

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
кафедра Основ радиотехники

# ВВЕДЕНИЕ В МЕДИЦИНСКУЮ ЭЛЕКТРОНИКУ

Выпуск 8



Москва

2024

### **РЕДКОЛЛЕГИЯ ВЫПУСКА**

*Магистранты кафедры ОРТ:*

Гребенникова Вероника Вячеславовна

Жучкова Полина Михайловна

Пузова Ксения Романовна

Пуликова Юлия Сергеевна

Смирнов Алексей Юрьевич

Сукач Иван Андреевич

Цыганова Алёна Геннадьевна

*Восьмой выпуск обзорных статей по медицинской электронике подготовлен студентами первого курса МЭИ, обучающимися по направлению бакалавриата «Биотехнические системы и технологии», образовательная программа – «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», под руководством и при активном содействии магистрантов кафедры ОРТ, также обучающихся по направлению «Биотехнические системы и технологии», образовательная программа – «Радиоэлектроника в биотехнических и медицинских аппаратах и системах». Работы выполнены научными коллективами студентов групп ЭР-15,16,17,18-24 в рамках освоения дисциплины «Введение в медицинскую электронику» и по достоинству оценены на зачетных занятиях.*

*Тематика статей весьма разнообразна. Это и традиционные медицинские приборы, системы и комплексы, и инновационные разработки: нейрокомпьютерные интерфейсы, электрические мозговые импланты, криогенные технологии и применение 3D-принтеров в медицине и даже описание самостоятельных разработок. Всего в сборнике представлено 11 работ.*

*Доцент кафедры Основ радиотехники  
Жихарева Галина Владимировна*

## СОДЕРЖАНИЕ

МЕДИЦИНСКИЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ К.А. Глумова, В.В. Ознамец, Д.А. Аверьянов, А.А. Шульцев, Т.С. Ширеторова (ред. А.Ю. Смирнов, И.А. Сукач).....	5
КРИОТЕХНОЛОГИИ: ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ П.А. Гребенькова, М.А. Гладушев, И.А. Мозголов, Д.В. Диденко, М.Д. Калмыкова, Н.П. Смирнов, Г.П. Смирнов (ред. А.Ю. Смирнов, П.М. Жучкова) .....	16
НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНТЕРФЕЙС А.И. Волкова, С.А. Иванова, А.Н. Магомедова, Е.Д. Кондратьева, С.В. Рощупкина, Е.Ф. Воронин (ред. А.Ю. Смирнов, К.Р. Пузова).....	29
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОСТУПНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА М.К. Лобачева, М.Д. Ляхов, А.Р. Марченко, Ю.Ю. Михайлова, М.А. Стаферова (ред. А.Ю. Смирнов, И.А. Сукач).....	42
ПРИМЕНЕНИЕ 3-Д ПРИНТЕРА В ПОДГОТОВКЕ К ХИРУРГИЧЕСКИМ ВМЕШАТЕЛЬСТВАМ Е.Р. Рязанцев, А.А. Сваткова, А.А. Малина, Е.С. Капустин (ред. А.Ю. Смирнов, А.Г. Цыганова).....	54
ИННОВАЦИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКЕ, 3-Д ПРИНТЕРЫ В МЕДИЦИНЕ, РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ А.Д. Авдиенко, Ю.А. Зеленюк, Д.Р. Осипова, Е.А. Осокина, В. Курдюков, Д.Р. Тишкунова (ред. А.Ю. Смирнов, Ю.С. Пуликова) .....	70
БИОНИЧЕСКИЕ ПРОТЕЗЫ: РАЗРАБОТКИ И БУДУЩЕЕ ЭТОЙ ОТРАСЛИ БИОТЕХНОЛОГИЙ Д.Д. Кукарцев, А.О. Куряев, М.А.Спивак, А.А.Тихонов, А.Р. Шаяхметов, М.Ю. Польшкин (ред. А.Ю. Смирнов, П.М. Жучкова) .....	87
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОЗГОВЫЕ ИМПЛАНТЫ Д.Ю. Финстерле, Д.Е. Анищенко, А.А. Ващук, М.В. Володин, Е.О.Долгова, С.В. Заика (ред. А.Ю. Смирнов, И.А. Сукач) .....	101

КЕЙДЖ ДЛЯ ПОЗВОНОЧНИКА

А.С. Смorchков, И.Р. Закарая, Я.Д. Горбунов, Е.Р. Гафилин, Т.Н. Ефимов  
(ред. А.Ю. Смирнов, А.Г. Цыганова)..... 110

ЛАЗЕР В МЕДИЦИНЕ

А.С. Мажукова , К.Е. Кондрашина, Е.А. Кушнарeва , А.А. Данченкова,  
И.Д. Байдин , Д.А. Козакевич (ред. А.Ю. Смирнов, В.В. Гребенникова)..... 126

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОР

Н.В. Брагута, Л.С. Галкин, К.Д. Гнездилов, М.А. Зотов, Л.К. Панин,  
А.Р. Сельдемиров (ред. А.Ю. Смирнов, В.В. Гребенникова) ..... 140

## **МЕДИЦИНСКИЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**К.А. Глумова, В.В. Ознамец, Д.А. Аверьянов, А.А. Шульцев,  
Т.С. Ширеторова (ред. А.Ю. Смирнов, И.А. Сукач)**

Объектом исследования являются системы жизнеобеспечения, включая аппараты для искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ) и аппараты искусственного кровообращения (АИК). Эти устройства играют ключевую роль в поддержании жизненно важных функций организма в условиях интенсивной терапии. Целью данной работы является анализ функциональности и значимости систем жизнеобеспечения в современных лечебно-профилактических учреждениях, а также оценка их влияния на улучшение состояния здоровья пациентов.

### **Введение**

Системы жизнеобеспечения — это терапевтические устройства и оборудование, предназначенные для поддержания или продления функций ослабленных человеческих органов.

