

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© Д.М. ЛОСЬ¹, В.М. ШАПОВАЛОВ², С.В. ЗОТОВ²

¹У «Гомельский областной клинический онкологический диспансер», г. Гомель, Республика Беларусь

²ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь

РЕЗЮМЕ

В статье проанализировано использование полимерных материалов для решения задач теоретической и практической медицины. Показана эффективность использования полимеров при восстановительной кардиохирургии, в лучевой терапии и др. Определены основные требования, предъявляемые к полимерам и композитам для изделий медицинской техники. Важнейшим критерием выбора полимеров является безопасность их применения в клинической практике и способность при попадании в живой организм биodeградировать обычными метаболическими путями при отсутствии воспалительных и аллергических реакций окружающих тканей в отдаленные сроки наблюдения.

Ключевые слова: полимеры, изделия медицинской техники, кардиохирургия, лучевая терапия.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Лось Д.М., Шаповалов В.М., Зотов С.В. Применение полимерных материалов для изделий медицинского назначения. *Проблемы Здоровья и Экологии*. 2020; 64(2): 5-13

THE USE OF POLYMER MATERIALS FOR MEDICAL APPLICATIONS

© DMITRY M. LOS¹, VICTOR M. SHAPOVALOV², SERGEI V. ZOTOV²

¹Gomel Regional Clinical Oncology Center, Gomel, Republic of Belarus

²V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

ABSTRACT

The article analyzes the use of polymer materials for solving problems of theoretical and practical medicine. The effectiveness of the use of polymers in reconstructive cardiac surgery, radiation therapy, etc. has been shown. The basic requirements set for polymers and composites for medical devices have been identified. The most important criterion for the selection of polymers is the safety of their use in clinical practice and their ability to biodegrade when they enter a living organism along the usual metabolic pathways in the absence of inflammatory and allergic reactions of surrounding tissues during long-term follow-up care.

Key words: polymers, medical devices, cardiac surgery, radiation therapy.

FOR CITATION:

Los' D.M., Shapovalov V.M., Zotov S.V. The use of polymer materials for medical applications. *Problems of Health and Ecology = Problemy Zdorov'ya i Ekologii*. 2020;64(2):5-13. (In Russ.)

Введение

Открытие основных закономерностей полимеризации и поликонденсации органических соединений с последующей разработкой и промышленным изготовлением синтетических полимеров стало началом их широкого применения в медицине. В настоящее время без полимеров немыслима современная реконструктивная хирургия сердца и сосудов (замещение дефектов стенок и перегородок сердца, обеспечение искусственного кровообращения) [1]. В лучевой терапии важным аспектом лечебно-диагностических мероприятий является использование эластичных и легкоформуе-

мых материалов, которые обеспечивают безопасное и надежное крепление на теле пациента источников излучения и целевое точечное их транспортирование к объекту лечения. Так, при брахитерапии опухолей кожи применяют проводники источника излучения, изготовленные из металла и прочного пластика и обеспечивающие безопасную и надежную фиксацию пациента. Непосредственно контактируют с тканями организмов такие изделия, как имплантаты (контакт с синовиальной жидкостью и костной тканью, искусственные суставы), компоненты систем диализа («искусственная почка», контакт с кровью и мышечной тканью), хирургические нити, искусствен-

ные кровеносные сосуды. Именно поэтому актуальна необходимость исследования биосовместимости применяемых полимеров. В настоящее время из полимерных композитов изготавливается более 3000 различных видов медицинских изделий, и число это стремительно растет. Дальнейшие успехи в этой области зависят от кооперирования и творческого сотрудничества между медиками, материаловедами и химиками, в том числе в плане проведения совместных научных исследований.

Цель настоящей работы: оценить особенности и перспективы применения полимеров и/или их комбинаций для решения некоторых задач медицины.

1. Некоторые специфические особенности применения полимерных материалов в медицине. Сравнительный анализ позволил установить, что используемые в медицине полимеры делятся на следующие группы:

1) предназначенные для введения в полость, ткани, кровь и рассчитанные на длительное или постоянное пребывания в организме (протезы, пломбы, искусственные органы);

2) тканевые клеи;

3) шовный и перевязочный материал;

4) плазма, кровезаменители, антитоды;

5) лекарственные препараты.

