

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)
Экономический факультет
Кафедра экономики и управления инновационными системами

КУРСОВАЯ РАБОТА

**ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИЙ В МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКЕ:
БИОПРИНТИНГ**

Работу выполнил _____ Я.А. Лянной
(подпись)

Направление подготовки _____ 27.03.05 Инноватика

Направленность (профиль) Управление инновационными проектами и
трансфер технологий

Научный руководитель
канд. экон. наук, доц. _____ Н.Н. Аведисян
(подпись)

Нормоконтролер
канд. экон. наук, доц. _____ Н.Н. Аведисян
(подпись)

Краснодар
2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Теоретические аспекты биопринтигна	5
1.1 Определение биопринтинга и его история	5
1.2 Принцип работы биопринтеров	10
1.3 Применение биопринтинга в медицине	16
2 Анализ применения биопринтинга в медицинской технике	25
2.1 Клинические случаи успешного применения биопечати	25
2.2 Обзор и анализ мирового рынка биопринтинга.....	27
2.3 Оценка текущего состояния биопринтинга в РФ	29
3 Перспективы развития биопринтинга на территории РФ.....	31
Заключение	33
Список использованных источников	35

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире медицины технологические инновации играют ключевую роль в улучшение качества жизни пациентов, оптимизации процессов диагностики и лечения, а также развитии медицинской науки в целом. Одна из самых захватывающих и перспективных инноваций последних лет стал биопринтинг – технология трехмерной печати биологических материалов.

Биопринтинг – это о создании органов и тканей на замену повреждённым или утраченным. Для печати используются специальные биочернила и биобумага. Их создают из жизнеспособных клеток, биоматериала и биологических молекул. Главное, что это никак не вредит человеку, все функции и жизнеспособность клеток сохраняется. То, что раньше казалось сказкой и вымыслом, стало явью. Человечество сделало большой прорыв в медицине.

Актуальность темы исследования. Биопринтинг является новым инновационным методом производства тканей и органов и обладает огромным потенциалом для улучшения качества жизни пациентов и сокращения сроков ожидания трансплантации.

В области применения биопринтинга в медицине достигнут значительный прогресс, однако существует множество нерешенных вопросов и проблем, требующих дальнейших исследований и разработок. Также достижения в области биопечати способны обеспечить значительный прогресс в лечении различных заболеваний, увеличить возможности трансплантации, а также улучшить диагностику и лечение пациентов.

Таким образом биопринтинг – это великий технологический прорыв в медицине, который имеет огромный потенциал для улучшения состояния людей и развития в целом.

Объект исследования – биопринтинг в медицинской технике.

Предмет исследования – применение биопринтинга в медицине.

Целью работы является исследование перспектив развития биопринтинга на территории Российской Федерации.

Реализация данной цели исследования обусловила необходимость решения следующих задач:

1. изучить понятие биопринтинга и описать его историю;
2. исследовать принцип работы биоприинтеров и биоматериалы для него;
3. проанализировать применение биопринтинга в медицине;
4. изучить клинические случаи успешного применения биопринтинга;
5. провести анализ мирового рынка биопринтинга и оценить текущее состояние биопринтинга;
6. оценить перспективы развития биопринтинга на территории РФ.

В процессе исследования использовались следующие методы: анализ, сравнение, описание, сценарный метод прогнозирования экономических явлений.

Данная работа состоит из введения, трех разделов, заключения и списка использованных источников.

1 Теоретические аспекты биопринтига

1.1 Определение биопринтинга и его история

Все мы знаем, как выглядит обычный принтер. Это устройство компьютера, осуществляющая печать в двухмерном пространстве, передавая изображение на различные материалы, такие как бумага или полимерная плёнка. Также принтеры делятся по конструктивному устройству и принципу формирования изображения на принтеры ударного типа и безударного. В ударный тип входят литерные принтеры, которые используют технологию пишущих машинок, где нанесение опечатка осуществляется ударом литерой по бумаге, через красящую ленту и матричные, создают изображение на бумаге из маленьких точек [1]. В безударный тип входят: струйные, фломастерные, лазерные, термопринтеры, твёрдочернильные, сублимационные, фотонные, офсетные и 3D-принтеры. Но из всех этих типов, выделяется 3D-принтер, о котором буду рассказывать в данной работе.

3D-принтеры претерпевают технологию двухмерного пространства, поскольку им доступны оси X, Y и Z. Технология цифрового производства, как многие эксперты называют её 3D-печатью, создаёт объекты из геометрического представления посредством добавления различных материалов. Вообще 3D-принтер нужен для того, чтобы печатать предметы аналогов, которых нет на прилавках магазина. Его размер можно сравнить со старым кинескопным телевизором. Также как и в обычном принтере, в 3D-принтере есть свои типы технологий, применяемые для создания слоёв, такие как экструзия, фотополимеризация, формирование слоя на выровненном слое порошка, подача проволоочного материала, ламинирование, точечная подача порошка, струйная печать. Все эти типы по-своему хороши и делают прекрасные продукты. Технология 3D-печати – это довольно быстрая инновационная технология [3]. В настоящее время 3D-печать используется во всём мире в многих сферах

деятельности человека, таких как сельское хозяйство, машиностроение, авиационной промышленности, локомотивостроении и многих других.

Эта технология также нашла применение в медицине: имплантаты, протезы и инструментарий – все это может быть создано при помощи 3D-принтера [2]. Однако ученые по всему миру придумали использовать живые клетки, что открыло путь к развитию тканевой инженерии. Тканевая инженерия – это про создание органов и тканей человека в лаборатории. Данный метод, используется как замена трансплантации донорских органов. Так как, с каждым годом на них растёт спрос, обычное донорство просто не справляется и не может обеспечить всех нуждающихся пациентов органами [3]. Также, благодаря тканевой инженерии снизилось количество экспериментов над животными. Так как что такое биопринтинг и где он зародился.

Наши органы прошли долгий путь чтобы стать теми, кем они являются сегодня. Каждый орган имеет своё строение и анатомию. Но, по сути, наш организм – это биомашина [5]. Его успех зависит от исправности наших органов. Если все органы работают слажено и качественно функционируют, то всё хорошо. Но бывает такое, что какой-то орган выходит из строя, начинает болеть или разрушаться, а исправить его уже никак, и нужна замена старого органа на новый. Но найти новый довольно нелегко, а если даже найти, то процент того, что он приживётся не большой, и приходится пить фармацевтические препараты, что в дальнейшем снижает иммунитет. Но проблема эта решаема, когда есть биопринтинг.

Биопринтинг – это инновационная технология, использующая 3D-печать для создания тканеинженерных сооружений (так называемых скаффолдов), которые сохраняют жизнеспособность и функциональность клеток [6]. Один из важных терминов биопринтинга – это скаффолд. Scaffolding, если перевести с английского, то получим строительные леса, то есть, то есть это матрица, которая заполнена клетками и образует целевую ткань человеческого тела. Сама конструкция 3D-печати имитирует микроокружение, которое способствует формированию новой и определенной ткани. Как писалось ранее,

что в 3D-принтере есть свои типы технологий, так вот в биопринтинге применяется экструзия. Это технология описывается так: печать выдавливает на платформу расплавленный термопластик, он быстро застывает и слипается с другими слоями, образуя будущий объект [6]. Но в биопринтинге вместо термопластика, применяется живые клетки по коллагеновой матрице. Для этой экструзии, требуются три составляющие: биопринтер, клеточный материал пациента и вспомогательные материалы [1]. Пройдемся по каждому, биопринтер – устройство, которое позволит послойно создавать трехмерные биологические объекты, в соответствии с характеристиками, указанными в компьютерной модели. Клеточный материал пациента, берется у самого пациента, его живые клетки. Ну и вспомогательные материалы природного и смешанного происхождения, это основа скаффолда (строительные леса) [1].