К понятию оборудование жизнеобеспечения относится любое устройство или система, которые напрямую поддерживают жизненно важные функции организма, особенно в условиях интенсивной терапии или чрезвычайных ситуаций [1-2].

Система жизнеобеспечения выполняет несколько основных функций:

- **Поддержка жизнедеятельности:** обеспечивает необходимые условия для функционирования органов и систем организма.
- **Мониторинг состояния здоровья:** позволяет оперативно выявлять отклонения и принимать меры для их коррекции.
- **Стимуляция и восстановление:** включает методы реабилитации и восстановительного лечения, направленные на восстановление функций организма после травм или заболеваний.

## **1. Основные виды и функции систем жизнеобеспечения**

### ***Аппараты для ИВЛ***

Аппараты для ИВЛ — это наиболее сложный тип наркозно-дыхательной аппаратуры. В аппаратах ИВЛ используются механические, пневматические, электронные и даже гидравлические (в увлажнителях) схемы и узлы. Также высоки требования к надёжности и безопасности аппаратов ИВЛ, так как в практике интенсивной терапии продолжительность ИВЛ исчисляется сутками, неделями, иногда месяцами, а у отдельных больных и годами [3].

Искусственная вентиляция лёгких проводится с помощью специальных технических средств и является наиболее эффективным, а иногда единственным, методом лечения опасного для жизни нарушения дыхания, которое возникает вследствие инфекционных заболеваний, серьёзных отклонений нервной системы и органов дыхания, из-за травм, ранений и поражений электрическим током. В то же время ИВЛ необходима для обеспечения сложных операций, для лечения асфиксии новорождённых и т.п.

Перечень областей применения ИВЛ не ограничивается представленными выше и доказывает важность оснащения аппаратами ИВЛ широкой сети ЛПУ (лечебно-профилактических учреждений) – от поликлиник и родильных домов до клиник и научных центров.

ИВЛ используется для решения следующих задач:

- заменить отсутствующую самостоятельную вентиляцию;
- усилить неадекватную самостоятельную вентиляцию;
- снизить работу, затрачиваемую на самостоятельную вентиляцию.

Первая задача не требует обоснования, так как уже спустя несколько минут после прекращения вентиляции наступают необратимые изменения в головном мозге пациента. Вторая задача возникает в том случае, когда сохраняется самостоятельная вентиляция, но она не в состоянии обеспечить поддержание гомеостаза организма, то есть в первую очередь  $pCO_2$ ,  $pO_2$  и  $pH$  в тканях. Ещё одна задача появляется в ситуации, если

самостоятельная вентиляция может поддерживать гомеостаз только ценой совершения огромной работы, которая делает пациента нетрудоспособным.

### ***Аппарат искусственного кровообращения (АИК)***

Аппарат искусственного кровообращения (АИК), или устройство «искусственное сердце — легкие», представляет собой специализированное медицинское оборудование, которое обеспечивает жизнедеятельность пациента при частичной или полной утрате функций сердца и/или легких [4].

Принцип работы данного аппарата заключается в воспроизведении функций сердца и легких, обеспечивая постоянный кровоток в организме. Пациент подключается к АИК посредством системы, которая управляет кровообращением.

Сердечно-сосудистые заболевания занимают лидирующие позиции среди причин смертности населения, превышая инфаркты, инсульты и несчастные случаи. Эта проблема является одной из основных причин низкой продолжительности жизни и демографического кризиса в России.

Острый дефицит донорских органов делает необходимым более широкое использование механических замещающих устройств. Вопрос замены жизненно важных органов искусственными стал актуальным в современной медицине и охватывает разнообразные аспекты медицинского и медико-технического характера.

В решении этой проблемы можно выделить два основных направления:

- Постоянная замена естественного органа протезом, который полностью имитирует его функции - искусственное сердце (ИС). Это направление предполагает создание долговременных решений для пациентов, чье сердце находится в критическом состоянии

- Временная замена функций на период лечения органа до его восстановления - система вспомогательного кровообращения (ВК). Эта

система позволяет поддерживать кровообращение, пока пациент проходит курс терапии или ожидает трансплантации.

Таким образом, применение аппаратов искусственного кровообращения становится важной неотъемлемой частью современной медицины, предлагая надежду для пациентов с серьезными сердечно-сосудистыми заболеваниями и улучшая качество и продолжительность их жизни.

### ***Устройства кислородной терапии***

Кислород является жизненно важным элементом для функционирования организма. Недостаток кислорода, известный как гипоксия, может привести к снижению иммунитета и негативным последствиям для всех систем организма.

Кислородная терапия, или оксигенотерапия, представляет собой современный метод лечения различных заболеваний дыхательной и сердечно-сосудистой систем, а также восстановления уровня кислорода в организме при дыхательной недостаточности. Оксигенотерапия также способствует улучшению общего состояния и помогает в процессе реабилитации.

Для осуществления кислородной терапии используются кислородные концентраторы – электроаппараты, предназначенные для извлечения кислорода из воздуха. Они способны производить газовую смесь с концентрацией кислорода до 95%.

Вот некоторые ситуации, в которых используется данное оборудование:

- Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ). Пациенты с этой болезнью могут испытывать проблемы с дыханием из-за сужения дыхательных путей. Кислородный концентратор поддерживает нормальный уровень кислорода в организме.
- Муковисцидоз. У людей с этим генетическим заболеванием наблюдается избыточная выработка мокроты, что затрудняет дыхание и

может привести к дефициту кислорода. В таких случаях применяется кислородное оборудование.

- Сердечная недостаточность. Пациентам с такой патологией может понадобиться кислородная терапия для уменьшения нагрузки на сердце и повышения насыщения кислородом.

- Легочный фиброз. Люди с легочным фиброзом, когда легкие теряют эластичность, могут нуждаться в кислородной поддержке для облегчения дыхательной недостаточности.

