

УДК 616.13-089:616.14-089

СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ Филонова М.И., Бондаренко В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Исследованы ныне существующие способы создания искусственных сосудов, их недостатки и преимущества применения.

Ключевые слова: искусственные кровеносные сосуды.

METHODS FOR MANUFACTURING ARTIFICIAL BLOOD VESSELS

Filonova M., Bondarenko V.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The currently existing methods of creating artificial vessels, their disadvantages and advantages of application have been studied.

Key words: artificial blood vessels.

Адрес для переписки: Филонова М.И., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: filonovami@bntu.by

Целью данной работы является исследование ныне существующих способов создания искусственных сосудов, их недостатки и преимущества применения.

Искусственные кровеносные сосуды представляют собой трубки из синтетических (химически полученных) материалов для восстановления кровообращения. Для замены поврежденных или больных артерий или вен, хирурги первоначально пересаживали артерии или вены от доноров, но эти трансплантаты часто терпели неудачу. В некоторых случаях донорские артерии были отторгнуты реципиентом, а в других случаях в сосудах развился атеросклероз («затвердение артерий»). Пересадка сосудов из собственного тела пациента была проблематичной, поскольку потребовалось две операции: одна для забора необходимого сосуда, а вторая для его пересадки. Кроме того, у многих пациентов с проблемами кровообращения не было подходящих сосудов, которые можно было бы пересадить. Чтобы преодолеть эти проблемы, исследователи начали экспериментировать с синтетическими материалами для кровеносных сосудов.

Венский технологический университет и Венский медицинский университет выдвинули новый способ создания искусственных кровеносных сосудов из специального эластомерного материала, обладающего специфическими механическими свойствами. Для изготовления сосудистых протезов растворы полимеров формовали в электрическом поле, формируя очень тонкие нити, и наматывали их на катушку. Полимерная ткань слегка пористая и поэтому вначале пропускает небольшое количество крови, что обогащает стенку факторами роста. Это способствует миграции эндогенных клеток. Новый метод уже доказал свою эффективность в опытах на крысах. Кровеносные сосуды крыс исследовали через шесть месяцев

после установки сосудистых протезов, при этом не обнаружено никаких аневризм, тромбозов или воспалений. Эндогенные клетки колонизировали сосудистые протезы и превратили искусственные конструкции в естественные ткани организма. Фактически, естественная ткань тела восстанавливалась намного быстрее, чем ожидалось, так что период деградации пластиковых трубок может быть даже короче. В настоящее время производится дальнейшая адаптация материала.

Одним из необычных и новых направлений является 3D-печать. Команда из Brigham and Women's Hospital (BWH) добилась успехов в изготовлении кровеносных сосудов с использованием техники трехмерной (3D) биопечати (рис. 1).

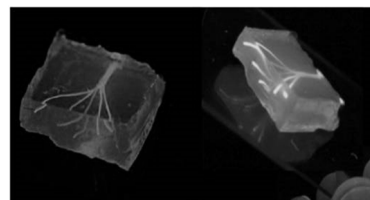


Рисунок 1 – Искусственные кровеносные сосуды с использованием конструкций из гидрогеля

Исследователи сначала использовали 3D-биопринтер для изготовления шаблона волокна из агарозы (молекула на основе сахара природного происхождения), которая служила бы формой для кровеносных сосудов. Затем они покрыли форму желатиноподобным веществом, называемым гидрогелем, сформировав слепок поверх формы, который затем был усилен с помощью фотоперечных связей.

Подход включает печать агарозных волокон, которые становятся каналами кровеносных сосудов. Но уникальность его заключается в том, что напечатанные шаблоны волокон достаточно прочны, чтобы их можно было физически удалить

и сделать каналы. Это предотвращает растворение этих слоев шаблона, что может быть не очень хорошо для клеток, захваченных окружающим гелем. Ученые смогли построить микроканальные сети, демонстрирующие различные архитектурные особенности. Они также успешно внедрили эти функциональные и перфузируемые микроканалы в широкий спектр обычно используемых гидрогелей, таких как метакриловый желатин или гидрогели на основе полиэтиленгликоля в различных концентрациях.