Для медиков биопринтинг представляет собой огромный потенциал и перспективы. Новые методы лечения, трансплантация органов, регенеративная медицина и тканевая инженерия – все это области, в которых биопринтинг играет важную роль. Биопринтинг можно использовать для разработки индивидуальных решений для каждого пациента с учетом его специфических потребностей и особенностей [1]. Благодаря 3D-биопечати, сегодня можно создавать хрящи или кожу, но пока клиническое применение таких технологий в мире запрещено. Однако при достаточном финансировании всех этих исследований, через 5 – 10 лет будет возможным создавать целые органы со встроенной сосудистой сетью, например сердце или печень. Над этим уже работает российская компания «3D Bioprinting Solutions», под руководством В.А. Миронова [10].

История 3D-печати началась 80-х годах. В 1977 году Суэйнсон и Кремер запатентовали трёхмерную систему [1]. Через три года Хидео Кодама предложил способ печати, при котором на светочувствительную смолу воздействовали ультрафиолетовые лучи, но ему не удалось получить патент. Но в 1983 году Чарльз Халл положил начало 3D-печати, сделав, стереолитографию (SLA) [1]. Как показывает жизнь, в самом начале 3D-печати не получалось

создать долговечные объекты, из-за того, что материалы были не такими прочными. Поэтому её использовали в качестве моделирования определённых продуктов, которые изготовлены из обычных материалов того времени. В 1988 году был изобретён первый коммерческий принтер SLA-1, изготовителем была компания 3D-systems. Так в начале 90-х был разработан материал, состоящий из пластичной полимерной матрицы и наполнителя [2]. Он позволил делать объекты более прочными, что в дальнейшем использовалось не только для моделей. И уже в то время ученые начали рассматривать 3D-печать для создания искусственных органов, начали искать биоматериал, который можно использовать для печати. Но если вернуться назад в 1988 год, то там уже была продемонстрирована концепция биопечати. Для этого использовали 3D-принтер HP inkjet, тогда использовали технологию цитоскрибирования. Так же в этом году появился метод микропозиционирования клеток. Клетки размещаются на субстрате в определённых точках и всё это выполняется под компьютерным контролем. Они формируют двухмерный слой толщина, которого составляет одну клетку, монослой. Их можно объединить, для создания трёхмерной ткани [1].

Так прогресс продолжался и в 99-ом году, учённые под руководством Энтони Аталло, был изготовлен первый в мире искусственный орган с помощью биопечати. Они напечатали каркас человеческого мочевого пузыря и засеяли клетками пациента [8]. Так используя данный метод, спустя 10 лет у пациента не было никаких осложнений. После такого прорыва были шаги направлены в создании и других органов. И в 2002 году, была создана миниатюрная почка. В 2003 был создан метод струйной печати с использованием жизнеспособных клеток и запатентовали его спустя три года. Этот метод изобрёл Томас Боланд из университета Клемсона, это всё он создал на обычном офисном принтере. Он использовал жидкость, содержащую клетки, а бумагу на специальный субстрат. Из клеток бактерий и млекопитающих ему удалось напечатать структуру. В 2004 году биопечать изменили на ещё более новый биопринтер. Новизна его была в том, что он использовал человеческие клетки,

без создания искусственного каркаса. Спустя 5 лет появляется один из первых 3D-биопринтеров Novogen MMX [10]. Он был использован для создания биодеградируемого кровеносного сосуда, первый и без клеточного каркаса.

Наша страна тоже не отставала от всех и в 2013 году в Москве открыли лабораторию биотехнологических исследований «3D Bioprinting Solutions». В 2014 был создан отечественный биопринтер Fabion, он стал первым устройством такого типа, разработанный российскими учёными. Принтер отличался специальным программным обеспечением. В 2016 году была представлена печатающая головка для одиночных сфероидов, она автоматически позволяла подавать тканевые сфероиды. А научным руководителем этой компании стал В.А. Миронов, эксперт в области технологии печати органов и его заведующий С.В. Новосёлов, эксперт в области клеточной и молекулярной биомедицины. Цель их проекта является создание технологии биопринтинга и производства почки. Почка является одним из востребованных донорских органов человека [2].

За последние 10 лет начали задумываться о создании других органов, например, печень, сердечный клапан, сердце и тканей, таких как кровеносная сеть. Так в Израиле в 2019 году, сделали огромный прорыв в биопринтинге. Им удалось напечатать сердце, размером с кроличье с сетью кровеносных сосудов, оно полностью функционировало, сокращалось как естественные кровеносные сосуды. Это сердце имело правильную анатомическую структуру, этот прорыв дал толчок, на то, чтобы создать полностью функционирующие человеческие органы [5].

Как показывает история, основа биопринтинга была уже заложена более 20 лет назад, технология не является каким-нибудь гениальным изобретением, а результатом практик и исследований в таких научных областях как: биологии, молекулярной биологии, биологии стволовых клеток, эволюционной биологии. Тут можно привести одно из высказываний И. Ньютона: «если я и видел дальше, то лишь потому, что стоял на плечах гигантов».

Так, стало инновационным и технологически возможным создавать целый орган, снабжённый сосудистой сетью. Но всё же для создания полноценного органа, который будет отлично функционировать с организмом, нужно улучшить пост обработку ткани или органа. Однако, над этим уже работает группа В.А. Миронова из российской компании «3D Bioprinting Solutions», которая продвигается в сфере биопечати [12]. Эксперты пытаются добиться быстрого развития тканей, используя «волшебный коктейль», он состоит из определённой комбинации биомолекул, факторов роста и развития.

Технология биопечати также может сыграть важную роль в образовании и подготовке медицинских работников. Создавая высоко реалистичные модели органов и тканей, студенты и врачи могут практиковаться и развивать свои навыки, не прикасаясь к живому пациенту. Использование технологии биопечати в медицине открывает уникальные возможности для лечения пациентов, научных исследований и обучения медицинских работников. Эта технология революционизирует возможности современной медицины и открывает дверь в новую эру инноваций и развития.

1.2 Принцип работы биопринтеров

Принцип биопринтера не сильно отличается от обычного 3D-принтера, разница в материале, который печатает биопринтер. Он использует живые клетки и печатает по коллагеновой матрице. Коллаген – это белок нитевидной структуры, он используется в качестве каркаса для спец клеток [4].

Чаще всего используют 3 вида биопринтера, такие как струйный, экструзионный и лазерный.

Рассмотрим каждый из них, начнем со струйного. Рядом с печатным соплом установлен нагреватель. Это повышает температуру, и в биочерниле образуются пузырьки. Эти пузырьки наносятся на рабочую подложку в виде капель. Время облучения невелико, всего несколько

микросекунд, поэтому температура не оказывает влияния на клетки. Пьезоэлектрические струйные биопринтеры используют вибрацию вместо нагрева.

