

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА

Костная ткань человека отличается способностью к регенерации при поражениях небольшого размера, однако при возникновении дефектов значительного объема сложной формы самовосстановление затруднено. В подобных случаях для реконструкции могут использоваться скаффолды (трехмерные пористые или волокнистые матрицы, обеспечивающие механический каркас для клеток).

Кость является минерально-органическим композиционным материалом, главными составляющими которого являются коллаген (20 мас.%), фосфат кальция (69 мас.%) и вода (9 мас.%). В связи с этим применение для замещения дефектов костной ткани керамики на основе фосфатов кальция, характеризующихся биологической совместимостью с тканями организма и активностью по отношению к соединению с костной тканью, является весьма перспективным.

При разработке материалов для замещения дефектов костной ткани следует также учитывать, что последние имеют сложную пористую структуру. Данную структуру практически невозможно воспроизвести с использованием классических методов формования керамики (пластического формования, полусухого прессования и литья), а растущий спрос на биокерамику вызывает необходимость разработки технологии, позволяющей изготовить изделия индивидуально для каждого пациента в кратчайшие сроки. Поэтому в последнее время все большее внимание уделяется разработке аддитивных технологий получения подобных материалов.

Целью работы является разработка составов масс и технологических параметров получения керамических материалов на основе гидроксиапатитас использованием 3D-печати.

Как известно, кальций-фосфатные материалы с соотношением Ca/P от 1,33 до 1,50 характеризуются большей скоростью растворимостью по сравнению со стехиометрическим синтетическим гидроксиапатитом (Ca/P – 1,67). В связи с этим в настоящее время значительное внимание уделяется разработке композиционных материалов, состоящих из нескольких кальций-фосфатных фаз.

Принимая во внимание вышесказанное, в настоящем исследовании в качестве добавок использовались дигидроортофосфат кальция

(ГОСТ 10091) и диоксид кремния нанодисперсный аморфный (ГОСТ 14922).

Экспериментальные образцы готовились следующим образом. Смеси гидроксипатита, полученного методом жидкофазного синтеза, и добавок подвергались совместному мокрому помолу в лабораторной шаровой мельнице BML-2 (DAIHAN) в течение 30–60 мин для гомогенизации. Влажность приготовленных керамических масс составляла 45,0 мас. %. Изделия формовались методом экструзии на 3D-принтере. Сформованные образцы подвергались сушке в сушильном шкафу SNOL 58/350 при температуре 60 ± 5 °С, а затем обжигу в электрической лабораторной печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 при температурах 500–1200 °С. Скорость набора температуры составляла 2–4 °С/мин. Выдержка при максимальной температуре – 60 мин.

Визуальная оценка обожженных образцов свидетельствовала, что они характеризовались равномерной окраской белого цвета, которая не зависела от содержания компонентов массы и температуры обжига. Текстура на изломе пористая. Физико-химические свойства определялись в соответствии с ГОСТ 30534, ГОСТ 2409, ГОСТ Р 57606 (табл.).

Таблица – Технологические и физико-химические свойства керамики полученной в температурном интервале обжига 500–1200 °С

Применяемая добавка	Значение показателя				
	водопоглощение, %	открытая пористость, %	кажущаяся плотность, кг/м ³	механическая прочность при сжатии, МПа	общая усадка, %
Без добавок	10,0–49,6	23,8–59,7	1200–2380	4,1–41,8	10,5–27,8
Дигидроортофосфат кальция	32,0–51,8	48,3–61,6	1510–1167	1,3–10,9	9,7–18,1
Диоксид кремния нанодисперсный аморфный	18,9–54,8	35,7–61,4	1110–1885	2,8–32,5	9,0–25,0

Установлено, что дигидроортофосфат кальция негативно влияет на прочностные характеристики полученных образцов, что, вероятно, связано с его разложением в процессе термообработки материала, которое вызывает разрыхление структуры. Основной кристаллической фазой синтезированной керамики является гидроксипатит.

Полученный материал является биологически активным, на его поверхности наблюдается формирование фосфатов кальция через 7 сут выдерживания в SBF-растворе.

Следует отметить, что полученную пористую керамическую матрицу из кальций-фосфатной керамики можно пропитывать растворами коллагена с целью воспроизведения состава костной ткани.