- Высотная гипоксия. При подъеме на высоту или в условиях недостаточного содержания кислорода в воздухе медицинские кислородные концентраторы используются для предотвращения гипоксии.

Концентраторы кислорода имеют эргономичный дизайн, что обеспечивает комфортную и эффективную работу с ними как для медицинского персонала, так и для пациентов.

### ***Мониторинг жизненно важных показателей пациента***

Пациенты, находящиеся под медицинским наблюдением, требуют постоянного контроля за такими показателями, как частота сердечных сокращений, артериальное давление, насыщение кислородом, температура тела и частота дыхания. Эти данные помогают врачам оперативно реагировать на возможные ухудшения состояния.

Основные жизненно важные показатели:

- Частота сердечных сокращений (ЧСС) – отражает работу сердца. Нормальные значения колеблются от 60 до 100 ударов в минуту.

- Артериальное давление (АД) – показатель силы давления крови на стенки сосудов. Нормой считается давление 120/80 мм рт. ст.

- Saturation (сатурация) кислородом – уровень насыщения гемоглобина кислородом, измеряется в процентах. Нормальное значение выше 95%.

- Частота дыхания (ЧД) – количество дыхательных движений в минуту, в норме составляет 12-20 дыханий.

- Температура тела – нормальная температура человека колеблется в диапазоне 36,1 - 37,2 °С.

Методы мониторинга

Существуют разные методы мониторинга ЖВП, включая:

- Непрямой мониторинг – измерение показателей с использованием стандартных медицинских приборов в определенные промежутки времени.

- Непрерывный мониторинг – установка устройств, которые в реальном времени контролируют жизненные показатели, что особенно актуально в реанимации и интенсивной терапии.

Значение мониторинга в клинической практике

Мониторинг ЖВП позволяет врачам:

- своевременно обнаруживать отклонения от нормы;
- принимать ранние меры для предотвращения осложнений;
- оценивать эффективность проводимого лечения;
- проводить анализ данных для улучшения медицинских стандартов.

## **2. Обзор базовых систем жизнеобеспечения**

### ***Аппарат искусственного кровообращения (АИК)***

Основные компоненты аппарата:

- Циркуляционный насос: отвечает за перекачивание крови через систему. Может быть ротационным или поршневым.

- Оксигенатор: служит для насыщения крови кислородом и удаления углекислого газа. Содержит мембраны, через которые происходит газообмен.

- Трубопроводы: системы, обеспечивающие транспортировку крови между сосудами пациента и аппаратом. Изготавливаются из биосовместимых материалов.

- Датчики и мониторинг: используются для контроля основных параметров, таких как давление, температура и содержание кислорода в крови.

Рабочий процесс (в соответствии с рисунком 1) состоит из следующих этапов:

- Ввод/вывод крови: кровь отводится из правого предсердия через венозный коллектор и поступает в насос. Насос перекачивает кровь в оксигенатор.

- Оксигенация: в оксигенаторе кровь насыщается кислородом через мембраны, а углекислый газ удаляется.

- Кровоснабжение: оксинированная кровь возвращается в аорту и направляется к органам и тканям.

Дополнительные функции:

- Фильтрация: включает устройства для удаления микротромбоцитов и других примесей из крови.

- Температурный контроль: позволяет регулировать температуру крови для защиты органов при операции.

- Насосы с изменяемым объемом могут подстраиваться под изменяющиеся потребности организма в зависимости от состояния пациента.

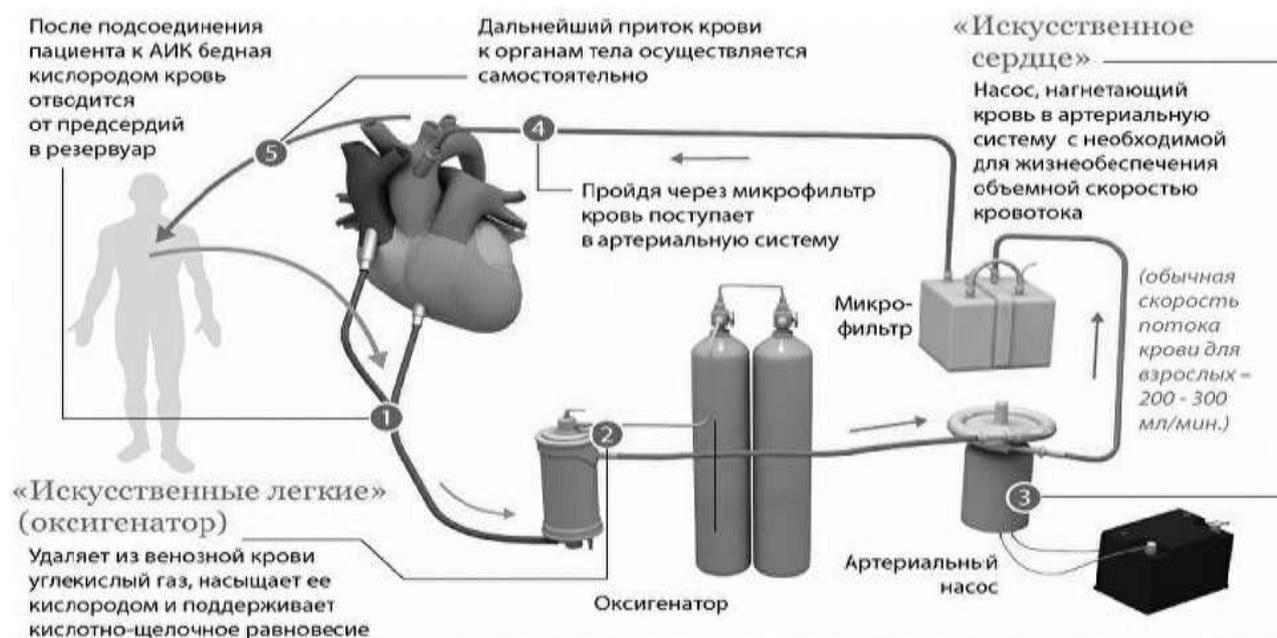


Рисунок 1 – Схема устройства аппарата искусственного кровообращения (АИК)