Экструзионный. Это самый распространённый вид печати. В этом процессе непрерывная струя расплавленного твердого вещества или вязкой жидкости выдавливается через отверстие (обычно сопло или шприц). Существует три типа методов экструзии: пневматические, поршневые, винтовые и эксцентриковые винтовые насосы (также известные как насосы с прогрессивной полостью). Каждый метод экструзии имеет свои преимущества и недостатки. При пневматической экструзии для выдавливания жидкой биоинъекции в осадок используется сжатый воздух [4]. Перед использованием воздух обычно стерилизуется с помощью воздушного фильтра, чтобы исключить загрязнение воздуха, проходящего через биоинъекцию. В методах экструзии с поршневым приводом используется поршень, соединенный с приводным винтом. Линейное движение поршня выталкивает материал из сопла. В методах экструзии с винтовым приводом шнек выдавливает материал за счет вращательного движения. В системах с винтовым приводом можно использовать материалы высокой вязкости и контролировать объем. В системах с эксцентриковым приводом шнека самосжимающаяся камера в экструдере позволяет более точно наносить материалы низкой или высокой вязкости.

Лазерная. Лазерную биопечать можно разделить на две большие категории: биопринтинг, основанный на технологии переноса клеток, и биопринтинг с использованием фотополимеризации. При лазерной печати с переносом клеток лазер стимулирует прикрепление энергопоглощающего материала (например, золота, титана) к биолинксу. Этот "донорный слой" испаряется под действием лазерного облучения и образует пузырьки из слоя биолинкса, осаждаемого из струи. Технология фотополимеризации использует фотоиницируемую реакцию для затвердевания чернил и перемещения лазерного луча для получения желаемого дизайна. Этого можно достичь без повреждения клеток материала, сочетая реакцию фотополимеризации с определенной частотой лазерного излучения [14].

Существуют и другие, менее распространенные методы биопечати. Капельный метод биопечати – это метод, при котором смесь клеток или гидрогелей биочернил помещается в капли и располагается в точных местах. Наиболее распространенными из этих методов являются термический и пьезоэлектрический методы нанесения капель по требованию. Этот метод биопечати часто используется в экспериментах на моделях рака легких и яичников. При термическом методе биоинъекция нагревается кратковременным сигналом, в результате чего образуются и лопаются мелкие пузырьки. При пьезоэлектрическом биопринтинге короткий ток подается на пьезоэлектрический привод для создания механических колебаний, которые выбрасывают маленькие шарики биоинъекции через сопло [14]. Важным аспектом исследования биопечати на основе капель является учет механических и тепловых напряжений, возникающих вблизи кончика сопла при выдавливании клеток биочернил.

Обычно биопринтинг делят на несколько этапов, начнём с первого. В этом этапе идёт подготовка. Здесь идет подбор материалов под тот или иной тип биопечати, создаётся 3D-модель будущего объекта. Также учитывается размер, геометрия и другие характеристики объекта. Все эти данные находятся с помощью МРТ или КТ. Такую структурную 3D-модель создают благодаря, системы автоматизированного проектирования (CAD). Далее модель сохраняют в специальном файле Standard Tessellation Language (STL). Это формат разработан специально для 3D-печати. Ну и в конце данного этапа, требуется поправить или внести поправки, из-за возможностей того или иного биопри-тера [1].

Также не стоит забывать про софт. Allevi, американская компания, лидер в сфере биопечати. Они разработали инновационную облачную платформу – Allevi Bioprint Pro. Одной из ключевых особенностей этой платформы является её доступность. Пользователи могут воспользоваться ею из любой точки планеты. Кроме того, в Allevi Bioprint Pro встроен уникальный инструмент для генерации моделей с интегрированной нарезкой [18]. Это значительно упрощает работу исследователей и экспертов, поскольку они больше не тратят

время на настройку принтера, а могут сосредоточить своё внимание и усилия на непосредственном процессе производства.

Итак, первый этап – это работа на компьютере, второй же работа с принтером, но существует несколько технологий печати, такие как: Binderjetting (BJ), тут обычный вид печати печатающая головка связующим веществом наносит на слой порошка, потом распыляется новый слой, и всё повторяется заново; Directedenergy deposition (DED), эта технология довольно интересная, ведь тут уже применяется лазер. На рабочую поверхность подают порошок с газом, материал остывает и образует готовый слой; Powderbed fusion (PBF) этот вид отличается от прошлого, только тем что, тут работа идет сразу с целым слоем, а в этом виде материал распыляется направленно; Materialextusion (ME) ну, а тут всё просто материал подаётся через сопло, где в качестве материала используют термопластик; Materialjetting (MJ) в это виде материал не отличается от предыдущего, но подаётся каплями и в конце слою обрабатывают ультрафиолетовыми лучами; Sheetlamination (SL) здесь с помощью ультразвуковой сварки, листы материала скрепляют между собой; VatPhotopolymerization (VPP) ну и в последней технологии применяется светочувствительная жидкая смола, она под действием света, лазера или ультрафиолета, становится твёрдой [1]. Ну вот теперь мы знаем все виды печати можно переходить ко второму этапу.

На втором этапе предстоит сделать дорожную карту для биопринтера. Тут будет определяться полностью вся траектория печатающей головки. Прослеживается как она будет передвигаться, по завершении одного слоя будет ли переходить на другой, не зависнет ли она, если идет процесс печати разных материалов, то происходит ли замена печатающей головки [1].

Следующий же этап является одним из важнейших. Тут происходит сама печать. И вычисляются все предыдущие этапы. Поэтому вовремя печати ставят систему видеофиксации, которая обеспечивает наблюдение за процессом создания модели. Так в пример можно привести ушную раковину, если не проследить за процессом, то вместо ушной раковины мы получим непонятную

бесформенную массу [15]. Вот поэтому этот этап является одним из важнейших этапов.

Ну и заключительный этап, тут структура напечатанного объекта становится крепче, происходит дозревание в биореакторе. Здесь формируются такие характеристики как механическая прочность, целостность и функциональные свойства. Хотелось бы пояснить, что такое биореактр. Это устройство, где все биохимические процесс проходят в контролируемых искусственных условиях. Он как инкубатор, обеспечивает окружение, которое поможет клетке нормально находиться. Такие устройства, используются давно, например для получения, вакцин и антибиотиков, а также ряда пищевых добавок. Но для тканевой инженерии биореакторы устроены гораздо сложнее, так как тут клетки должны не просто расти, но и формироваться полноценной клеткой или органом. Поэтому в биореактор добавляют специальные вещества, они стимулируют размножение тканей [1]. Для этого ещё требуется и механическое воздействие, например вибрации. Теперь мы знаем, как создается 3D-биомодель. Но из чего его делают?

Для биопечати применяется биочернила. Это тот самый материал для печати, он содержит живые клетки. Но у биочернил есть ряд требований, такие как биосовместимость, биоразлагаемость, пригодность для печати и структурная целостность для печати [18]. После центрифугирования, когда питательную сферу переворачивают, клетки могут быть в виде сфероидов. Сфероид – это четырёхугольная поверхность, полученная при вращении вокруг своей оси. Также в биопринтинге применяется натуральный биоматериал, такие как гидрогели, синтетические полимеры, альгинат, желатин, гиалуроновая кислота, полиэтиленгликоль (PEG), поликапролактон (PCL). Также добавляют наноматериалы, наночастицы серебра, наностержни золота, нанотрубки, биоактивные молекулы, белки, плазму крови [20].

Также в биопечати часто используют хитозан. Это полисахарид, его получают из моллюсков или путем брожения грибов. Этот биоматериал хорош, тем, что обладает антибактериальными свойствами, а также имеет высокую

биосовместимость. Но у него есть свой недостаток, это низкая скорость гелеобразования.