Основными требованиями, предъявляемыми к полимерам и композитам на их основе, являются: стабильность основных физико-механических свойств; химическая стойкость (инертность), обеспечивающая стабильность изделий под воздействием жидких сред и стерилизующих агентов; минимальное содержание низкомолекулярных примесей, стабилизаторов, катализаторов и других технологических добавок; отсутствие запаха; способность выдерживать тепловую (в том числе автоклавирование) и радиационную стерилизацию; стабильность состава жидких медицинских препаратов, находящихся в контакте с полимерным материалом; отсутствие выделения токсичных и канцерогенных веществ; отсутствие опасности травмирования живой ткани и влияния на свертывание крови и гемолиз; отсутствие способности инициировать денатурацию белков, ферментов и вызывать отклонения в системе метаболизма; отсутствие способности нарушать электрический (электрофизический) баланс в тканях; отсутствие опасности механического разрушения под действием химических веществ, входящих в состав живого организма, лекарственных препара-

тов, стерилизующих агентов; стабильная структура поверхности изделия.

Промышленность выпускает несколько типов полимеров, отвечающих базовым медицинским требованиям. К ним относятся олилактиды (для имплантатов разных типов), сверхвысокомолекулярный полиэтилен (для эндопротезов суставов) [2], полиамиды (для хирургических нитей), полиуретаны (для камер искусственного сердца) [3], силиконовые полимеры с высокой химической и физиологической инертностью и термостабильностью (для косметических операций на лице и молочных железах, изготовления катетеров, клапанов сердца, пленок для защиты поверхности кожи при ожогах) [1], полиизобутилен в комбинации с природными полимерами (клеевые составы), полипараксилилен (для шовных материалов), полиакрилаты (для применения в костной пластике как трубки для дренирования слезного мешка, гайморовой полости, протезов кровеносных сосудов, клапанов сердца, пищевода, желудка, мочевого пузыря, желчных протоков, уретры, хрусталика глаза; штифтов и пластинок для фиксации костей при переломах, полимерных сетчатых «каркасов» для соединения кишок, сухожилий, трахеи и т.п.). Особенно высокие требования предъявляются к полимерам и композитам для ортопедической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии [4]. В стоимостном выражении более половины пластиков приходится на изготовление имплантов, более трети – на диагностические устройства. Разнообразные расходные материалы, в большинстве своем изготавливаемые из пластиков, в основной массе закупаются за рубежом, что достаточно остро ставит вопрос их импортозамещения для Республики Беларусь. Объем собственного выпуска полимерных композитов медицинского назначения с заданной комбинацией характеристик пока недостаточен. Поэтому актуальной задачей является разработка технических требований на производство полимерных композитов, которые полностью исключали бы вредное действие на живые организмы. Это не исключает поиска оптимальных комбинаций известных полимеров для решения определенных задач лечения и диагностики.

На стадиях проектирования и разработки изделий из полимерных материалов особое значение приобретает всесторонний материаловедческий анализ. Важна токсикологическая оценка полимерных материалов, применяемых в медицине в условиях

непосредственного контакта с живым организмом [5]. В процессе переработки даже химически стойких полимеров они часто подвергаются воздействию температур, близких или превосходящих начальные температуры разложения этих полимеров. Продукты термической или термоокислительной деструкции могут присутствовать в материале в сорбированном виде и оказывать собственное токсическое действие. Кроме того, при проектировании модели изделия следует учитывать возможность проявления так называемого бластомогенного действия биоинертных полимеров (часто приводящего к образованию злокачественных опухолей), которое также связано не с химической природой полимера, а в первую очередь с длительным механическим раздражением стенок соединительно-тканной капсулы, возникающей вокруг имплантированного материала, и нарушением нормального обмена в ней [6].

К санитарно-химическим исследованиям относятся:

- выявление токсикологической опасности полимерных материалов на основании качественного и количественного определения состава выделяемых ими низкомолекулярных продуктов;

- изучение закономерностей миграции примесей из полимеров в зависимости от их химической природы и сред живого организма;

- исследование процессов метаболизма, изменений функциональных систем организма, путей выведения из него продуктов биодеструкции.

Прогрессивным направлением является разработка биоразрушаемых материалов медицинского назначения с регулируемым сроком жизнедеятельности [6]. Для таких материалов оптимальным является сочетание (1) биосовместимости в начальный период контакта с тканями и/или в срок, достаточный для обеспечения восстановления тканей, и (2) постепенной биодegradуемости в последующие периоды вплоть до исчерпания изделием своей функции. В этом случае не приходится проводить повторную операцию снятия швов или извлечения из организма инородных (неприжившихся) объектов. Изделия из таких материалов по истечении эксплуатационного периода должны растворяться в биологических средах организма, подвергаясь биодеструкции по следующим основным механизмам: гидролиз с образованием низкомолекулярных осколков и мономерных продуктов; каталитиче-

ский гидролиз под влиянием ферментов; фагоцитарное разрушение (защитная клеточная реакция организма на инородное тело). В реальных условиях скорость биодеструкции обусловлена совокупным воздействием указанных факторов. Эти материалы могут применяться для производства инновационных шовных материалов или временных имплантатов.