**Аппарат искусственной вентиляции легких (ИВЛ)**

Исполнительная часть, в соответствии с рисунком 2, представляет собой дыхательный контур с системой клапанов и датчиков, с помощью которых регулируется движение потока газовой смеси. Устройство, создающее этот поток, состоит из двух камер (1), в которых поддерживается постоянное давление воздуха и кислорода, многократно превышающее таковое в дыхательном контуре. При этом величина потока и процентное содержание кислорода полностью определяются геометрическими характеристиками отверстий (2), размеры которых изменяются с помощью специальных сервоприводов (3). Кроме того, обязательными компонентами дыхательного контура являются: клапан, ограничивающий давление (4), и клапан выдоха (8). В ряде аппаратов функции клапана вдоха (5) выполняет система регуляции потока газовой смеси, что позволяет упростить устройство контура и несколько снизить расход дыхательной смеси при определенном увеличении времени срабатывания системы [5].

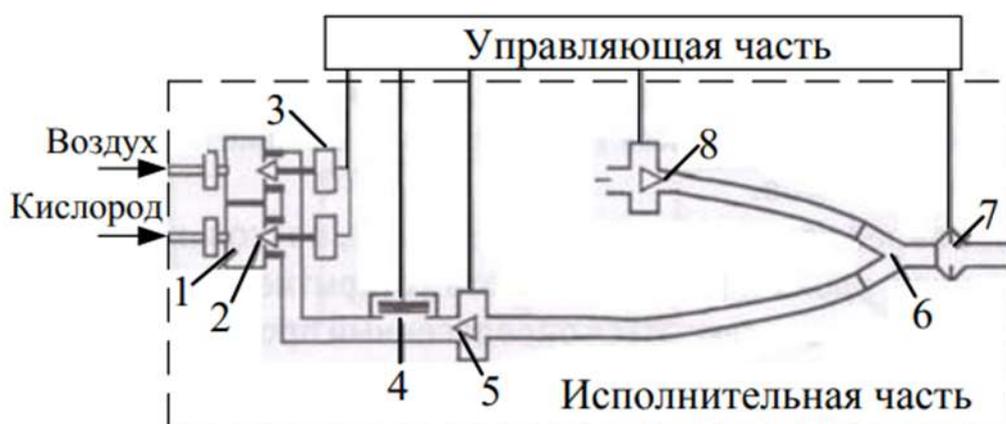


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства аппарата искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ)

Основные компоненты аппаратуры включают в себя:

1. Компрессор. Это важнейшая часть конструкции концентратора, которая отвечает за генерацию и подачу воздушного потока в систему из атмосферы.
2. Фильтры воздуха. Фильтры очищают поступающий окружающий воздух от пыли и других частиц, а также удаляют из него патогенны.
3. Цеолитовые колонки. Цеолит – природный адсорбент, который помогает разделять воздух на составляющие элементы – кислород, азот и другие примеси в меньшем объеме. Азот и примеси выпускаются в атмосферу после цикла работы системы, а поток с высокой концентрацией кислорода подается пациенту для дыхания.
4. Резервуар для сбора O<sub>2</sub>. Здесь собирается концентрированный кислород, который затем подается пациенту.
5. Увлажнитель. Перед подачей потока в дыхательную систему кислород также увлажняется, чтобы терапия и профилактика были безопаснее и не пересушивали слизистую респираторных путей.
6. Дыхательные контуры, маски и канюли. Это принадлежности, которые подключаются к прибору для подачи кислорода в верхние дыхательные пути.
7. Элементы управления. Медицинские кислородные концентраторы оснащены удобными панелями управления с дисплеями, на которых отображаются параметры работы. Присутствуют регуляторы скорости производства газоздушнoй смеси и кнопки для настройки системы.
8. Ручки и колеса для перемещения. Некоторые модели концентраторов кислорода оборудованы ручками и колесами, что облегчает их перемещение и переноску.
9. Конструкция концентраторов обеспечивает эффективное концентрирование кислорода из окружающего воздуха, а также удобство и

безопасность использования как для пациентов, так и для медицинского персонала.

### **Заключение**

Медицинские системы жизнеобеспечения играют критически важную роль в современной медицине. Их разработка и применение актуальны по нескольким причинам:

- **Безопасность пациента:** Современные системы позволяют более точно и быстро отслеживать состояние пациентов, что уменьшает риск ошибок.

- **Эффективность лечения:** использование таких технологий улучшает качество и скорость медицинских услуг, что позволяет более эффективно справляться с острыми состояниями.

- **Адаптация к новым вызовам:** в условиях глобальных угроз, таких как пандемии, системы жизнеобеспечения помогают медицинским учреждениям быстро реагировать на изменения в потребностях пациента.

- **Инновационные технологии:** интеграция новых технологий, таких как искусственный интеллект и телемедицина, открывает новые горизонты для диагностики и лечения.

- **Снижение нагрузки на медработников:** автоматизация процессов позволяет медицинскому персоналу сосредоточиться на более сложных аспектах лечения и ухода за пациентами.

- **Качество жизни:** для пациентов с хроническими заболеваниями системы жизнеобеспечения могут значительно улучшить качество жизни, обеспечивая более высокий уровень контроля над состоянием здоровья.

Развитие и внедрение медицинских систем жизнеобеспечения является ключевым элементом для повышения эффективности и безопасности здравоохранения.

