(cc) BY

Юнусов Руслан Данилович
студент
Трофимова Наталья Федоровна
студентка
Гуляев Павел Юрьевич
д-р техн. наук, заведующий кафедрой
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»
г. Ханты-Мансийск, ХМАО – Югра

БИОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ В ЛАЗЕРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

***Аннотация**: методом самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) автором получены наночастицы K_XTiO_2 с высоким фототермическим эффектом. В работе представлен способ регенерации хрящевых тканей.*

***Ключевые слова**: наночастицы, лазерная инженерия, биоткани, фототермический эффект, СВС.*

Введение

В настоящие время нанотехнологии является одним из важнейших направлений технологического развитая во многих странах. Размеры наночастицы и свойства их поверхностей позволяет им вступить в прямом контакте на молекулярном уровне с биологическими тканями.

Перед нами стоит задача, сможем ли мы использовать этот метод для лечения хрящевой ткани, так как эта технология только развивается.

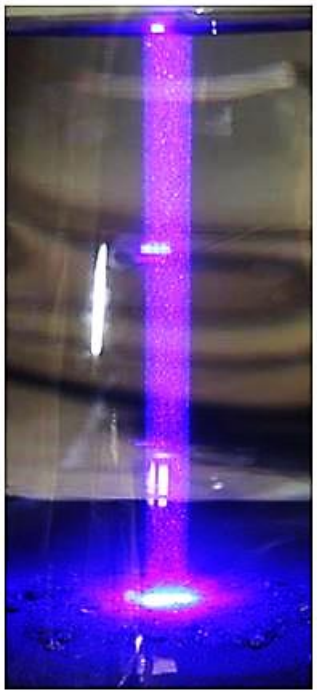

Рисунок 1. Воздействие лазером на наночастицы K_xTiO_2

Регенерация хрящевых тканей основывается на умеренном лазерном нагреве хряща, что приводит к разрастанию клеточного каркаса хряща и выработке межклеточной жидкости (матрикса). Кроме того, нагрев стимулирует кровоток в капиллярах, окружающих хрящевую ткань, что также положительно сказывается на его регенерации. Введение (импрегнирование) полиамидного геля, содержащего наночастицы оксидных бронз в матрикс хряща увеличивает его нагрев, так как наночастицы оксидных бронз обладают высоким фототермическим эффектом, т. е. при облучении их лазером происходит нагревание наночастиц за счёт поглощения фотонов.

Один из этапов получения наночастиц СВС.

Этап получения оксида бронз с заранее заданными свойствами аномально высокими фототермических проходит самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Смесь формуют, инициации синтеза проводили с использованием газовой горелки. Подготовка бронзы протекает в соответствии с уравнением реакции:

$$TiO_2 + Ti + 0{,}12KI + 2CuO \rightarrow 2K0{,}06TiO_2 + 0{,}06I_2 + 2Cu$$

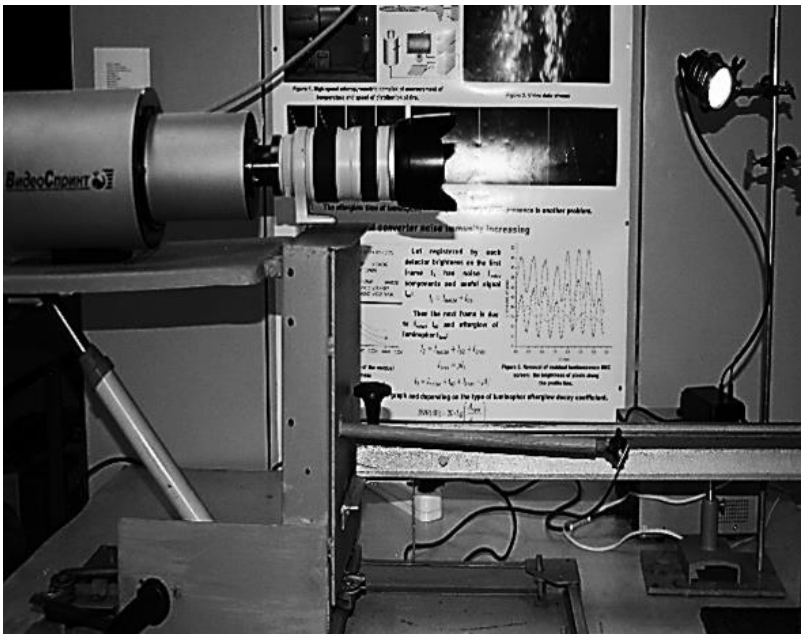

Рис. 2. Микро пирометрическое разрешение системы наносекунд для изучения скорости и температуры СВС

Микро-пирометрический комплекс наносекундного разрешения включает в себя: высокоскоростную видеокамеру для обработки данных «VideoSprint», бесплатная программа ImageJ. Для термического анализа процессов формирования фаз, используется метод высокоскоростной яркостной микропирометрии.