Несомненно, в сфере применения полимерных материалов в медицине имеются нерешенные вопросы. Предпочтительным является получение полимеров медицинского назначения методами полимеризации, а не поликонденсации, поскольку в последнем случае неизбежно образование побочных низкомолекулярных продуктов, что требует проведения дополнительной очистки конечных продуктов. Следует учитывать, что продукты биодеструкции всегда контактируют со следовыми количествами присутствующих в полимерах (и особенно композитах) остаточных мономеров и добавок (пластификаторов, стабилизаторов, красителей, наполнителей, эмульгаторов, инициаторов и др.). Кроме того, существует естественная биологическая несовместимость тканей индивидуальных живых организмов и синтетических материалов, из-за чего нередки случаи отторжения организмом медицинских изделий из полимеров. Можно прогнозировать, что усилия исследователей в ближайшем будущем будут направлены на разработку принципов и методов повышения биосовместимости полимерных материалов, в том числе за счет создания новых рецептур на базе биополимеров и функциональных модификаторов.

2. Краткая характеристика основных полимеров для изделий медицинского назначения. Целлюлоза – один из самых распространенных природных полимеров. Из целлюлозных волокон получают малосминаемые ткани, ионообменные, негорючие, гемостатические и бактерицидные материалы. Гидратцеллюлозные (вискозное и медноаммиачное волокно) и эфиrhoцеллюлозные материалы (ацетатное и триацетатное волокно), пленки (целлофан) и микрoкpисталлическую целлюлозу применяют при изготовлении лекарственных препаратов, сорбентов в аналитической и препаративной хроматографии, полупроницаемых мембран для гемодиализаторов и др.

Применение в медицине синтетического каучука ограничено из-за более низких по сравнению с натуральным каучуком са-

нитарно-гигиенических характеристик. Для натурального каучука характерны нетоксичность и высокая эластичность, что обеспечивало его широкое применение в медицине до последней четверти XX века [7]. В последние годы каучук утрачивает доминирующее положение в производстве медицинских товаров. Основная причина – усиливающаяся тенденция к переходу на изделия одноразового применения (катетеры, зонды, трубки для переливания крови и т.д.) из технологически более удобных синтетических полимеров: полиэтилена высокого давления, сополимеров этилена с винилацетатом, полиамидов, поливинилхлорида и других термопластичных полимеров, а также терморезистивных полиорганосилоксанов.

Среди полиэтиленов особое место занимает сверхвысокомолекулярный полиэтилен, по комплексу свойств являющийся одним из оптимальных материалов для вкладышей чашек эндопротезов суставов [8]. Полиэтилены безвредны с экологической точки зрения, так как из них не выделяются в окружающую среду опасные для здоровья человека вещества. Их применяют для изготовления упаковочных и липких пленок, катетеров, дренажных и ирригационных устройств, опорных пластин для полупроницаемых мембран в гемодиализаторах и гемооксигенаторах; соединительных элементов; шприц-тюбиков, капельниц, лабораторной посуды. Медицинские изделия из полиэтиленов стерилизуют в заводских условиях ионизирующими излучениями и оксидом этилена. В клиниках, согласно Приказу МЗ РБ № 165 от 25.11.2002 г., их обеззараживание проводят дезинфицирующими растворами. Полипропилен в медицине применяется для изготовления одноразовых шприцов, деталей и узлов аппаратуры для гемодиализа и оксигенизации, упаковочных пленок, протезов сосудов и др. [9].

Из полистирола и его сополимеров изготавливают лабораторную посуду, корпусные и другие конструкционные элементы приборов и аппаратов, шприцы одноразового применения, детали медицинских инструментов [10].

Поливинилхлорид применяется в медицине в качестве материала для катетеров, зондов, бужей, дренажных устройств, систем забора и переливания крови, кровепроводящих магистралей и др. Ранее поливинилхлорид рассматривали как нетоксичный полимер, однако в последнее время указывается на возможность наличия в

нем вредных примесей, способных накапливаться в организме, поэтому его часто заменяют полиорганосилоксанами [10].

Практическое применение в медицине нашел полимер с торговой маркой «Фторопласт-4». Потребительские свойства фторопласта-4 медицинского назначения определяются его высокой химической стойкостью и биологической инертностью. В этом он превзошел все остальные металлические и неметаллические материалы, применяемые в медицине [11]. Недостатком фторопластов является низкая радиационная стойкость. В то же время фторопласт-4 является одним из лучших диэлектриков, обладает исключительно низким коэффициентом трения и высокой термостойкостью. Из него изготавливают сердечно-сосудистые катетеры, интравензные канюли, детали и узлы аппаратуры для внепочечного очищения крови, вспомогательного кровообращения, лабораторную посуду, предметы ухода за больными, искусственные кровеносные сосуды, ленты для пластики связок и сухожилий и т.п.