## Литература

1. Системы и технологии жизнеобеспечения для тяжелых медицинских ситуаций [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию // Medcover Hospitals. 2024. URL: <https://www.medcoverhospitals.in/ru/articles/life-support-systems-technologies> (дата обращения: 17.09.2024).
2. Журнал 24x7. Приходим к соглашению с идентификацией оборудования для жизнеобеспечения [Электронный ресурс]. 10 октября 2009. URL: <http://www.24x7mag.com/2009/10/coming-to-terms-with-identifying-life-support-equipment> (дата обращения: 19.09.2024).
3. Кассиль В. Л., Выжигина М. А., Лескин Г. С. Искусственная и вспомогательная вентиляция легких. – М.: Медицина, 2004. 242 с.
4. Осипов В. П., Бунятян А. А. Искусственное кровообращение // Большая медицинская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – Т. 9. – С. 425-431.
5. Аппарат искусственного кровообращения. Принцип работы механизма [Электронный ресурс]. URL: [https://bosti.kg/stati\\_patsientam/132-apparat-iskusstvennogo-krowoobrascheniq](https://bosti.kg/stati_patsientam/132-apparat-iskusstvennogo-krowoobrascheniq) (дата обращения: 18.10.2024).

## **КРИОТЕХНОЛОГИИ: ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ**

**П.А. Гребенькова, М.А. Гладушев, И.А. Мозголов, Д.В. Диденко,**

**М.Д. Калмыкова, Н.П. Смирнов, Г.П. Смирнов**

**(ред. А.Ю. Смирнов, П.М. Жучкова)**

На основе литературных источников в работе показано влияние холода на человеческий организм, способы защиты и адаптации к пониженным температурам. В данном реферате рассматриваются криогенные технологии в медицине, принцип их действия и современные возможности. Криогенные технологии представлены как высокотехнологичный метод лечения, применяемый в различных областях медицины, со своими плюсами и минусами. В работе изучены преимущества криомедицины, ее эффективность и потенциальные риски, а также влияние на различные заболевания и методы лечения

### **Введение**

На протяжении всей истории человечества ведется поиск сравнительно универсальных методов лечения, направленных на запуск компенсаторных механизмов, на восстановление утраченного здоровья и на продление активной жизни человека.

Человечеству издавна знакомы лечебные свойства холода. Еще в древней Руси купание в проруби считалось средством для приобретения богатырского здоровья. А сто лет назад немецкий ученый и священник Себастьян Кнайп, прыгнув в ледяной Дунай и этим вылечив себя от воспаления легких, доказал, что даже самые тяжелые заболевания можно победить благодаря концентрации внутренних ресурсов. Впоследствии доктор Кнайп развил систему закаливания и холодолечения до такой высоты, что она является составной частью современной медицины [1].

Криомедицина – совокупность физических методов лечения, основанных на отведении тепла с помощью жидких, твердых и газообразных рабочих тел: от простых влажных обтираний до воздействия ультранизкими температурами [2].

Эта работа о криотехнологиях в медицине, их направлениях и видах, которые завоевывают все большую популярность среди практикующих врачей во всем мире. С помощью криомедицины можно сохранять в течении долгого времени кровь, её компоненты, стволовые клетки и другие биологические материалы, проводить малокровные и бескровные хирургические операции, разрушать новообразования, эффективно лечить кожные заболевания, ожоги и проводить многие другие терапевтические операции и процедуры. Криотехнологии в медицине следует рассматривать как одни из высокотехнологичных методов лечения целого ряда заболеваний, при помощи которых можно добиться максимального эффекта с минимальным числом осложнений.

### **1. Понятие криотехнологий**

Криотехнологии — это область науки и техники, занимающаяся исследованиями и применением низких температур для различных целей. Они находят применение:

- В здравоохранении: сохранение крови, её компонентов, стволовых клеток и других биологических материалов, проведение малокровных и бескровных хирургических операций.
- В сельском хозяйстве: длительное хранение и перевозка спермы сельскохозяйственных животных.
- В металлургии: получение материала с заданными свойствами.
- В машиностроении: сборка механизмов и узлов без использования тяжелого прессового оборудования и высокотемпературного нагрева.
- В пищевой промышленности: сохранение питательных и потребительских качеств продуктов в ходе их переработки, увеличение срока хранения.
- В экологии: уменьшение негативного воздействия на окружающую среду при переработке вторичных ресурсов.
- В науке: проведение экспериментов при низких температурах, обеспечение работы сверхпроводящих и высокоэнергетических устройств.

- В противопожарной безопасности: быстрое и эффективное подавление очагов возгорания [3].

## **2. Влияние криотехнологий на организм человека**

Криотехнологии имеют широкий спектр применения в медицине и других областях. Они могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на организм человека. Рассмотрим несколько аспектов:

Положительное влияние:

- лечение заболеваний: низкие температуры могут уничтожить пораженные клетки, не повреждая при этом окружающие здоровые ткани;

- улучшение восстановления: применение холода помогает снизить болевые ощущения, уменьшить воспаление и улучшить общее состояние мышц;

- уменьшение боли: криотерапия может использоваться для местного применения при травмах, а также для лечения хронической боли;

- укрепление иммунной системы: исследования показывают, что воздействие холода может активировать иммунный ответ организма;

- замороженные трансплантаты: замораживание клеток, тканей и органов увеличивает срок хранения донорских органов для последующей трансплантации [4].

Отрицательное влияние:

- потеря тканей: неправильное или неумеренное использование криотехнологий может привести к обморожениям, что может вызвать серьезные повреждения кожи и подлежащих тканей;

- стресс для организма: экстремальные температуры могут вызывать стресс для организма, что может негативно сказаться на здоровье некоторых людей;

- проблемы с сосудами: криотерапия может спровоцировать спазмы сосудов, что может быть опасно для людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями;

- аллергические реакции: В редких случаях может возникнуть аллергия на холод, проявляющаяся в виде крапивницы или других реакций [5].

Криотехнологии могут быть эффективными и полезными в медицинской практике при соблюдении всех рекомендаций и протоколов.

### **3. Физические принципы применения криотехнологий**

Основные физические принципы, лежащие в основе криотехнологий, включают следующие аспекты:

**Температура и энергия:** при снижении температуры уменьшается кинетическая энергия молекул, что замедляет химические реакции и уменьшает скорость процессов, таких как окисление и микробная активность. Это позволяет продлить срок хранения продуктов и биологических образцов.