Исследователи, работающие в Центре быстрого машиностроения Шанхайского университета в Китае, разработали то, что считается первым в мире трехслойным сосудистым протезом. Разработав трехслойный композит и применив комбинацию методов микроимпринтинга и электропрядения, ученые смогли разработать отдельные композитные материалы, способные соответственно обеспечить как механическую прочность, так и стимулирование роста новых клеток. Электропрядение, процесс, в котором используется электрический заряд для вытягивания жидких материалов – в данном случае композита хитозана и поливинилового спирта – в невероятно тонкие волокна, также позволяет получить высокое отношение площади поверхности к объему нановолокон. Все эти компоненты естественным образом разлагаются в течение от шести месяцев до года, оставляя после себя новый, неповрежденный кровеносный сосуд. Процесс формирования композита также облегчает контроль деградации композитного сосудистого протеза.

Однако эти электропряденные структуры не очень жесткие, поэтому включение микроотпечатанного среднего слоя поли-п-диоксанона, био-разлагаемого полимера, обычно используемого в биомедицинских приложениях, решает проблему надежности.

Исследователи сообщают, что средний слой из трехслойного синтетического трансплантата изготавливается путем микроимпринтинга поли-п-диоксанона (PPDO), а внутренний и внешний слои формируются из электропрядения хитозана и поливинилового спирта (ПВС). Морфология трансплантата охарактеризована с помощью сканирующей электронной микроскопии. Соответствующие качества материалов делают трехслойный трансплантат лучше, чем сумма составляющих его элементов. PPDO повышает механическую прочность и помогает обеспечить постоянную толщину трансплантата. Ученые объясняют, что клетки, культивированные на сосудистых трансплантатах, лучше прилипают и размножаются благодаря натуральному биологическому хитозану во внутреннем и внешнем слоях. Исследователи отмечают, что композитные сосудистые трансплантаты, сформированные

с помощью микроимпринтинга и электроспиннинга, обладают улучшенными механическими свойствами и биосовместимостью по сравнению с материалом трансплантата, сформированным только с помощью электроспиннинга. Они объясняют, что трехслойные композитные трансплантаты более точно имитируют трехслойную структуру естественных кровеносных сосудов, избегая при этом дефектов, возникающих в результате отдельных процессов.

Специалисты из лаборатории Лю объясняют, что для того, чтобы лучше стимулировать приживание и пролиферацию клеток, суррогатные каркасы должны быть биоинженерными, чтобы в максимально возможной степени обладать естественной гисто-архитектурой поврежденного сосуда. Они отмечают, что основной задачей инженерии синтетических тканей является изготовление настраиваемых и биоразлагаемых каркасов, которые имитируют компоненты и структурные аспекты нативных внеклеточных матриц, и поэтому «композитные трансплантаты для восстановления сосудов с помощью микроимпринтинга и электропрядения» имеют важные применения в биомедицине, предлагая уникальные преимущества в подготовке сосудистых трансплантатов, например, высокое отношение площади поверхности к объему нановолокон и биомимикрию структуры и функций внеклеточного матрикса.

Тем не менее, ученые отмечают, что структура этих сосудистых протезов не сохраняется из-за плохих механических свойств и рисунка их нетканых материалов, и что в идеале сосудистые протезы должны обладать надежной биосовместимостью и механическими свойствами, сочетая натуральные материалы, смешанные с синтетическими полимерами. Но, несмотря на попытки использования различных систем смешивания с использованием множества различных параметров процесса и обработки после обработки, механические свойства электропряденных фибриллярных матриц остаются низкими.

На территории нашей Республики производство искусственных сосудов только развивается, например, на опытном заводе «Политехник» разрабатывают конструкции вязанных и тканых сосудов.