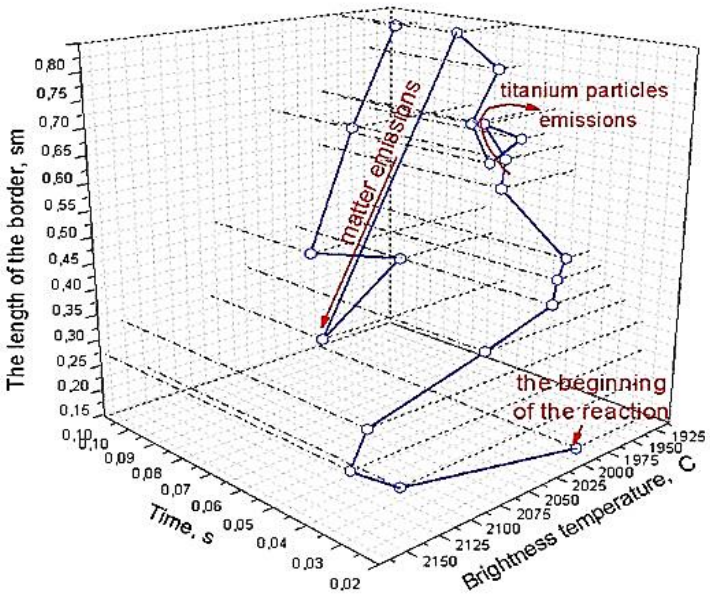

Рис. 3. Первый вариант развития реакции: изменение размера граничной области и ее яркостной температуры

Исследования кинетики реакции СВС K_XTiO_2 методом термического анализа показали возможность реакции по двум сценариям:

1. Медленная реакция с периодическим выбросом продуктов реакции. Средняя скорость реакции 15 см / с, температурный градиент 5 × 10^3градус / с. Максимальные значения достигаются 10^6градус / с, 45см / сек.

2. Продолжительная низкотемпературная реакция с быстрым началом. В среднем, средняя скорость начальной стадии реакции, составляет 100 см / с, максимальная скорость реакции достигает 400см / с. Далее, реакция замедляется и за ним следует (время ~ 0,7s) образуя тонкую пленку на поверхности. Температурный градиент 4 × 10^3градус / с. В процессе СВС, протекающего по второму сценарию происходит образование фазы оксида титана калия бронз в тонких пленках.

Такие высокие скорости можно объяснить протеканием реакции в режиме теплового взрыва.

Экспериментальная установка и полученные результаты монохроматического коэффициента поглощения лазерного излучения на длине волны Эрбий диодного (λ=1.45 μm) и волоконного (λ=1.56 μm) лазеров. Для фиксации толщины слайдов (2) в них помещали тонкое металлическое кольцо (3) из проволоки (диаметр проволоки 0.5 мм). Диаметр кольца составлял 11.3 мм. Исследуемый образец помещали в пространство, ограниченное этим кольцом. Затем закрепили оптическое волокно лазерного скальпеля вертикально так, чтобы луч был направлен вниз, и расстояние между волокном и слайдом составляло 11 мм. Слайд при этом размещался на приемном устройстве (1) измерителя мощности (рисунок 4). Таким образом, собранная установка позволяла пропускать лазерный луч через образец и регистрировать мощность прошедшего излучения.

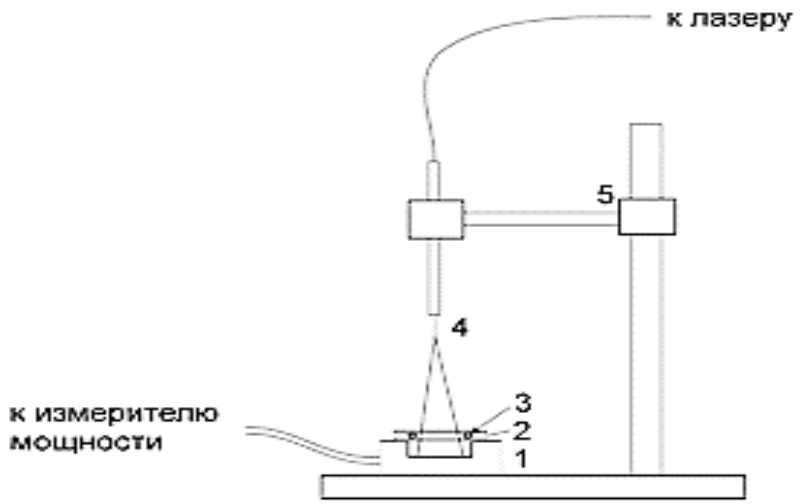

Рис. 4. Установка для измерения поглощения гелей:

1 – приемное устройство измерителя мощности; 2 – слайд;

3 – металлическое кольцо; 4 – оптическое волокно лазера; 5 – штатив

Лазер работал в непрерывном режиме излучения; заданная выходная мощность составляла от 0.5 до 0.75 Вт.