Синтетические алифатические полиамиды как конструкционные материалы обладают ценными свойствами: низким коэффициентом трения, высоким сопротивлением истиранию, прочностью. Сорбируют воду и спирты, пластифицируются ими и набухая. В медицине капрон и нейлон применяются для изготовления имплантатов, деталей и узлов медицинских приборов и аппаратов, лабораторной посуды, оправ для очков, канюлей переходных, нитей хирургически [10].

Изделия из пентапласта выдерживают 50 циклов стерилизации сухим воздухом, 400 циклов при температуре 120–134 °С и стойки к большинству дезинфицирующих средств. Из пентапласта изготавливают шприцы, детали и узлы ингаляторов, корпусные элементы для датчиков прямого замера давления крови, лабораторную посуду (колбы, пипетки, переходники и др.) [10].

Свойства полиэтилентерефталата – токсикологическая инертность, устойчивость к воздействию микроорганизмов, низкая проницаемость для кислорода и азота, хорошая влажностойкость [12]. Волокна из полиэтилентерефталата являются основой для изготовления протезов кровеносных сосудов, где важнейшей характеристикой является пористость боковой стенки сосуда. Наличие пор в стенке позволяет естественным тканям кровеносных сосудов прорасти в них, тем самым обеспечивая вживление протеза. Биологиче-

ская пористость оценивается количеством крови, проходящей через единицу боковой поверхности протеза в минуту. Протезы из полиэфирных волокон вот уже более 20 лет с успехом используются для замены пораженных участков сосудистой системы. Материал применяется для получения блистерной упаковки для инструментов, хирургической нити, синтетических кровеносных сосудов, имплантатов [10].

Из акриловых полимеров наибольшее применение в медицине нашел полиметилметакрилат (оргстекло или плексиглас) – для оптических систем эндоскопов, конструктивных элементов медицинских приборов, очковых и контактных линз, капельниц к системам для переливания крови, протезов, емкостей для консервации, искусственных челюстей, зубов и пломб [10].

Поликарбонат характеризуется малой токсичностью и возможностью многократной стерилизации паром под давлением при температуре 132 °С. Применяется для получения шприцов многократного использования, деталей и узлов медицинских приборов и аппаратов, лабораторной посуды, протезно-ортопедических изделий. Однако после годичного цикла стерилизации физико-механические свойства изделий из поликарбоната значительно ухудшаются.

Свойства полиуретанов определяются высокой механической прочностью, обусловленной регулярностью структуры макромолекул и ввиду этого сильным межмолекулярным взаимодействием [13]. В медицине полиуретаны применяются в качестве материала для изготовления деталей и узлов к аппаратуре экстракорпорального кровообращения, внутриартериальных баллонных катетеров [12].

Полиорганосилоксаны [14] отличаются физиологической инертностью, они не имеют запаха и вкуса, не поддерживают рост бактерий, не травмируют живые ткани и обладают непревзойденными свойствами по проницаемости по отношению к кислороду и углекислому газу. В настоящее время полиорганосилоксаны быстро вытесняют не только натуральный каучук, но и другие полимеры. Используются для изготовления имплантатов, деталей искусственных клапанов сердца, мембран оксигенаторов, урологических катетеров, деталей шприцев, катетеров, трубок, деталей и узлов медицинских приборов и аппаратов и т.д. Важнейшим представителем этого класса полимеров является полидиметилсилоксан (силиконовый каучук) [10]. Полисилоксаны (например, трифторпропилен-

метилполисилоксан) и силиконовые резины на их основе широко используются для создания медицинских изделий, контактирующих с кровью, элементов искусственных клапанов сердца, мембран искусственных клапанов сердца, частей аппаратов искусственного кровообращения и искусственной почки. Жидкие кремнийорганические полимеры (силиконовые масла) обладают еще одним чрезвычайно перспективным свойством: как и некоторые фторсодержащие олигомеры и полимеры, они способны растворять и удерживать до 20 % кислорода. Это свойство легло в основу их использования в качестве новых перспективных плазмозаменителей и «дыхательных жидкостей», которые перспективны для использования в аппаратах искусственного кровообращения.

Полилактиды в настоящее время считаются одними из самых перспективных биodeградируемых полимеров, поскольку сравнительно быстро разлагаются на углекислый газ и воду. Главное преимущество полилактидов – возможность переработки всеми способами, применяемыми для переработки термопластов [15]. Широкое их применение ограничивается высокой стоимостью. Для улучшения свойств полилактидов (жесткость, проницаемость, термостабильность) используется их сополимеризация, например, с производными стирола и полиэтиленоксида.