Несмотря на то, что уже достигнуты значительные успехи, создание синтетического протеза с механическими свойствами, идентичными свойствам нативных артерий, остается труднодостижимой задачей. Однако следует подчеркнуть, что основным преимуществом искусственного сосуда при имплантации является то, что он не должен иметь механические свойства, идентичные свойствам нативной артерии. Будучи состоящим из жизнеспособной ткани с потенциалом ремоделирования, восстановления и роста, искусственный

сосуд теоретически способен полностью адаптироваться к локальным гемодинамическим условиям и приобретать структурные и механические характеристики замещаемого им сосуда, будь то артерия или вена. Однако необходимо решить определенные проблемы:

1. Исследуемые в настоящее время трансплантаты требуют длительного периода подготовки, обычно от 1 до 3 месяцев, поэтому их нельзя использовать в экстренных ситуациях.

2. Длительная продолжительность культивирования увеличивает риск заражения и повышает стоимость рабочей силы, оборудования и необходимых материалов.

3. Большинство биоразлагаемых полимеров, используемых в настоящее время в качестве каркасов для создания искусственных сосудов, уже

одобрены. На самом деле это может быть шагом назад. Нам нужен биополимер, пригодный для использования в качестве сосудистого проводника, а не готовый.

Литература

1. Scientists use 3D printing to make artificial blood vessels [Electronic resource]. – Mode of access: <https://phys.org/news/2014-05-scientists-3d-artificial-blood-vessels.html>. – Date of access: 27.09.2022.

2. “Artificial Blood Vessels” – Micro-Imprinting And Electrospinning Technology Yields Superior Synthetic Composite Vascular Graft Material [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cardiovascular-disease-news.com/2015/02/13/artificial-blood-vessels-micro-imprinting-and-electrospinning-technology-yields-superior-synthetic-composite-vascular-graft-material>. – Date of access: 26.09.2022.

УДК 620.179.14

ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Бурак В.А.

*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Проведены исследования анизотропии магнитных свойств инструментальных углеродистых сталей. Установлено, что для инструментальных углеродистых сталей можно применять те же способы, основанные на импульсном магнитном намагничивании, что и для конструкционных углеродистых сталей. Показано, что для листового проката инструментальной стали У8А относительная разность величин градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности после импульсного намагничивания и частичного перемагничивания может применяться как оценка величины анизотропии магнитных свойств, а также связанных с ними механических свойств.

Ключевые слова: магнитный неразрушающий контроль, импульсное намагничивание, анизотропия, инструментальная сталь.

EVALUATION OF THE ROLLED TOOL STEELS MAGNETIC PROPERTIES ANISOTROPY BY THE PULSED MAGNETIC METHOD

Burak V.

*Institute of Applied Physics of NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The anisotropy of the tool carbon steels magnetic properties is studied. It is established that the methods for structural carbon steels based on pulsed magnetic magnetization can be used for tool carbon steels. It is considered that for rolled tool steel U8A the relative difference between the values of the gradient of the normal component of the residual magnetization field strength after pulsed magnetization and partial magnetization reversal can be used to estimate the anisotropy of the magnetic properties and the mechanical properties associated with them.

Key words: magnetic non-destructive testing, pulse magnetization, anisotropy, tool steel.

*Адрес для переписки: Бурак В.А. ул. Академическая, 16, г Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: veronika.burak@gmail.com*

Магнитные методы неразрушающего контроля широко применяются для решения различных задач магнитной структурокопии, однако для расширения перечня решаемых с помощью этих методов вопросов необходимо повышать точность и достоверность контроля, а также исследовать возможности их применения для различных ферромагнитных материалов и изделий из них.

Неравномерность механических свойств листового стального проката, возникающая из-за различия структурно-фазового состояния, может оказывать влияние на технологию производства и эксплуатационную стойкость изготовленных из него изделий, поэтому задача оценки и контроля анизотропии свойств листового проката различных классов сталей является актуальной [1].