При нормальном падении узкого пучка излучения на хрящевую ткань интенсивность света I по мере прохождения через объект изменяется по закону Бугера-Ламберта-Бера:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha l}, \qquad (1)$$

где I_0 – интенсивность падающего излучения, α – эффективный показатель ослабления, l – путь, пройденный излучением.

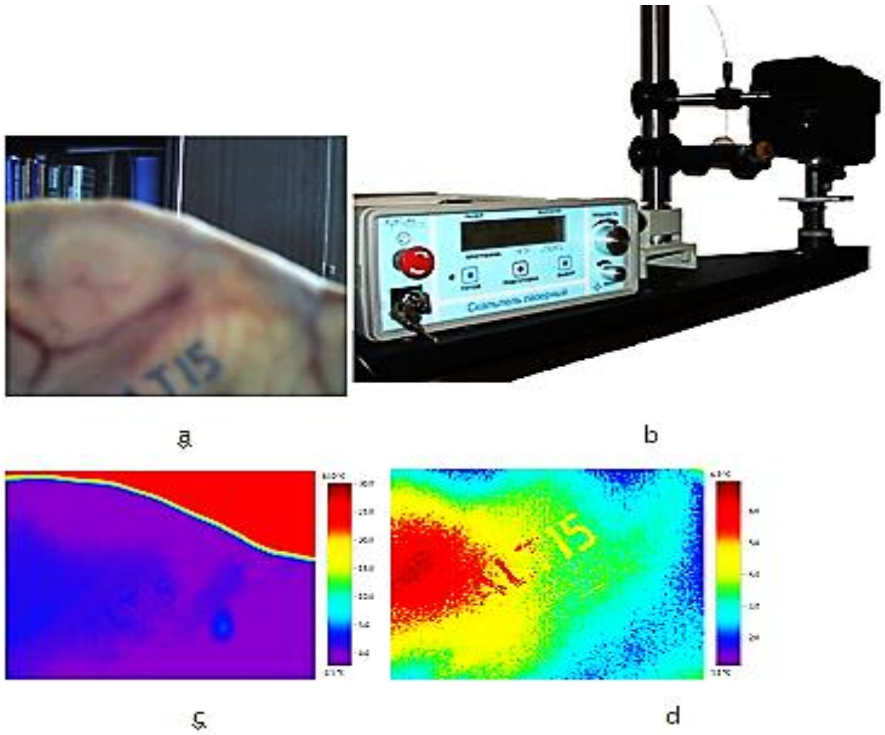

Рис. 5. Измерение распределения температуры на поверхности замороженной ткани уха поросенка: а – вид уха поросенка в видимом свете (фрагмент Татуировки внизу) б – установка для измерения распределения температуры с помощью тепловизора с – термограмма поверхности замороженного уха поросенка (без облучения) d – термограмма поверхности ткани, облучаемой лазерным пучком с гауссовским профилем распределения: $I(r)=I_0 \exp(-r^2/r_0^2)$

Для подкожного импрегнирования хрящевых тканей уха поросенка использован метод татуировки с формированием буквенных символов на коже. На рисунке 5. показан фрагмент замороженного уха поросенка с импрегнированными наночастицами в виде цифро-буквенных символов ALT’15.

Заключение

При помощи тепловизионной съемки периодического импульсного лазерного нагрева поверхности хрящевой ткани подтвердилось наличие высокого фототермического эффекта при импрегнировании биотканей наночастицами оксидных бронз. Это позволяет использовать наночастицы в диагностике заболеваний на ранних стадиях заболевания и последующем лечении этих заболеваний с помощью восстановительной термотерапии поврежденной ткани, с использованием лазерного нагрева наночастиц.

Исследование проведено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках исследовательского проекта №15–42–00106.

Список литературы

1. Гуляев П.Ю. Физико-химические методы исследования самораспространяющегося высокотемпературного синтеза оксидных титановых бронз / П.Ю. Гуляев, М.К. Котванова, И.В. Милюкова, С.С. Павлова, И.Е. Стась // Ползуновский альманах. – 2010. – №2. – С. 62–64.

2. Гуляев П.Ю. Фототермические эффекты лазерного нагрева наночастиц оксидов железа и оксидных бронз в хрящевых тканях / П.Ю. Гуляев, М.К. Котванова, С.С. Павлова, Э.Н. Соболь, А.И. Омельченко // Российские нанотехнологии. – 2012. – Т. 7. – №3–4. – С. 62–65.