

Разработаны искусственные связки на основе нанотрубок и коллагена, ускоряющие восстановление пациента

*Группа ученых разработала новый тип искусственных связок суставов. Имплантат представляет собой бесшовную трубку из полиэтилентерефталата, покрытую каркасом из углеродных нанотрубок и коллагеном. Опыты показали, что время реабилитации пациента уменьшилось на 7 недель, а вероятность повторной операции снизилась в 2,5 раза по сравнению с традиционными синтетическими имплантатами. Исследование проведено с участием представителей Сеченовского Университета при поддержке Российского научного фонда. Результаты [опубликованы](#) в журнале *International Journal of Molecular Sciences*.*

«Преимущество нашей разработки заключается в том, что методика имплантации связки не изменилась, что очень важно для выведения продукта на рынок. Стоимость имплантатов с нанопокрытием будет в два-три раза меньше средней стоимости зарубежных аналогов связок без покрытия. Мы используем доступные отечественные материалы и оборудование с большим ресурсом: можно изготовить еще порядка миллиона единиц искусственных связок», — рассказывает руководитель исследовательского проекта Александр Герасименко, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией биомедицинских нанотехнологий Сеченовского Университета и НИУ «МИЭТ».

Растяжение или разрыв связок — частая и весьма неприятная травма у спортсменов и вообще у людей, ведущих активный образ жизни. Одно неосторожное движение может привести, в лучшем случае, к двухнедельному больничному и боли, а в худшем — к хирургическому вмешательству или инвалидности. Разрыв передней крестообразной связки коленного сустава — одна из самых частых и неприятных травм, на нее [приходится](#) больше половины общего числа повреждений суставов. Для лечения подобной травмы необходимо имплантировать донорские или синтетические связки. Однако в первом случае есть вероятность отторжения чужой ткани, а во втором — искусственные материалы могут обладать низкой биосовместимостью и плохо приживаться. В обеих ситуациях потребуется повторная операция, которая увеличивает срок восстановления больного.

Решение этой проблемы удалось найти ученым из «[Сеченовского университета](#)», НИУ «[МИЭТ](#)», «[РГАУ-МСХА](#)», «[МОНИКИ](#)» и НИУ «[СГУ](#)». Разработанный ими имплантат представляет собой волокна из термопластика полиэтилентерефталата (ПЭТ) с покрытием на основе каркаса из одностенных углеродных нанотрубок, сформированного инфракрасным излучением в матрице из коллагена. В отличие от других полимеров, к примеру, полиэстера и полипропилена, ПЭТ с меньшей вероятностью вызывает воспаление суставной полости. Однако этот материал обладает низкими биологическими свойствами, поэтому в области имплантации в кость возникает рубец из соединительной ткани, которая мешает восстановлению пациента и повышает риск повторной операции. Чтобы исправить это, ученые искали материал с улучшенной биосовместимостью, который способен усилить механические свойства соединения между имплантатом и костью. В результате изучения различных

биополимерных материалов, например белков организма, и их взаимодействия с ПЭТ волокнами, ученые пришли к идее комбинирования углеродных нанотрубок с коллагеном. Таким образом, каркас из нанотрубок в коллагене обеспечил имплантат уникальной структурой за счет сильной связи между атомами углерода, а также улучшил восстановление и прорастание костной ткани. В свою очередь была достигнута биосовместимость ПЭТ-связок, и в результате заживления кости уменьшено количество соединительной ткани вокруг имплантата.

Разработанную технологию тестировали на кроликах, которым были имплантированы искусственные ПЭТ-связки с покрытием из углеродных нанотрубок с коллагеном. Шестимесячные испытания показали отличную приживаемость имплантата. Благодаря каркасной структуре из углеродных нанотрубок в матрице коллагена бедренная кость ровно и быстро зарастала и фиксировала имплантат связки, об этом свидетельствовали снимки с томографа. Гистологические исследования, проведенные спустя три и шесть месяцев после имплантации, показали отсутствие воспалительных процессов и образование новой костной ткани.

Также было выявлено, что в ходе биоразложения в структуре имплантата появляются поры диаметром от 0,5 до 6 мкм. Со временем количество пор и их размер увеличились до 20 мкм. Через них кровеносные сосуды и нервные окончания прорастают внутрь имплантата, что ускоряет восстановление пациента.

Кроме того, ПЭТ волокна с нанотрубками и коллагеном имеют лучшую гемосовместимость. Ученые установили, что уровень разрушения эритроцитов у разработанного имплантата снижен до 0,8%, когда как у обычных ПЭТ волокон этот показатель составляет 1,45%. Такая особенность позволяет использовать новую технологию для создания сердечно-сосудистых имплантатов, постоянно контактирующих с кровью.

Исследователи предполагают, что разработанная ими технология позволит сократить время реабилитации пациентов в среднем на семь недель. Кроме того, ученые ожидают, что отторжение имплантата в краткосрочной перспективе снизится в 2,5 раза по сравнению с существующими образцами. Также авторы продолжают работу над нанопокрывтием: необходимо сделать так, чтобы оно дольше сохранялось на поверхности волокон. Тогда клетки будут эффективнее прикрепляться к имплантату, и в результате он лучше приживется. После этого можно будет проводить доклинические исследования и регистрировать разработку как медицинское изделие.

Картинка 1. Проекция микротомографии (a, c, e, g, i, k) и трехмерные изображения (b, d, f, h, j, l) поперечного канала бедренной кости для контроля слева и экспериментальные правые коленные суставы через 1, 3 и 6 месяцев после имплантации. Источник: *Gerasimenko et al / Int. J. Mol. Sci., 2020*

Картинка 2. Изображения гистологических срезов в области имплантации через 1 (a, b), 3 (c, d) и 6 (e, f) месяцев контроля (a, c, e) и ПЭТ-ленты, покрытой углеродными нанотрубками с коллагеном (b, d, f), где 1 — ленточное волокно ПЭТ; 2 — костные трабекулы; 3 — соединительная ткань; 4 — ретикулярная ткань. Источник: *Gerasimenko et al / Int. J. Mol. Sci., 2020*

Картинка 3. Александр Герасименко в лаборатории