**Фазовые переходы:** Замораживание связано с переходом вещества из жидкого состояния в твердое. В процессе кристаллизации образуется лед, который может повлиять на структуру и свойства замораживаемых материалов. Важно контролировать скорость замораживания, чтобы минимизировать образование крупных кристаллов льда, которые могут повредить клеточные структуры.

**Криопротекторы:** для предотвращения повреждений клеток при замораживании часто используют криопротекторы — вещества, которые уменьшают образование кристаллов льда внутри клеток. Примеры криопротекторов – глицерин и диметилсульфоксид (ДМСО). Они помогают сохранить целостность клеток в условиях низких температур.

**Теплопередача:** В криотехнологиях важно учитывать способы передачи тепла. При замораживании необходимо контролировать температуру как в пространстве, так и внутри замораживаемого материала, чтобы избежать термических шоков.

**Суперохлаждение:** это состояние, при котором жидкость охлаждается до температуры ниже её точки замерзания без образования льда.

Суперохлаждение может быть использовано для хранения клеток и тканей, но требует строгих условий.

Вакуумная изоляция: для поддержания низких температур и предотвращения повышения температуры из-за внешних факторов часто применяются вакуумные контейнеры и термосы, которые снижают теплопередачу.

Способы охлаждения: Различные методы охлаждения, такие как жидкий азот, сублимация углекислого газа или механические холодильники, позволяют достигать необходимых температур для криотехнологий [6].

Применение этих принципов в различных областях, таких как медицина (криоконсервация клеток и тканей), пищевая промышленность (заморозка продуктов), а также в научных исследованиях, подчеркивает важность криотехнологий в современном мире.

В криомедицине применяются сжиженные газы – это жидкости, которые получают путем охлаждения газов при нормальном атмосферном давлении или при сжатии. Наиболее распространёнными газами являются: жидкий азот, углекислый газ и аргон.

Жидкий азот имеет температуру в  $-196^{\circ}\text{C}$  имеет наибольшую для разрушения тканей “смертельную” минусовую температуру, необходимую, для разрушения злокачественных кожных образований.

Углекислый газ имеет температуру от  $-56^{\circ}\text{C}$  до  $31^{\circ}\text{C}$  обеспечивает минусовые температуры для доброкачественных новообразований или поверхностных областей при патологических изменениях кожи, вызванных солнечным светом.

Аргон имеет температуру в  $-190^{\circ}\text{C}$  и используется для точной заморозки тканей, игла которой его вводят имеет диаметр в 1 мм, что и даёт эту точность [7].

#### **4. Криохирургия**

Криохирургия – это вид хирургического лечения посредством низкотемпературного воздействия на аномальные или поражённые заболеванием биологические ткани с целью разрушения, уменьшения, удаления того или иного участка ткани или органа. К преимуществам криохирургии можно отнести малоинвазивность и минимальную болезненность процедур. Во время операции врач использует современный криоаппарат. В рабочей комплектации присутствуют: крио-пистолет, автоклавируемый криозонд, сосуд Дьюара и набор наконечников [8].

К областям применения криомедицины и криохирургии относятся детская хирургия, урология, нейрохирургия, гинекология и онкология. На данный момент криохирургия стоит рассматривать как один из высокотехнологических методов лечения целого ряда заболеваний, что позволяет добиться максимального эффекта с минимальным числом осложнений [9].

В кардиохирургии криотехнологии используются для абляции опухолей, но чаще для лечения нарушений ритма сердца. В настоящее время криотехнологии применяются в хирургической и интервенционной аритмологии для лечения сложных нарушений ритма сердца, таких как фибрилляция предсердий, желудочковые аритмии, предсердные тахикардии.

Механизм разрушения новообразования, путём воздействия холода, представляет собой охлаждение ткани сверх низкой температурой до той степени, когда жидкость в ткани начнет кристаллизацию, подобный перепад температур приводит к разрыву мембраны на внутриклеточном уровне. Далее замораживаются кровеносные сосуды, которые ранее снабжали поражённую ткань, что останавливает кровообращение в этом участке, приводя к омертвлению тканей [10].

### **5. Применение криотехнологий в кардиохирургии и аритмологии**

Сейчас криотехнологии активно используются в области хирургической аритмологии для терапии сложных нарушений сердечного ритма, таких как фибрилляция предсердий, желудочковые аритмии и предсердные тахикардии. Криоэнергия задействует специфические биофизические процессы, которые эффективны и безопасны для человека. В кардиохирургии криотехнологии применяются для устранения опухолей и лечения аритмий [11].

Криоабляция представляет собой современную технологию для лечения нарушений ритма сердца. Метод криотехнологии применяется не только для борьбы с фибрилляцией предсердий, но и с другими аритмиями, особенно у детей. Суть метода заключается в воздействии холодом на те участки миокарда, которые вызывают аритмические проявления. Холод генерируется с помощью закиси азота, которая подается через специальный катетер-баллон или криокатетер. Криотехнология является перспективным направлением в кардиологии, так как она сопряжена с минимальными рисками для пациентов и обладает множеством преимуществ по сравнению с традиционными методами лечения. В мире такая технология борьбы с сердечной аритмией применяется относительно недавно.

При проведении криовоздействий пациенту нужна качественная анестезия для предотвращения движений и глубокого дыхания. В некоторых случаях производится интубация.

Наиболее часто встречаемое осложнение – повреждение диафрагмального нерва при его стимуляции. Интраоперационно (во время операции) это осложнение может возникнуть с шансом от 3 до 14%, а в сроки больше 6 месяцев после операции не превышает 1%.

### **6. Применение криотехнологий в нейрохирургии**

Основной целью криохирургии является выполнение криодеструкции клеток в патологической ткани, подвергаемой

---

замораживанию, как на поверхности тела, так и внутри органа, без вреда для здоровых клеток вокруг.

