

УДК 535.3

**АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ БИОИМПЛАНТОВ
В ПРОЦЕССЕ ИХ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ
СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ**

Жердева Л. А.¹, Волова Л. Т.², Пономарева Ю. В.², Тимченко П. Е.¹, Тимченко Е. В.¹

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара,

²Институт экспериментальной медицины и биотехнологий
Самарского государственного медицинского университета, г. Самара,

В хирургической и травматологической практике для значительной доли пациентов характерно нарушение целостности костной ткани, связанное с заболеванием опорно-двигательной системы, с возникновением микропереломов с последующим увеличением хрупкости и пористости костей. На ранних этапах использования аутогенных тканей для замещения костных дефектов основная проблема, связанная с возникновением инфекционных осложнений после трансплантации, заставила специалистов отказаться от данного рода трансплантатов. Со временем развитие инновационных методов обработки аутогенных тканей привело к созданию новых стандартов в безопасном использовании аутогенных тканей.

Одним из таких стандартов является использование деминерализованной лиофилизированной костной ткани донора. Важным этапом получения деминерализованного биоматериала является его обработка в кислотном растворе, что приводит к потере большей части минеральных компонентов, при этом сохраняется доля коллагена и белков, необходимых для регенерации тканей. Известно также, что скорость восстановления кости выше при трансплантации частично деминерализованного биоматериала по сравнению с полностью деминерализованным. В результате, правильно подобранная степень деминерализации костной матрицы обеспечивает идеальное сочетание остеоиндуктивных и остеокондуктивных свойств для эффективной регенерации костной ткани.

В качестве объектов исследования были использованы образцы трёхмерного материала твёрдой кортикальной и губчатой костной ткани человека серии «Лиопласт»® с различным временем деминерализации. Первым этапом в процессе производства имплантатов являлось обезжиривание и полное удаление из межбалочных пространств кости всех элементов костного мозга и крови путем кратковременной низкочастотной ультразвуковой обработки (24-40 кГц в течение 2-3 минут), при этом разрушение самой костной ткани не происходило. Затем для получения деминерализованного биоматериала костную ткань помещали в раствор HCl 1,2 нормальности с поддержанием постоянной температуры раствора + 4°C. Следующим этапом являлась лиофилизация образца на установке ALPHA 2-4 LSC, которая заключалась в сублимационной сушке образцов.

Спектральные характеристики образцов изучались с помощью экспериментального стенда, включающего в себя высокоразрешающий цифровой спектрометр Shamrock sr-303i с охлаждаемой камерой DV420A-OE (спектральное разрешение 0,15 нм (~1 см⁻¹)), волоконно-оптический зонд RPB785, совмещённый с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (длина волны 785 нм). Для дополнительного контроля результатов экспериментов был использован метод растровой электронной микроскопии.

На основе экспериментальных исследований показано, что процесс деминерализации может количественно контролироваться с использованием

отношения интенсивностей линий КР на волновых числах 956 и 1069 см^{-1} , которые соответствуют валентным колебаниям $(\text{PO}_4)^{3-}$ и $(\text{CO}_3)^{2-}$. Зафиксированные изменения свидетельствуют об уменьшении минеральных компонентов: так, значение интенсивности линий 956 и 1069 см^{-1} на 5 минуте деминерализации составляет $68,5$ и $77,3\%$, на 20 минуте – $55,1$ и $61,1\%$, на 120 минуте – $32,8$ и 37% относительно значений для недеминерализованных объектов, соответственно. Исследованы спектральные особенности коллагена костной ткани в зависимости от времени деминерализации на основе анализа областей спектра $1200-1460\text{ см}^{-1}$ и $1600-1800\text{ см}^{-1}$. Результаты анализа КР сопоставлены с результатами растровой электронной микроскопии.