Ещё один из популярных материалов является агароза. Он также как и предыдущий материал является полисахаридом, но его получают из водорослей [22]. Из плюсов этого биоматериала, это высокая стабильность, а также нетоксичное сшивание при исследованиях. Но минусы состоят в том, что он не разлагается и имеет плохую клеточную адгезию. Это способность клеток слипаться друг с другом. И третий биоматериал, о котором хотелось бы упомянуть – это коллаген. Белок, который содержится в соединительной ткани, придает им прочность и имеет высокую биологическую значимость. Это самый распространённый белок, его недостаток в том, что для биопечати относят свойство кислоторастворимости.

Кроме того, современные научные исследования привели к разработке наиболее эффективных материалов и печатных имплантов, способных поддерживать жизнеспособность клеток. Ключевым компонентом такого импланта является полимерный каркас, содержащий гель, способствующий выживанию клеток. Для достижения этой цели ученые объединили два метода: 3D-гель-экструзионную печать и 3D-печать каркаса, используя технологию LCD. После получения структуры, она помещается в специальные условия для инкубации. Если клетки успешно выживают, начинают делиться и образовывать тканеподобную структуру, то жесткость импланта увеличивается постепенно, поскольку клетки начинают производить коллаген. В результате такая модификация делает имплант пригодным для проведения хирургических вмешательств.

Ещё есть принтеры на основе микроэкструзии. Это когда распределения идёт сразу по трем осям, что в итоге дает объемные объекты. Чаще всего к этому типу устройства подходит биопечать, можно сказать это база биопринтинга. Он умеет работать как с биосовместимыми полимерами, так и гидрогелями [21]. Главным изъяном такой печати является маленький процент

выживаемости клеток при любых вариантах подачи материала, по сравнению со струйными принтерами.

Таким образом, в этом разделе, мы узнали, как происходит процесс работы биопринтеров, какие виды и технологии бывают. Также узнали какие материалы используют для печати, виды материалов, насколько они прочные, способны ли они на функционирование и как влияют на тот или иной объект.

1.3 Применение биопринтинга в медицине

Биопринтинг – это уникальная возможность и перспектива в медицине. Такая инновационная технология полностью меняет ландшафт медицины, тем самым открывая новые горизонты в замене органов [7].

Сегодня нехватка органов является одной из самых серьезных проблем в медицине. Сотни и тысячи людей ищут своего донора и не все доживают до трансплантации. Именно здесь выручает и решает эту проблему биопринтер. Благодаря, биопечати создаются ткани и органы, которые идеально подойдут для того или иного пациента. Что позволяет не ждать людям донора, как раньше, а создать прямо сейчас, так же уменьшается риск отторжения, его практически нет, ведь орган создается исключительно из клеток пациента, который нуждается в органе.

Биопринтер оказывает услугу и в области регенеративной медицины. Регенеративная медицина формируется на стыке биологии, медицины и инженерии. Считают, что она способна коренным образом изменить способы улучшения здоровья путём восстановления, поддержания и улучшения функций органов и тканей при использовании методов терапевтического клонирования, 3D-биопринтинга и клеточной терапии [7]. Так с помощью биопринтера можно воссоздать повреждённую ткань. Например, пациент, который повредил кость, может получить новую, новые ткани, которые способны полностью восстанавливать функции и в целом, улучшат качество жизни.

Ещё одним из важных аспектов биопринтинга, это создание биологических моделей для исследований. Это позволит врачам более точно изучить болезнь, как она влияет на ткань, как реагирует, позволит тестирование тех или иных препаратов, разработать определённый тип лечения. Именно биопринтер позволит воссоздать идеальную модель, похожую на человеческую и позволит проводить эксперименты, которые ранее были невозможны.

Также биопринтинг может послужить тренировкой для врачей или студентов. Он создаст модель органа или ткани, а медики в свою очередь будут готовиться и тренироваться. Биопечать позволит создать модель органа, как у живых людей. Это поможет прокачать технику и свои навыки, при этом не нужен живой пациент.

Применение биопринтинга в медицине, открывает двери в будущее. Эта инновационная технология поможет, в лечении, в обучении и исследованиях. Благодаря, этой инновации уменьшится смертность, ведь органы будут доставлены вовремя и без каких-либо задержек, медики смогут оттачивать свои навыки не на живых людях, а на моделях, который создал биопринтер, в исследованиях можем сделать большой прорыв, можно изучить ту или иную болезнь и не бояться ошибиться, ведь перед тобой не человек и не его орган, а модель [8].

С помощью 3D-биопечати можно создать зубные протезы, кости, хрящи, кожу, кровеносные сосуды и внутренние органы, пройдемся по каждому из них.

Кости. Миллионы людей во всём мире нуждаются в костных трансплантатах. Нынешние трансплантаты предполагают использование синтетических материалов, в основе которых лежит цемент с сочетанием собственной костью пациента [9]. Но такие материалы вызывают множество ограничений, такие как отторжение, воспаление, а также проблемы с восстановлением естественного костно-хрящевого интерфейса.

Но 2014 году команда из университета Суонси разработала технологию печати, с помощью которой можно создать искусственный костный протез, у

которого форма кости, абсолютно совпадала с требуемой. Они использовали биосовместимый материал, он является долговечным и регенеративным. Точно над такими же исследованиями работали ученые из Англии.

Для того чтобы напечатать кость на биопринтере потребуется не более двух часов. Поэтому врачи её могут сделать прямо во время операции. Далее эта часть кости покрывается стволовыми клетками взрослого человека, они способны развиваться в любой другой тип клеток. Он соединяется с биочернилами принтера, состоящими из комбинации полимолочной кислоты (обеспечивающей механическую прочность кости) и альгиновой кислоты (гелеобразного вещества, обеспечивающего амортизацию для клеток). Конечный продукт имплантируется в тело и полностью исчезает примерно через три месяца, чтобы быть замененным новой костью.

Ученые надеются, что в скором времени биопечатаемые кости могут быть созданы с достаточной прочностью и надежностью, для того чтобы поддерживать сложную структуру позвоночника, также учёные рассчитывают на то, что костный материал будет улучшен для повышения его совместимости с клетками хряща.

Хрящи. В скором времени, искусственные импланты, полностью заменят человеческий хрящ, благодаря успешным экспериментам 3D-биопечати. В 2015 году исследователи из Цюриха создали технологию, которая позволяет печатать полноценные человеческие носовые импланты, буквально за 20 минут. В связи с этим ученые считают, что такая технология может быть использована для создания любых хрящевых имплантов [17].

Ученый Матти Кести описал эту технологию так: «Серьезная автомобильная авария может привести к тому, что водитель или пассажир получат сложные травмы носа. Нос можно восстановить, создав 3D-модель на компьютере. В то же время выполняется биопсия пациента, и клетки хряща удаляются из тела пострадавшего, например, из колена, пальца, уха или осколков разбитого носа. Клетки нерестятся в лаборатории и смешиваются с биополимером. Из этой

суспензии с помощью биопринтера создается модель хряща носа, которая имплантируется пациенту во время операции. В процессе биополимер используется просто как форма. Впоследствии он расщепляется собственными хрящевыми клетками организма. И через пару месяцев невозможно будет различить трансплантат и собственный носовой хрящ человека» [19].

Так как импланты выращиваются из клеток нашего организма, риск того, что организм их отторгнет меньше, чем, например у имплантов из силикона. Также преимущество биоимплантов в том, что они могут расти как обычные хрящи вместе с пациентом, это особенно важно для детей и молодых людей.

Кожа. Существуют такие виды ожогов, после которых кожа не восстанавливается полностью, для этого берут из другой части тела и используют для покрытия пораженных участков. Но иногда кожи может не хватить.