Поликапролактон имеет хорошие реологические и вязкоупругие свойства и является биосовместимым и биodeградируемым, хотя полное его разложение может занять до двух лет. Выраженная гидрофобность поликапролактона затрудняет адгезию и пролиферацию клеточных элементов на поверхности тканеинженерных конструкций. Однако универсальность поликапролактона заключается в том, что его можно модифицировать сополимеризацией или совмещать с другими веществами с сохранением комплекса основных свойств. Поликапролактон хорошо совместим с природными полимерами (крахмал, гидроксипатит, хитозан), синтетическими полимерами (полиэтиленгликоль, полиуретаны, оксазолины, полиэтиленоксид, поливиниловый спирт, полилактиды) и гликолевой кислотой [15]. Применяется в качестве экологически чистой биоразлагаемой упаковки, одноразовой посуды, средств личной гигиены, хирургических нитей, швов, гидрогелей, костных винтов, каркасов, имплантатов для заместительной хирургии, а также в системах доставки лекарств. Мо-

жет быть применен в виде микросфер, микрокапсул, наночастиц [16]. Изделия из полилактида и поликапролактона могут быть получены методом 3D-печати.

Полиэфируретаны обладают хорошей тромборезистентностью и применяются для изготовления изделий, кратковременно контактирующих с кровью. Ионообменные смолы используются для восстановления кислотно-щелочного баланса организма. Есть данные о положительных результатах применения ионообменных смол для лечения сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваний, печеночной и почечной недостаточности, сахарного диабета.

3. Наноматериаловедение в медицине. В последнее десятилетие бурно развивается наноматериаловедение медицинской направленности [17]. От создания нового лекарства до его применения в практической медицине проходит порядка 5–10 лет. В связи с этим лекарственные средства на основе нанотехнологий имеют в большей степени статус перспективных проектов. В то же время возможности нанотехнологий в медицине колоссальны. Использование наночастиц требуемой структуры и химического состава, соизмеримых с некоторыми макромолекулами биополимеров (белки или нуклеиновые кислоты), будет обеспечивать создание уникальных условий для применения разных методов лечения – от зашивания операционных надрезов до диагностики инфекционных заболеваний и лечения опухолей. Один из наиболее привлекательных вариантов применения наночастиц – это создание сенсоров (устройств, способных реагировать на изменения среды, появление частиц какого-то определенного вещества, изменение концентрации веществ). Существует множество проектов по созданию сверхчувствительных наносенсоров, которые способны фиксировать объекты размером с молекулу даже при самых малых концентрациях, что особенно ценно для ранней диагностики заболеваний. Другим важным направлением является решение проблемы адресной доставки наночастицами лекарственных веществ к органам-мишеням. Например, куркумин, обладающий противоопухолевым действием, плохо растворим в воде, но обойти это ограничение позволяет «контейнер» из наночастиц, причем последние служат не только «транспортёром» лекарственных средств, но и защитным каркасом для них. На основе нанотехнологий получены новые шовные материалы, например, полилак-

татное полотно, способное без клея прикрепляться к краям ранения или хирургического надреза и закрывающее его от внешней среды, препятствуя заражению и улучшая заживление. Этот материал способен со временем разлагаться ферментами организма, поэтому шовные нити не требуется снимать.

4. Полимерные материалы в лучевой терапии. Одним из трех основных методов лечения онкологических заболеваний является лучевая терапия (ЛТ) [18]. Это – метод лечения с использованием ионизирующего излучения, при котором происходит передача его энергии в ткани человека, делящаяся доли секунды и приводящая к биохимическим, морфологическим и функциональным изменениям в клетках и тканях. В настоящее время не менее 50 % онкологических пациентов нуждаются в проведении лучевой терапии на том или ином этапе лечения. В условиях конформной ЛТ подводимые к опухоли высокие дозы излучения, наличие расположенных рядом критических органов и структур, длительность курса ЛТ (часто 6–8 недель) требуют точного повторения положения пациента во время каждого сеанса терапии. Для этой цели используются фиксирующие приспособления: термопластичные пластиковые маски, вакуумные матрацы, принимающие формы тела больного, а также подставки под верхние и нижние конечности и шею, на которых пациент проходит все этапы подготовки и сеансы ЛТ. Качественная фиксация, обеспечивающая точность и воспроизводимость укладки пациента, позволяет более точно и равномерно облучить опухоль, уменьшив отступ от клинического объема мишени, уменьшить нецелевую дозу облучения для окружающих тканей и критических органов, снизить частоту и выраженность ранних и поздних лучевых повреждений [19].