В криохирургии применяются два основных вида аппаратов: криоапликаторы и криозонды. Криоапликаторы используются для уничтожения больших участков ткани. Они находятся в прямом контакте с поверхностью объекта, который замораживается. Именно поэтому они широко применяются в различных областях, таких как дерматология, маммология, гастроэнтерология и хирургия печени. Криозонды, в свою очередь, используются для воздействия на маленькие патологические очаги в глубине ткани или органа, когда требуется бережное отношение к окружающим тканям.

В холодовом воздействии на клетку существует два разных диапазона температур: выше и ниже точки замерзания тканевой жидкости [12].

Выше точки замерзания клетка может давать физиологический ответ на понижение температуры. Синтез белков, которые обеспечивают адаптацию клеток к новым температурным условиям резко ускоряется в несколько десятков раз. В процессе этой адаптации многие клеточные процессы, останавливающиеся при холодовом шоке, возобновляются, и клетка начинает нормально функционировать в новых условиях. Белки холодового шока обладают радиопротекторным действием и способны предотвращать онкогенную трансформацию клеток [13].

Ниже точки замерзания как снаружи, так и внутри клетки образуются кристаллы льда. Это представляет большую опасность для клетки, так как образование кристаллов приводит к увеличению концентрации ионов и других компонентов в воде, которое вызывает повреждение клеточной структуры. Большую роль также играет скорость охлаждения клетки. При мгновенном замораживании происходит стеклование, и повреждения клетки отсутствуют.

## 7. Общая криотерапия

Криотерапия — это физиотерапевтическая процедура, основанная на кратковременном контакте кожного покрова тела с охлажденным до температуры  $-130^{\circ}\text{C}$  газом. Криотерапию широко применяют для лечения ряда тяжелых заболеваний, таких как ревматоидный артрит, бронхиальная астма, псориаз и т.д. Пациент с минимальным количеством одежды помещается в криогенный газ на 2-3 минуты. Криотерапию отпускают циклами до 20 дней, с частотой до 4 процедур ежедневно.

Медицинская практика показала, что холод низких температур (от  $-30$  до  $-180^{\circ}\text{C}$ ) положительно сказывается на работе иммунной, эндокринной и кровеносной систем [14].

Области применения криотерапии:

- хирургия: лечение ожоговых и резаных ран, рожистых воспалений, пролежней и язв;
- неврология: терапия мигреней, спастических гемипарезов, парапарезов, острого болевого вертеброгенного синдрома, рассеянного склероза;
- травматология, ортопедия: терапия сухожилий, связок, контрактур, патологий мягких и костных тканей, суставов;
- ревматология: лечение артрозов, ревматизма, артритов;
- косметология, дерматология: лечение заболеваний кожи, рубцов, пигментаций и т. д.

Существует два вида криотерапии: общая и локальная.

Общая проводится в течение 3 минут в криокамере, где поверхность кожи охлаждают до  $0^{\circ}\text{C}$  смесью углекислого газа и азота  $-100... -140^{\circ}\text{C}$ .

Подвергаясь таким образом температурному стрессу, организм запускает «механизм» стимулирования функций защиты и обменных процессов. Кожа при этом не повреждается.

Локальная криотерапия предполагает охлаждение небольшого участка кожи, погруженного в газовую среду с температурой  $-110... -160^{\circ}\text{C}$ . Процедуру рекомендуется проходить, утеплив руки и ноги шерстяными

рукавицами и носками во избежание обморожения конечностей и органов дыхания и используя ватно-марлевую повязку.

Различают неаппаратную и аппаратную локальную криотерапию.

При проведении неаппаратной криотерапии используются синтетические криопакеты или лед. Данные хладагенты имеют разную температуру: лед – от  $-10$  до  $-7$  °С, криопакеты – до  $-20$  °С. В связи с этим время проведения массажа или аппликаций кубиками льда и криопакетами разное: 30 и 10-20 минут соответственно. Криопакеты прикладывают через салфетку из-за их критически низкой температуры.

Аппаратная криотерапия проводится с помощью специальных установок, через которые подается струя охлаждающего газа или осушенного холодного воздуха к определенному участку поверхности кожи. Их температура (до  $-180$  °С) экстремальна для организма, поэтому время таких температурных воздействий равно нескольким секундам.

## **8. Применение криотехнологий в онкологии**

«Чрескожная криоабляция» — это малотравматичное, проходящее под местным наркозом удаление опухоли с помощью её заморозки. Криотехнологии уже используются в онкологии, однако подобный метод опробован впервые. Через кожу в опухоль устанавливаются миниатюрные криозонды, в которые подается сжиженный газ аргон. При испарении газа на кончике криозонда происходит охлаждение, и опухоль замораживается до минус 40 градусов по Цельсию. Это позволяет полностью уничтожить раковые клетки. При этом удаётся добиться минимального повреждения тканей, расположенных рядом [15].

Отметим, что существует ещё два метода щадящего удаления опухоли — радиочастотное и микроволновое. Однако врачи отмечают, что преимущество новой технологии в том, что гибель опухолевых клеток не сопровождается полным разрушением их белковых структур. Благодаря этому после операции иммунная система человека способна их

распознавать, что, как считается, может приводить к усилению иммунной реакции организма пациента против появления новых раковых клеток.

Современные методы лечения экстраабдоминальных десмоидных опухолей демонстрируют высокий уровень рецидивов и сопутствующих заболеваний. Впоследствии была исследована криохирургия как альтернатива.

Было проведено шестнадцать абляций, каждая из которых продемонстрировала полное соответствие определённому предоперационному плану и модели. Вывод, сделанный по результатам абляций: криохирургия с использованием трёхфазного протокола, как описано, может улучшить общий результат будущих процедур абляции [16].