Исследователи из Медицинской школы Уэйк Форест создали и успешно испытали биопринтер. Этот принтер способен печатать клетки кожи прямо на ожоговых ранах. Сканер точно измеряет размер и глубину ожога. Эта информация отправляется на принтер, в это время он печатает кожу на ране. В отличие от обычной пересадки кожи, для выращивания достаточного количества клеток для печати требуется кусок кожи размером в одну десятую от размера ожоговой раны. Технология пока находится на стадии эксперимента, и ученые надеются сделать её более доступной в течение пяти лет.

Как уже говорилось выше, биопринтеры печатают объекты слой за слоем. Кожа хорошо подходит для такого вида технологий, ведь она представляет собой многослойный орган с множеством видов клеток. Но ученым ещё предстоит решить ряд проблем, такие как предотвращение повреждённых клеток от тепла,

который выделяет сам биопринтер. Также стоит учитывать, что кожа сложнее, чем она кажется, с нервными окончаниями, кровеносными сосудами и многими другими аспектами, которые тоже необходимо учитывать, ведь нельзя просто создать и сказать, что все работает и можно пользоваться [12].

Стоит проверить как биопринтер показывает себя, нет ли проблем, все это тестируется прежде, чем выйдет в свет.

Кровеносные сосуды. Ученые работают над тем, чтобы заменить сосуды, ведь они тоже не вечны, в нашем теле тысячи километров сосудов такие как вены, артерии и капилляры. Наши сосуды тоже не способны долго работать и на замену старым, можно создать новые, которые будут также функционировать. Ведь наши сосуды, по сути, это доставщики, они доставляют в наши органы важные элементы, чтобы те в свою очередь полноценно работали [17].

Моника Мойя – инженер-биомеханик в Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса. Он использует биопринтер для создания кровеносных сосудов. Материал, полученный с помощью биопечати, предназначен для того, чтобы крошечные кровеносные сосуды развивались самостоятельно [22].

Для всего этого требуется время, поэтому печатаются пробирки с клетками и другими материалами, которые помогают поставлять жизненно важные питательные вещества в напечатанную среду. Спустя некоторое время самособирающиеся капилляры соединяются с напечатанными на биопринтере трубками и начинают питать клетки, имитируя работу подобных структур в человеческом организме.

Внутренние органы. Ученый надеются, что через двадцать лет очереди на пересадку органов уйдут в прошлое. Поскольку органы создаются из клеток организма с учетом индивидуальных особенностей каждого пациента, они представляют себе мир, в котором любой орган можно будет напечатать всего за несколько часов и пересадить без отторжения и осложнений. Сегодня биопечать полностью функциональных, сложных органов невозможна, но исследования в этой области ведутся очень активно и успешно [17].

Мочевой пузырь. Мочевой пузырь уже давно печатают. Так команда их университета Уэйк Форест в 2013 году, взяли клетки из плохо функционирующего мочевого пузыря, культивировали их, при добавив в них питательные

вещества. Далее они напечатали трёхмерную форму и пропитали через неё культивируемые клетки. Затем поместив, в инкубатор, форма достигла нужной кондиции и её успешно пересадили в тело пациента. Также эта команда из университета Уэйк Форест создала жизнеспособные уретры.

Почка. Почка является одним из важных органов нашего тела. По статистике, только в России более 7000 человек ожидают донорской почки. Как мы уже знаем, что команда из США, это врачи и ученые, которые занимаются в области регенеративной медицины. Они были первыми кто создал органы и ткани, выращенные в лабораторных условиях, а также успешно пересажены в тело человека. Сегодня эта команда работает более чем в 30 областях нашего тела, включая почку. Их задача ускорить доступность этих методов лечения для пациентов [17].

Но не только они занимаются этим, исследователи из Австралии также работают над этим. Они сумели вырастить почку, с помощью стволовых клеток пациента, они имеют необходимые типы клеток для почек. И вот как они описывают это процесс: «Почка человека содержит до 2 миллионов эпителиальных нефронов, ответственных за фильтрацию крови. Регенерация почки требует индукции более чем 20 различных типов клеток, необходимых для выведения и регуляции рН, а также электролитного и жидкостного баланса. Ранее мы описали одновременную индукцию предшественников как для собирательного протока, так и для нефронов посредством направленной дифференцировки плюрипотентных стволовых клеток человека. Парадоксально, что, хотя оба имеют промежуточное мезодермальное происхождение, собирательный проток и нефроны имеют различное пространственно-временное происхождение. Здесь мы идентифицируем механизм развития, регулирующей преимущественную индукцию собирательного протока по сравнению с предшественниками мезенхимы почек. Используя эти знания, мы создали органоиды почек, которые содержат нефроны, связанные с сетью собирательных протоков, окруженных почечным интерстицием и эндотелиальными клетками. Внутри этих органоидов отдельные нефроны разделяются на

дистальные и проксимальные каналы, ранние петли Генле и клубочки, поддерживающие подоциты, формирующие отростки стопы и подвергающиеся васкуляризации. Когда профили транскрипции органоидов почек сравнивали с тканями плода человека, они показали наибольшее соответствие с почками человека в первом триместре беременности. Кроме того, проксимальные каналы эндцитозуют декстран и дифференцированно апоптозируют в ответ на цисплатин, нефротоксикант. Такие органоиды почек представляют собой мощные модели человеческого органа для будущих применений, включая скрининг нефротоксичности, моделирование заболеваний и в качестве источника клеток для терапии» [22].

Щитовидная железа. Русская команда 3D Bioprinting Solutions в 2015 году, в первый раз была напечатана работающая щитовидная железа, к сожалению, не человеческую, а мышиную. Она по размерам была всего несколько миллиметров. Почему именно этот объект, потому что щитовидка имеет достаточно простую клеточную структуру, которую можно было воспроизвести, также можно было легко проверить функциональность данного органа, просто измерив гормон Т4 в крови. У мыши щитовидная железа прижилась и начала выполнять свои функции.

Сердце. Интересный факт, сердце человека является самым лёгким для печати. Так как не представляет сложной структуры. Грубо говоря насос и трубки. Конечно, не настолько всё просто, но многие учёные считают, что напечатать сердце, легче чем почку или печень.

Всё та же команда из Америки в 2015 году напечатали на биопринтере бьющиеся сердечные клетки. Но через 4 года в апреле, израильские исследователи напечатали первое в мире трёхмерное сердце. Оно было небольших размеров, но очень хорошо выполняла свои функции. Трёхмерное сердце с кровеносными сосудами использует персонализированные «чернила» из коллагена, белка, который поддерживает клеточные структуры, и других биологических молекул. «Это первый случай, когда кто-либо где-либо успешно спроектировал и напечатал целое сердце с клетками, кровеносными сосудами,

желудочками и камерами», –рассказал ученый Тель-Авивского университета профессор Тал Двир.

На данный момент ученым удалось напечатать хрящ. Хрящи, такие как ткань аортального клапана, могут быть напечатаны, но настоящей проблемой было создание ткани, содержащей кровеносные сосуды.

Тель-авивские ученые начали с жировой ткани человека и отделили клеточные и неклеточные компоненты. Затем они перепрограммировали клетки в недифференцированные стволовые клетки, которые развились в клетки сердца и эндотелия. Эндотелий – это единственный слой сквамозных эпителиальных клеток, выстилающих внутреннюю поверхность камер сердца, кровеносных и лимфатических сосудов. Эндотелиальные клетки выполняют множество функций в сосудистой системе, таких как регулирование кровяного давления, регулирование компонентов свертывания крови и формирование новых кровеносных сосудов.