Для получения фиксирующих приспособлений используют термопластичные полимеры. В 1971 г. в Воронежском филиале Всесоюзного НИИ синтетического каучука разработан термоформуемый материал медицинского назначения «поливик», который представляет собой композицию на основе полиизопреновых каучуков (транс-1,4 полиизопрена), размягчающуюся при повышении температуры в пределах 60–70 °С (что позволяет не травмировать кожные покровы пациента) и вновь отвердевавшую при охлаждении. Для фиксации пациентов в ЛТ широко применяются термопластичные маски для головы и шеи,

грудной клетки и молочной железы, малого таза. Основные характеристики фиксирующих масок из термопластичных полимеров – температура размягчения в водяной или сухой бане 65-72 °С, время размягчения и затвердевания 3-5 минут, минимальная усадка готовой маски в процессе затвердевания, минимальная адгезия маски к коже, прочность маски и стабильность ее формы на всем протяжении лечения (до 8 недель), радиопрозрачность маски, «память формы», что позволяет использовать маски несколько раз. Популярен термопласт бельгийской фирмы «Orfit» Aquaplast RT™, при изготовлении которого смесь основного ингредиента (полимер с температурой формования ниже 100 °С) с пенообразователем подвергается многократной обработке экструзией в двухшнековом экструдере при заданных температурно-временных режимах. Лист материала фирмы «Orfit» разогревают в сухой или влажной среде до 60-70 °С, после чего им можно обтянуть и отмоделить практически любой сегмент тела. Материал немецкой фирмы «КОВ» содержит термопластичный полимер (полиэфиры, их сополимеры, поливинилацетат, его сополимер с этиленом и полиолефины с температурой размягчения 50-90 °С) и, по меньшей мере, один слой нетканого материала в виде полотна. Однако в Беларуси подобные материалы не производятся, а импортные обладают высокой стоимостью.

5. Полимерные клеи. В хирургии широко применяются клеевые герметики и адгезивы для закрытия ран и наложения швов [20]. К основным требованиям, предъявляемым к медицинским адгезивам, относятся способность прочно удерживать соединение поверхностей ткани, быть достаточно пористым и эластичным, аустерильным или легко стерилизоваться без потери свойств, не вызывать сильной тканевой реакции, не быть токсичным, не обладать аллергическим и канцерогенным действием, рассасываться и выводиться из организма по мере естественного срастания тканей и не препятствовать этому срастанию.

Наиболее распространенными медицинскими адгезивами (в частности, для полостной хирургии) являются клеевые композиции, содержащие фибриноген, получаемый из плазмы крови крупного рогатого скота, а также цианакрилатные клеи. Известен получаемый из бычьей сыворотки тканевый фибриновый клей, который обладает хорошим гемостатическим эффек-

том, совместим с биологической тканью, нетоксичен, способствует быстрому заживанию ран и росту ткани. Недостатки: относительно невысокая адгезивно-когезионная прочность, сложность применения (состоит из нескольких компонентов, которые наносятся последовательно с помощью специальных устройств), сложность приготовления состава и его высокая стоимость.

Заключение

Развитие методов синтеза и модификации полимерных материалов, взаимопроникновение идей и методов химии, биологии и медицины позволяют решать ряд важных задач практической медицины. Предстоит еще много сделать в плане развития новых подходов в полимерном материаловедении с целью совершенствования полимерных материалов и композитов медицинского назначения, особенно по трём ведущим позициям: в части импортозамещения, соблюдения заданного уровня физико-химических свойств и обеспечения регулируемого биоразложения. Одновременно с этим требуется вести систематизацию организационно-технических мероприятий с целью своевременного внедрения полимерных материалов и композитов в медицинскую практику, что будет способствовать повышению общего уровня качества и эффективности лечебного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канюков ВН, Стрекаловская АД, Килькинов ВИ, Базарова НВ. *Материалы для современной медицины*. Оренбург, РФ: ГОУ ОГУ; 2004. 113 с.
2. Николаев ВИ. Трибология искусственных суставов. *Проблемы Здоровья и Экологии*. 2005; 4(6):123-31.
3. Ганин ВП, Морозов ВВ, Жданов АВ. Биотехнические и медико-биологические аспекты разработки имплантируемых систем пульсового типа обхода левого желудочка сердца. Владимир, РФ: Изд-во Владимирского гос. ун-та; 2007. 124 с.
4. Безруков ВМ, Григорьянц ЛА, Рабухина НА, Бадалян ВА. *Амбулаторная хирургическая стоматология современные методы*. 2-е изд. Москва, РФ: Медицинское информационное агентство; 2004. 112 с.
5. Шефтель ВО, Дышиневиц НЕ, Сова РЕ. *Токсикология полимерных материалов*. Москва, СССР: Издание «Здоровье»; 1988. 216 с.
6. *Материалы для медицины, клеточной и тканевой инженерии: электронный учебно-методический комплекс*. [Электронный ресурс] Красноярск, РФ: Сибирский федеральный университет; 2009:156-165 [Дата обращения: 2019 Май 11]. Available from http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1324/u_manual.pdf

