

Аддитивные технологии в инженерии костной ткани

В.С. Комлев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), 119334, Москва, Ленинский пр., 49

Для послойного формирования объемных изделий сложной структуры и формы сегодня активно применяют различные аддитивные технологии, в том числе селективное лазерное спекание, трехмерную печать порошками с последующим отверждением или каплями расплавленного полимера. В последнее десятилетие активное развитие получили методы трехмерной струйной печати керамических матриц и способы изготовления на их основе различных тканеинженерных конструкций. Однако чисто керамические матрицы характеризуются высокой жесткостью. Они достаточно хрупки и не технологичны. На основе анализа литературных данных и нашего собственного опыта предварительных исследований можно утверждать, что матрицы, изготовленные из композиционных материалов типа биополимер/фосфаты кальция будут иметь более предпочтительные физико-химические и биомеханические свойства по сравнению с керамическими. Биополимеры обладают огромным потенциалом для их разнообразных применений в биомедицинских исследованиях и клинической практике. Особый интерес представляют материалы на основе альгинатов – внеклеточных полисахаридов, характеризующихся высокой биосовместимостью, биорезорбируемостью и обладающих широким спектром полезных свойств. Сегодня они широко используются как в медицинских, так и в фармацевтических целях, в том числе в различных имплантационных системах, при обработке ран различной этиологии, при регенерации мягких и твердых тканей, а также в качестве гемостатических агентов с антитромбогенными свойствами и стимуляторов иммунной системы против вирусной и бактериальной инфекции и др. В свою очередь материалы на основе фосфатов кальция (основных компонентов минеральной составляющей костной ткани) активно применяются для изготовления остеопластических материалов и керамических матриц в современных клеточных технологиях восстановления поврежденных костных тканей. Наибольшее число работ в этой области посвящено разработке и исследованию композиционных материалов, получаемых путем механического смешения компонентов. Такие материалы не образуют непрерывный каркас и взаимосвязанную пористость, а их минеральная составляющая находится в химически несвязанном состоянии с полимерной матрицей. Значительные успехи в формировании пористых композиционных матриц с биополимерами достигнуты при использовании операций вспенивания смесей компонентов, фиксации пены и последующей лиофильной сушки. Получены эластичные композиционные матрицы на основе коллагена, хитозана и гидроксиапатита, либо трикацийфосфата, имеющие пористость до 95% и размер пор до 1000 мкм, биологические испытания которых продемонстрировали их перспективность для использования в клеточных технологиях восстановления костной ткани. Существенным недостатком таких матриц является слабая взаимосвязанность пор, что ограничивает колонизацию порового пространства клетками, участвующими в процессе ремоделирования (остеокласты, остеобласты), биологические потоки и неоваскуляризацию. Принципиальное решение этой проблемы может быть найдено при изготовлении пористых изделий заданной архитектоники

методом трехмерной струйной печати - одним из вариантов современных аддитивных технологий.

Этот метод включает в себя создание исходной компьютерной 3D модели и последовательное послойное формирование объекта требуемых размеров, формы и внутренней структуры из различных композиционных материалов в соответствии с этой моделью, по сути, обеспечивая персонализацию изготавливаемого изделия. Модель может быть сконструирована при помощи различных программ трехмерного проектирования (CAD/CAM) с последующим преобразованием полученных файлов в форматы, используемые для формирования изделия на соответствующих 3D принтерах. Наряду с этим, современные медицинские томографы с высоким разрешением позволяют получать необходимые исходные данные от конкретного пациента для создания таких трехмерных компьютерных моделей различных тканей и органов.

Несмотря на большое количество проделанных работ в этой области, проблема находится по-прежнему в ранней стадии разработки. Для дальнейшего успешного развития этого направления необходимо проведение целого комплекса междисциплинарных фундаментальных и прикладных исследований - от получения новых данных о свойствах и фазовых трансформациях сложных гетерогенных систем биополимер/фосфаты кальция/ген-активированные материалы до разработки основ технологий, адаптированных к существующим процессам и устройствам трехмерной печати, что и являлось основной задачей данной работы.