Быстрое моделирование является неотъемлемой частью стоматологического лечения. Рот пациента сканируется, затем данные загружаются в программу CAD, которая создает трехмерную модель. Затем принтер распечатывает зубные протезы, такие как металлические коронки, зубные протезы и титановые имплантаты.

Стоматологическая биопечать включает в себя тот же процесс, но по-другому. Для создания биочернил специалисты в области стоматологической тканевой инженерии используют, выделение стволовых клеток из тканей зуба или фрагментов десны, которые растут в нужном направлении; факторы роста, стимулирующие рост мягких тканей, костей и кровеносных сосудов [1].

Гидрогели, используемые для биопечати, включают коллаген, альгинат и фибрин. При печати твердых тканей, таких как альвеолярная кость, добавляются гидроксиапатит, фосфат кальция, силикат кальция и углеродные нанотрубки.

Напечатанные ткани использовались для восстановления формы зубов, устранения дефектов челюсти и нижней челюсти, а также для регенерации мягких и твердых тканей.

Еще одно интересное направление – космическая биопечать. Владимир Миронов, директор Института трехмерных биопечатных решений, отметил, что в космосе биопечати делать проще, чем на Земле. Он отметил, что био-принтинг в

космосе проще, чем на земле. Микрогравитационная среда позволяет использовать жидкие гидрогели с высоким сродством к клеткам, что значительно увеличивает скорость сборки. На Земле на создание хряща уходят часы, в то время как в космосе этот же процесс может быть завершен всего за 30 секунд. Помимо хрящей, на борту МКС также были изготовлены щитовидные железы мышей [1].

2 Анализ применения биопринтинга в медицинской технике

2.1 Клинические случаи успешного применения биопечати

Трехмерная печать без использования живых клеток – так называемого клеточного компонента – не менее важна для медицины, чем создание полноценных тканей и органов.

Поэтому компания *Biomimetics*, созданная молодыми учеными НИТУ "МИСИС", производит гибридные имплантаты. В настоящее время они используются в ветеринарии, но исследователи надеются, что вскоре такие конструкции будут установлены и людям [16].

Молодые ученые из *MIP Biomimetics*, работающие на базе НИТУ *MISIS*, уже несколько лет разрабатывают биосовместимые костные имплантаты на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Ядро гибридного имплантата изготовлено из пористого полиэтилена сверхвысокой молекулярной массы, а каркас напечатан на 3D-принтере из титанового сплава. Такая структура является точной копией фактической структуры кости, СВМПЭ соответствует пористой внутренней, трабекулярной, сегментарной, титановый сплав соответствует твердой внешней, кортикальной структуре [16].

В 2019 году, через 3-4 месяца после удаления 6-сантиметровой части кости передней части стопы, пораженной остеосаркомой, имплантат пересаживают домашней кошке по кличке Лапуня. В сотрудничестве с *blokhin NMIC* был разработан проект клеточной инженерии: специалисты из *Biomimetics* разработали имплантат и коллеги из лаборатории клеточного иммунитета изолировали имплантат от собственного костного мозга пациента, чтобы ускорить его имплантацию они перевели его через полученные ячейки. Операция была проведена хирургом в ветеринарной клинике *Biocontrol* [16].

Генеральный директор ООО «Биомиметикс» рассказывает об этом следующее: «Уникальность нашей разработки состоит в том, что имплантат по своим характеристикам практически полностью соответствуют обычной

кости. Прежде всего, это означает, что он не будет принимать на себя излишнюю нагрузку, а значит, кость на месте его присоединения не будет охрупчиваться, как это часто бывает с металлическими имплантатами. Кроме того, полимерную поверхность имплантата удобно заселять собственными клетками пациента, что существенно ускоряет приживаемость. Это особенно важно с учетом того, что домашним животным, в отличие от людей, не объяснишь, что на время восстановления конечность нужно беречь» [16].

Согласно послеоперационным наблюдениям ВТО в 2019-6 гг., Имплантат приживается, динамика заживления положительная, а кошка двигается самостоятельно. Следовательно, имплантация такого гибридного имплантата клеточной инженерии будет намного сложнее адаптировать к традиционному радикальному лечению, а также к металлическим имплантатам.

В США в 2024 году удалось вырастить человеческую кожу прямо на ране. Исследователи вырастили полноценный кожный покров на черепе крысы методом 3D-биопечати, через две недели рана успешно зажила. Искусственная кожа не только исправила дефицит тканей, но и выявила потенциал для роста волос. Ученые надеются, что эта разработка станет прорывом в области реконструктивной хирургии лица и, возможно, даже привести к новым методам лечения человеческих волос.

Первая в мире операция по биопечати непосредственно пациентам была проведена в России. Оно проходило в главном военном клиническом госпитале имени Бурденко. Врачи и эксперты Института биомедицинской инженерии НИТУ "МИСИС" использовали биологический принтер, состоящий из роботизированной руки, системы биологической печати и компьютерного зрения. О деталях этой операции и перспективах развития отечественной 3d-биопечати в интервью РИА Новости рассказал директор института Федор Сенатов [16].

У пациента была обширная рана в области плеча и лопатки. Рана глубокая, с переменным рельефом, что придавало особую сложность. Хирург забрал из костного мозга собственные клетки пациента. Затем эти клетки смешали со

специальным гидрогелем на основе коллагена, который способствует регенерации тканей. Субстанцию ("биочернила") поместили в шприц, который находился внутри биопринтера, а сам биопринтер с системой сканирования был размещен на конце роботического манипулятора ("роборуки"). Основным нюансом нашей технологии заключается в том, что система сканирования дефекта мягких тканей позволяет учитывать дыхание пациента и небольшие движения его тела. Сканирование раневой поверхности, построение 3D-модели раны, расчет траектории подачи биополимера "in situ", то есть непосредственно в рану, и саму биопечать робот провел без участия человека.

Также в США в 2022 году был напечатан имплант уха. Сделали его всё по той же схеме, взяли собственные клетки пациента и напечатали. Этим занималась американская компания 3DBio Therapeutics. Они удалили у пациента 0,5 грамм хряща деформированного уха и напечатали на 3D-биопринтере. Вся операция продлилась 10 минут. В результате орган имеет естественный вид, при этом врачи отметили низкую вероятность отторжения. Через месяц имплант спокойно прижился.

2.2 Обзор и анализ мирового рынка биопринтера

На 2024 год биопринтинг активно развивается. Объём мирового рынка биопечати составляет 3 млрд долларов и по расчетам экспертов к концу 2030 года он поднимется до 8,3 млрд долларов. В мире существуют сотни организаций, занимающихся биопринтингом: В 2021 году на долю 3D-биопринтинга приходилось 32,7% выручки в США, 28,9% в Европе (в основном во Франции и Германии), 24,5% в Тихоокеанском регионе, 8% в Латинской Америке и 5,9% на Ближнем Востоке и в Африке [13].

Между тем, мировой рынок 3D-биопринтинга только в 2024 году оценивался в 3 млрд долларов, а к 2030 году, как ожидается, достигнет примерно 8,3 млрд долларов. Ожидается, что рост исследований и разработок будет способствовать росту рынка [11].