7. Матвеева ЛЮ. Из истории создания синтетического каучука. *Молодой Ученый*. 2014;14.1:1-3.
8. Pinchuk LS, Nikolaev VI, Tsvetkova EA, Goldade VA. Tribology and biophysics of artificial joints. London, Amsterdam; Elsevier, 2006. 250 p.
9. Уайт ДжЛ, Чой ДД. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины: пер. с англ. Санкт-Петербург, РФ: Профессия; 2007. 250 с.
10. Васнецова ОА. Медицинское и фармацевтическое товароведение: 3-е изд., перераб. и доп. Москва, РФ: Авторская Академия; 2016. 424 с.
11. Логинова АВ, Марцияш ДА. Получение волокнистого политетрафторэтилена. Наука в современном мире: вопросы теории и практики: материалы Междунар. (заочной) науч.-практ. конференции. София, Болгария: Научно-издательский центр «Мир науки»; 2018; С. 28-31.
12. Карницкий ВИ, Микитаев ДК. Получение и переработка полиэтилентерефталата. Москва, РФ: Издательство РХТУ им. Д.И. Менделеева; 2015. 282 с.
13. Зоненшайн М. Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение: пер. с англ. Санкт-Петербург: ЦОП, Профессия; 2018. 576 с.
14. Штильман МИ. Полимеры медико-биологического назначения. Москва, РФ: ИКЦ, Академкнига; 2006. 400 с.
15. Бессонова ВА. Сложные полиэфиры: полилактид и поликапралактон. *Современные Научные Исследования и Инновации*. 2017;1(6a):34-36.
16. Woodruff MA, Hutmacher DW. The return of a forgotten polymer – Polycaprolactone in the 21st century. *Progress in Polymer Science*. 2010; 35(10):1217-56.
17. Герасин ВА, Антипов ЕМ, Карбушев ВВ, Куличихин ВГ, Карпачева ГП, Тальрозе РВ, Кудрявцев ЯВ. Новые подходы к созданию гибридных полимерных наноконструкций: от конструкционных материалов к высокотехнологичным применениям. *Успехи Химии*. 2013;82(4):303-32.
18. Залудский ИВ. Онкология: учеб. пособие. Минск, РБ: Высшая школа; 2007. 703 с.
19. Белова ВП, Глеков ИВ, Григоренко ВА, Левченко МВ, Сусулева НА, Яркина АВ. Конформная лучевая терапия в детской онкологии. *Онкопедиатрия*. 2015;2(1):54-60.
20. Щудло НА, Щудло ММ, Сбродова ЛИ. Применение тканевых адгезивов и герметиков в микрососудистой хирургии. *Научное Обозрение*. 2016;4:25-30.
- matologiya sovremennyye metody. 2-ye izd. Moskva, RF: Meditsinskoye informatsionnoye agentstvo; 2004. 112 p. (in Russ.)
5. Sheftel' VO, Dyshinevich NE, Sova RE. Toksikologiya polimernykh materialov. Moskva, SSSR: Izdaniye «Zdorov'ye»; 1988. 216 p. (in Russ.)
6. Materialy dlya meditsiny, kletchnoy i tkanevoy inzhenerii: elektronnyy uchebno-metodicheskiy kompleks. [Elektronnyy resurs] Krasnoyarsk, RF: Sibirskiy federal'nyy universitet; 2009:156-165 [Data obrashcheniya: 2019 May 15]. Available from http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1324/u_manual.pdf (in Russ.)
7. Matveyeva LYu. Iz istorii sozdaniya sinteticheskogo kauchuka. *Molodoy Uchenyy*. 2014;14.1:1-3. (in Russ.)
8. Pinchuk LS, Nikolaev VI, Tsvetkova EA, Goldade VA. Tribology and biophysics of artificial joints. London, Amsterdam; Elsevier, 2006. 250 p.
9. Uayt DzhL, Choy DD. Polietilen, polipropilen i drugie poliolefiny: per. s angl. Sankt-Peterburg, RF: Professiya; 2007. 250 p.
10. Vasnetsova OA. Meditsinskoye i farmatsevticheskoye tovarovedeniye: 3-ye izd., pererab. i dop. Moskva, RF: Avtorskaya Akademiya; 2016. 424 p. (in Russ.).
11. Loginova AV, Martsiyash DA. Polucheniye voloknistogo politetraforetilena. Nauka v sovremennom mire: voprosy teorii i praktiki: mater. Mezhdunar. (zaochnoy) nauch.-prakt. konf. Sofiya, Bolgariya: Nauchno-izdatel'skiy tsentr «Mir nauki»; 2018; P. 28-31. (in Russ.)
12. Karnitskiy VI, Mikitayev DK. Polucheniye i pererabotka polietilenterefalata. Moskva, RF: Izdatel'stvo RKHTU im. D.I. Mendeleyeva; 2015. 282 p. (in Russ.)
13. Zonnenshayn M. Poliuretany. Sostav, svoystva, proizvodstvo, primeniye: per. s angl. Sankt-Peterburg: TSOP, Professiya; 2018. 576 p. (in Russ.)
14. Shtil'man MI. Polimery mediko-biologicheskogo naznacheniya. Moskva, RF: IKTS, Akademkniga; 2006. 400 p. (in Russ.)
15. Bessonova VA. Slozhnyye poliefiry: polilaktid i polikapralakton. *Sovremennyye Nauchnyye Issledovaniya i Innovatsii*. 2017;1(6a):34-36. (in Russ.)
16. Woodruff MA, Hutmacher DW. The return of a forgotten polymer – Polycaprolactone in the 21st century. *Progress in Polymer Science*. 2010; 35(10):1217-56.
17. Gerasin VA, Antipov EM, Karbushev VV, Kulichikhin VG, Karpacheva GP, Tal'roze RV, Kudryavtsev AV. Novyye podkhody k sozdaniyu gibridnykh polimernykh nanokompozitov: ot konstruksionnykh materialov k vysokotekhnologichnym primene-niyem. *Uspekhi Khimii*. 2013;82(4):303-32. (in Russ.)
18. Zalutskiy IV. Onkologiya: ucheb. posobiye. Minsk, RB: Vysheyshaya shkola; 2007. 703 p. (in Russ.)
19. Belova VP, Glekov IV, Grigorenko VA, Levchenko MV, Susuleva NA, Yarkina AV. Konformnaya luchevaya terapiya v detskoj onkologii. *Onkopediatriya*. 2015;2(1):54-60. (in Russ.)
20. Shchudlo NA, Shchudlo MM, Cbrodova LI. Primeneniye tkanevykh adgezivov i germetikov v mikrososudistoy khirurgii. *Nauchnoye Obozreniye. Referativnyy Zhurnal*. 2016;4:25-30. (in Russ.)

