора замещающего элемента будут зависеть свойства полученных покрытий, что открывает широкие возможности улучшения механических, структурно-морфологических и медико-биологических характеристик готовых изделий с нанесенными покрытиями. В настоящее время нами ведутся исследования в этом направлении.

Коллектив авторов выражает благодарность за проведение синтеза порошка цинкзамещенного ФГАП профессору Пичхидзе С.Я.

Исследование выполняется при финансовой поддержке гранта Президента для государственной поддержки молодых российских ученых РФ – докторов наук МД-1403.2017.8, а также Гранта РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-01250 а.

Литература

1. Лясников В.Н. Плазменное напыление: монография / В.Н. Лясников, А.В. Лясникова, О.А. Дударева. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2016. 643 с.
2. Применение электроплазменной технологии для нанесения фторгидроксиапатитовых биоактивных покрытий на дентальные имплантаты / А.В. Лясникова, О.А. Дударева // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 2. С. 153-158.
3. Курдюмов С.Г., Воложин А.И., Орловский В.П. Фторгидроксиапатит для дентальной имплантации // Современные проблемы имплантологии: Труды VI Междунар. научно-техн. конф. – Саратов, 2002 – С. 69–71.
4. Huang Y, Song G, Chang X, et al / Nanostructured Ag⁺-substituted fluorhydroxyapatite-TiO₂ coatings for enhanced bactericidal effects and osteoinductivity of Ti for biomedical applications // International Journal of Nanomedicine. 2018. Vol.13. P. 2665-2684.
5. Osteoblastic cell response on biphasic fluorhydroxyapatite/strontium-substituted hydroxyapatite coatings / Yin P., Feng F.F., Lei T., Zhong X.H., Jian X.C. // J Biomed Mater Res A. 2014. Vol.102(3). P. 621-627.
6. Bahman Nasiri-Tabrizi, Abbas Fahami, / Mechanochemical Synthesis of Fluorapatite-Zinc Oxide (FAp-ZnO) Composite Nanopowders // ISRN Ceramics. 2012. Vol. 2012. P. 1-9.
7. Miao S., Cheng K., Weng W., Du P., Shen G., Han G., Yan W., Zhang S. / Fabrication and evaluation of Zn containing fluoridated hydroxyapatite layer with Zn release ability // Acta Biomaterialia, 2008. Vol. 4. Iss. 2. P. 441-446.
8. Biocomposite Plasma-Sprayed Coatings Based on Zinc-Substituted Hydroxyapatite: Structure, Properties, and Prospects of Application/ A. V. Lyasnikova, O. A. Markelova, V. N. Lyasnikov, O. A. Dudareva/ Mechanics of Composite Materials, 2016, Vol. 51, Issue 6, pp 801-804.
9. Composition and microstructure of zinc-substituted tricalcium phosphate and plasma biocoating based hereon / A. V. Lyasnikova, O. A. Dudareva, V. N. Lyasnikov, O. A. Markelova, I. P. Grishina // Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2018. – Vol. 56(9-10). – P. 541-545.