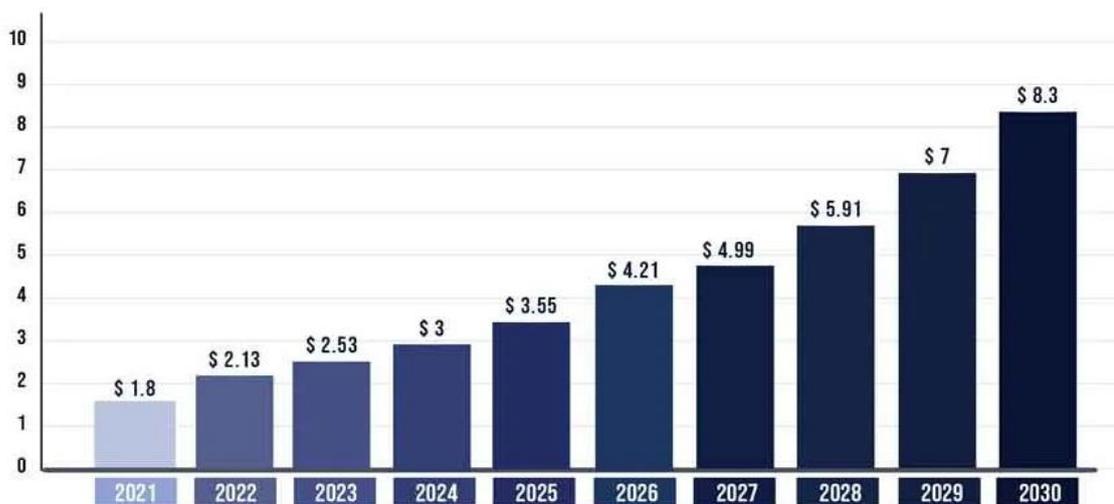


Рисунок 1 – обзор мирового рынка [13]

В связи с растущим использованием 3D-биопечати на рынках фармацевтики, здравоохранения и биотехнологий ожидается, что мировой рынок 3D-печати значительно расширится в прогнозируемый период. В течение прогнозируемого периода также прогнозируется рост использования 3d-принтеров в косметических процедурах и достижения в области 3D-биопечати. Расширение частного и государственного финансирования исследовательских инициатив в области биопечати также способствовало расширению рынка [13].

Основные технологические достижения в области технологий 3D-печати, включая моделирование печени, лечение рака, производство костей и тканей и наращивание эпидермального слоя, были сделаны для различных медицинских целей, включая улучшение состояния тканей организма. Есть несколько актуальных тем для 3D-биопечати. Прогнозируется, что использование 3D-биопечати для клинических исследований и скрининга лекарств значительно сократит потребность в тестировании на животных.

Таблица 1 - Отчет о масштабах рынка 3D-биопечати [13]

Охват отчета	Подробные сведения
Размер рынка в 2024 году	3 Миллиарда долларов
Размер рынка к 2033 году	8,3 Миллиарда долларов
Темпы роста с 2023 по 2030 год	Средний показатель составил 18,51%
Базовый год	2024
Прогнозируемый период	С 2023 по 2030 год

2.3 Оценка текущего состояния в РФ

Рыночные возможности. Потребность в трансплантации растет. Технология трехмерной печати, позволяющая создавать сложные твердые детали, такие как почки, сердца и легкие для трансплантации, становится все более важной в сфере здравоохранения. Поскольку клетки, используемые в 3D-печатных деталях, получают из человеческой крови, 3D-печатные детали менее рискованны, чем традиционные альтернативы в случае отказа или повреждения органа, которые несут риск отторжения организмом. Специалисты здравоохранения могут использовать 3D-биопринтинг для создания новых органов для трансплантации или для восстановления сломанных костей. Кроме того, можно печатать протезы для замены отсутствующих человеческих ног. 3D-биопечать позволяет выращивать органы и ткани гораздо быстрее, чем традиционные методы, которые требуют донора и занимают столько же времени. Число людей, стоящих в очереди на трансплантацию, растет с каждым днем из-за серьезного несоответствия между спросом на органы и количеством донорских органов [13].

Кроме того, технология биопечати не ограничивается областью регенеративной медицины и трансплантации. Напечатанные органы представляют собой полные прототипы человеческих органов, а не прототипы органов животных, что позволяет проводить более точные и качественные исследования.

В результате, вероятно, будет расти спрос на эту технологию в промышленном производстве мяса, кожи и меха, а также в косметической промышленности, где она используется для тестирования потребительских товаров. Наконец, к 2050–2070 годам, как видится, биопечать войдет в широкую практику и станет существенным методом высокотехнологичной медицины.

Таким образом, мы видим, как активно развивается биопечать. Сверху приведены таблицы роста рынка биопринтеров, показано как эта технология развивается, как нужна миру. Видятся перспективы в 2030-х годах биопечати больших плотных органов или их частей – сердца, почек и печени

3 Перспективы развития биопринтинга на территории РФ

В процессе исследования были затронуты основные проблемы биопринтинга, такие как обучение и квалификация персонала, финансирование и доступность, нехватка донорских органов.

Это три основные проблемы биопринтинга. Например, из второго раздела мы видим, как эта сфера быстро растет. И как она важна сейчас миру, но проблема финансирования остаётся актуальной. Основные затраты связаны с исследованиями и разработкой новых методов, приобретением дорогостоящего оборудования и материалов для печати. Недостаток финансирования может препятствовать развитию биопринтинга и ограничивать его доступность этой технологии для медицины.

Также обучение и квалификация персонала. Эффективное применение биопринтинга требует высокой квалификации медицинского персонала. Обучение специалистов в области биопринтинга включает в себя не только освоение технических аспектов печати и работы с оборудованием, но и понимание биологических и медицинских аспектов процесса.

Проблема донорских органов. Нехватка донорских органов остается серьезной проблемой в медицине, и биопринтинг может предложить потенциальное решение этой проблемы путем создания биологических тканей и органов из клеток пациента или других источников. Однако технология биопринтинга еще не достигла полной зрелости, чтобы эффективно решать эту проблему на практике. Необходимо проведение дополнительных исследований и разработка технологий для создания функциональных и безопасных органов.

Конечно, главная проблема – это финансирование, если эту проблему решить, то другие, решаются автоматически. Ведь, если эта технология, будет снабжена деньгами, то увеличится парк биопринтеров, на 2024 год в России всего 50 биопринтеров, а это очень маленькое количество [6]. А так если будут финансировать эту технологию, то парк увеличится в несколько раз, что в

дальнейшем уменьшит очередь на поиски донора, в десятки раз, а может и больше.

Также уменьшится смертность, ведь людям не придётся искать своего донора, на поиски которого уходит очень много времени, некоторые пациенты, даже не успевают доживать до донора. Поэтому проблему нужно решать, во блага всего мира.

Перспективы развития в России у данного направления очень большие, для этого стоит больше проводить грантов на исследование биопринтинга. На 2023 год выиграно 16 грантов такие как: In vivo формирование и визуализация тканеинженерных конструкций, сумма составляет 6 миллиона рублей; Разработка перспективных противоопухолевых средств на основе фуллеренов путем скрининга в биомиметической среде, полученной методом клеточной 3D-биопечати, сумма составляет 21 миллион рублей; Формирование тканеинженерных биоэквивалентов печени методом трехмерного биопринтинга, сумма составляет 23 миллиона рублей и т.д. Все эти гранты помогают развитию биопринтинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы мы исследовали применение инноваций в медицинской технике, сфокусировавшись на технологии биопринтинга. Биопринтинг представляет собой уникальный метод создания трехмерных биологических структур, открывающий новые перспективы для медицинской практики и научных исследований.

В ходе исследования мы выяснили, что биопринтинг имеет огромный потенциал для создания органов и тканей, персонализированной медицины, разработки новых лекарственных препаратов и тестирования терапевтических методик. Технология биопринтинга уже применяется в ряде медицинских областей, таких как трансплантология, реконструктивная хирургия, фармацевтика и даже косметология.