REFERENCES

1. Kanyukov VN, Strekalovskaya AD, Kil'kinov VI, Bazarova NV. Materialy dlya sovremennoy meditsiny: ucheb. posobiye. Orenburg, RF: GOU OGU; 2004. 113 p. (in Russ.)
2. Nikolayev VI. Tribologiya iskusstvennykh sustavov. *Problemy Zdorov'ya i ekologii*. 2005; 4(6):123-31. (in Russ.)
3. Ganin VP, Morozov VV, Zhdanov AV. Biotekhnicheskiye i mediko-biologicheskiye aspekty razrabotki implantiruyemykh sistem pul'sovogo tipa obkhoda levogo zheludochka serdtsa: monografiya. Vladimir, RF: Izdvo Vladimirovskogo gos. un-ta; 2007. 124 p. (in Russ.)
4. Bezrukov VM, Grigor'yants LA, Rabukhina NA, Badalyan VA. Ambulatoornaya khirurgicheskaya sto-

Поступила 12.05.2020
Received 12.05.2020

Принята в печать 24.05.2020
Accepted 24.05.2020

Сведения об авторах:

Лось Дмитрий Михайлович – главный врач У «Гомельский областной клинический онкологический диспансер»; <https://orcid.org/0000-0002-4714-4592>

Шаповалов Виктор Михайлович – д.т.н., профессор, заведующий отделом №1 ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»; e-mail: v.shapovalov@tut.by; <https://orcid.org/0000-0002-8040-1837>

Зотов Сергей Валентинович – к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела №1 ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси»; <https://orcid.org/0000-0002-6509-7398>

Автор, ответственный за переписку:

Шаповалов Виктор Михайлович – e-mail: v.shapovalov@tut.by

Information about authors:

Dmitry M. Los' – Head physician of Gomel Regional Clinical Oncology Center; <https://orcid.org/0000-0002-4714-4592>

Victor M. Shapovalov – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department No.1 of the SSI «Metal-Polymer Research Institute named after V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus»; e-mail: v.shapovalov@tut.by; <https://orcid.org/0000-0002-8040-1837>

Sergei V. Zotov – Candidate of Engineering Sciences, Leading researcher at Department No.1 of the SSI «V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus»; <https://orcid.org/0000-0002-6509-7398>

Corresponding author:

Victor M. Shapovalov – e-mail: v.shapovalov@tut.by