О преимуществах биопечати сказано немало; кажется, что медицина XXI века приближается к панацее от всех бед. Конечно, это не так. Биопринтинг предъявляет высокие требования к технике и технологиям. Только страны с мощным промышленным комплексом могут предложить технологию биопечати. Информационные технологии развиваются быстрыми темпами, и медицинские работники как никогда нуждаются в помощи экспертов в этой отрасли.

Кроме того, технология биопечати сталкивается с юридическими и этическими проблемами. Разумеется, любая перспективная технология требует затрат, причем не только в виде капитала, но и в виде необходимых материалов. Подготовка кадров. Обеспечение технологической инфраструктуры. Все эти аспекты неизбежно приведут к иерархии пациентов. Большинство населения планеты будет стоять в очереди на донорство органов, а богатые смогут продлить свою жизнь.

Благодаря биоматериалам, используемым в качестве биоинков, на эту категорию струйных принтеров в 2024 году приходилось 36,9 % доходов, что позволяло создавать сложные биологические ткани и органы на

культуральных подложках [13]. Широкое распространение струйной печати в здравоохранении является одним из основных факторов роста этого рынка. В отчете отдельно рассматривается струйная печать как метод биохимической регенерации и доставки лекарств, а также биологические приложения. Ожидается, что этот сегмент будет значительно расширяться в течение прогнозируемого периода благодаря высокой долговечности и растущим требованиям.

Рынок магнитной печати будет расти самыми быстрыми темпами, со средним CAGR 14,6% в течение прогнозируемого периода. Прибыльная природа этой технологии стимулирует расширение рынка [13]. Ожидается, что технология магнитной левитации, обладающая расширенными возможностями, высокой скоростью и точностью, позволит устранить более 80,0% ошибок при 3D-биопринтинге [11]. Более того, эти биопринтеры могут использоваться для тестирования на токсичность, печати сосудистых мышц и восстановления тканей. Например, технология на основе электромагнитной левитации используется для создания тканеподобных структур в биоанализе. В прогнозируемый период рост гаджетов на основе ЭМП, вероятно, также замедлится из-за быстрого внедрения новых технологий.

В целом, биопринтинг представляет собой важный инструмент для преобразования медицинской практики и улучшения качества жизни людей, и его дальнейшее развитие будет играть ключевую роль в будущем медицинском прогрессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биопринтинг: применение технологий 3D-печати в медицине: - URL: <https://sbermed.ai/3d-pechat-organov/> (дата обращения: 28.02.2024).
2. Резидент «Сколково» совершил глобальный прорыв в медицине: - URL: <https://bioprinting.ru/press-center/publications/resident-skolkovo-has-made-a-global-breakthrough-in-medicine/> (дата обращения: 12.03.2024).
3. Печатно, но факт. Сколько стоит российский биопринтер Fabion?: URL: https://aif.ru/society/healthcare/pechatno_no_fakt_rossiyskiy_bioprinter_postupaet_v_prodazhu (дата обращения: 12.03.2024).
4. Биопринтинг: применение, доступные на сегодня возможности биопечати: - URL: <https://cvetmir3d.ru/blog/primenenie/additivnyye-tekhnologii-v-rossii-segodnya-kogda-my-smozhem-pechatat-chelovecheskie-organy/> (дата обращения: 14.03.2024).
5. Миронов В.А. Вслед за Создателем. Технологии биопринтинга / Миронов В.А. // Наука из первых рук. 10 дек 2013 , Вслед за Создателем , том 52, №4 – URL: <https://scfh.ru/papers/vsled-za-sozdatelem-tekhnologii-bioprintinga/> (дата обращения: 14.03.2024)
6. Алексей Чехович. 3D-биопринтинг: технология, которая приближает будущее / Алексей чехович // 3D биопринтинг: можно ли напечатать органы? Статья опубликована 25.01.2024, обновлена 31.01.2024 – URL: <https://blog.iqb.ru/3d-bioprinting/> (дата обращения: 15.03.2024).
7. Токарев Б.Е., Токарев Р.Б. Анализ рыночных перспектив технологий 3D-биопечати // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/33EVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/33EVN216 (дата обращения: 14.03.2024).
8. Смертность и рождаемость в России: по годам: - URL: <https://gogov.ru/articles/natural-increase> (дата обращения: 20.03.2024).

9. Leading Causes of Death in the World 2024: - URL: <https://worldpopulationreview.com/economics/leading-causes-of-death-in-the-world> (дата обращения: 24.03.2024).

10. Биологическая 3D-печать в России – Наука: - URL: <https://www.kommersant.ru/amp/5951499> (дата обращения: 12.03.2024).

11. Ученые научились печатать органы на принтере. Почему эта технология спасет сотни тысяч людей по всему миру?: Здоровье: Наука и техника: Lenta.ru: - URL: <https://m.lenta.ru/articles/2023/03/17/3d/>(дата обращения: 20.03.2024).

12. 3D Bioprinting Market Size, Trends, Growth, Report 2030: - URL: <https://www.precedenceresearch.com/3d-bioprinting-market#> (дата обращения: 20.03.2024).

13. «Миру надо еще лет 10–15, чтобы технологии биопечати вошли в клиническую практику» - Рамблер/новости: - URL: <https://news.rambler.ru/science/46430265-miru-nado-esche-let-10-15-chtoby-tehnologii-biopечати-voshli-v-klinicheskuyu-praktiku/> (дата обращения: 17.03.2024).

14. Биопринтер: печать органов на 3d принтере | 3Д биопринтинг солюшенс (биопечать): - URL: <https://vektorus.ru/blog/bioprinter.html> (дата обращения: 17.03.2024).

15. Уникальный гибридный имплантат впервые установили животному. 19 июля 2019 года. Новости университета НИТУ МИСИС в Москве: - URL: <https://misis.ru/news/6216/> (дата обращения: 17.03.2024).

16. Никита Игнатенко. 3D-печать органов: как биопринтер может спасти жизнь / Никита Игнатенко // Хабр. Статья опубликована: 13 янв 2023 в 11:00: - URL: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/709506/> (дата обращения: 18.03.2024).

17. Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. In *Procedia Manufacturing*(Vol. 35, pp. 1286-1296). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089> (дата обращения: 15.03.2024).

18. Ghosh RM, Jolley MA, Mascio CE, Chen JM, Fuller S, Rome JJ, Silvestro E, Whitehead KK. Clinical 3D modeling to guide pediatric cardiothoracic surgery and intervention using 3D printed anatomic models, computer aided design and virtual reality. *3D Print Med.* 2022 Apr 21;8(1):11. doi: 10.1186/s41205-022-00137-9. PMID: 35445896; PMCID: PMC9027072 (дата обращения: 15.03.2024).

19. Mirzababaei S, Pasebani S. A Review on Binder Jet Additive Manufacturing of 316L Stainless Steel. *Journal of Manufacturing and Materials Processing.* 2019; 3(3):82. <https://doi.org/10.3390/jmmp3030082> (дата обращения: 15.03.2024).

20. Lim, JS., Oh, WJ., Lee, CM. et al. Selection of effective manufacturing conditions for directed energy deposition process using machine learning methods. *Sci Rep* 11, 24169 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03622-z> (дата обращения: 15.03.2024).

21. Gülcan O, Günaydın K, Tamer A. The State of the Art of Material Jetting- A Critical Review. *Polymers (Basel).* 2021 Aug 23;13(16):2829. doi: 10.3390/polym13162829. PMID: 34451366; PMCID: PMC8399222 (дата обращения: 16.03.2024).