### **Заключение**

Сегодня криотехнологии входят во все сферы человеческой деятельности, они не только стали неотъемлемой частью высоких технологий, но и играют очень важную роль в решении многих задач, в том числе и в медицине. Несмотря на предпочтение, отдаваемое врачами традиционным, а также химическим способам лечения, один из физических факторов – низкая температура – находит свое применение. Многообразие разработанных в настоящее время аппаратных и неаппаратных криотехнологий позволяет расширять с каждым годом показания к их применению. Баланс изменений, развивающихся в организме под действием холода, определяется способом криовоздействия на пораженный очаг или тело в целом.

Чтобы успешно применять метод криохирургии, необходимо точно представлять, в чем заключается главный механизм разрушения клеток, как прогнозировать глубину зоны криодеструкции клеток при замораживании задаваемого объема ткани и что происходит с тканью, окружающей зону криовоздействия.

Однако, анализ научных работ показывает, что потенциальные возможности криохирургии еще недостаточно оценены и изучены. Необходимо более глубокое комплексное экспериментальное и клиническое изучение проблемы, на новом техническом уровне с использованием последних достижений диагностических методов и средств.

### Литература

1. Гута-клиник: Криотерапия - что это такое [Электрон. ресурс] URL: <https://gutaclinic.ru/articles/zachem-nuzhna-krioterapiya-i-v-chem-ee-polza/> (дата обращения 12.10.2024).
2. Википедия [Электрон. ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0>. (дата обращения 13.10.2024).
3. Криомаш НПО [Электрон. ресурс] URL: <https://cryomash.com/articles/kriotehnologii/>. (дата обращения 21.09.2024).
4. Новая технология для сохранности и трансплантации органов/ Habr [Электрон. ресурс] URL: <https://habr.com/ru/articles/841250> (дата обращения 21.09.2024).
5. Пустынский И.Н., Пачес А.И., Любаев В.Л. и др. Влияние локального криогенного воздействия на биологическую ткань // Междунар. сб. науч. трудов под ред. д.м.н. В.И. Коченова «Медицинская криология». — Вып. № 6. — Н. Новгород, 2006. (дата обращения 12.10.2024).
6. Фесенко Е.Е., Гахова Э.Н. Действие холода на клетку // Сб. докладов первой общерос. научно-практ. конф. «Криомедицина. Современные методы». — М., 2007. (дата обращения 12.10.2024).
7. Криохирургия в Германии [электрон. ресурс] URL: [https://medicine-service.de/\\_old%20site/clinics/crionhirurgiya.htm](https://medicine-service.de/_old%20site/clinics/crionhirurgiya.htm). (дата обращения 13.10.2024).
8. История криохирургии / В.А. Кубышкин [и др.] // Хирургия. –2015. –№ 5. –С. 62-74.
9. Аверьянов М.Ю. Перспективы криотехнологий в амбулаторной хирургической практике / М.Ю. Аверьянов, В.В. Слонимский // Сиб. мед. вестн. – 2012. – № 3. – С. 24-28.
10. Криохирургия / под ред. А. Ш. Ревешвили, А. В. Чжао, Д. А. Ионкина - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2019. - 376 с. - ISBN 978-5-9704-4976-9. [Электрон. ресурс] URL: [https://library.mededtech.ru/rest/documents/ISBN9785970449769/?anchor=paragraph\\_9j7e2](https://library.mededtech.ru/rest/documents/ISBN9785970449769/?anchor=paragraph_9j7e2). (дата обращения 21.09.2024).
11. Криохирургия / под ред. А. Ш. Ревешвили, А. В. Чжао, Д. А. Ионкина . - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2019. - 376 с. Глава 6. Применение криотехнологий в кардиохирургии и аритмологии [Электрон. ресурс] URL:

- <https://www.rosmedlib.ru/doc/ISBN9785970449769-0008/-esf2k2z11-tabrel-mode-pgs.html>. (дата обращения 21.09.2024).
12. Криодеструкция в нейрохирургии / С.А. Васильев [и др.] // Хирургия. – 2013. – № 2. – С. 105-108.
  13. Криохирургия / под ред. А. Ш. Ревитшвили, А. В. Чжао, Д. А. Ионкина. – Москва: ГЭОТАР Медиа, 2019. – 376 с. Глава 5. Криодеструкция в нейрохирургии. [Электрон. ресурс] <https://www.rosmedlib.ru/doc/ISBN9785970449769-0007/-esf2k2z11-tabrel-mode-pgs.html> (дата обращения 21.09.2024).
  14. Лапшин Николай: Общая криотерапия. [Электрон. ресурс] URL: <https://institut-immunologii.ru/physiotherapy/obschaya-kriotherapy.php> (дата обращения 21.09.2024).
  15. Онкологический центр им. Н.П. Напалкова [Электрон. ресурс] URL: <https://oncocentre.ru/article/peterburgskie-onkologi-budut-primenyat-novy-j-metodzamorazhivaniya-opuholej/#:~:text=B2%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%A6%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%B8%D1%8E> (дата обращения 21.09.2024).
  16. Современные возможности криогенного метода в онкологии / А.И. Пачес [и др.] // Вестн. москов. онкологич. об-ва. – 2008. – № 3. – С. 3-5.

## НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНТЕРФЕЙС

А.И. Волкова, С.А. Иванова, А.Н. Магомедова, Е.Д. Кондратьева,  
С.В. Рощупкина, Е.Ф. Воронин (ред. А.Ю. Смирнов, К.Р. Пузова)

### Введение

В настоящее время нейрокомпьютерные интерфейсы (НКИ) находятся на начальном этапе своего развития, однако уже демонстрируют значительные достижения и имеют работающие прототипы. Исследования в этой области активно ведутся. Нас заинтересовал вопрос о конкретных достижениях НКИ, поэтому целью работы стало изучение следующих аспектов: определение НКИ, принципы их работы, достижения в этой сфере, включая разработки в нашей стране, и перспективы дальнейшего развития.

Эта тема актуальна, поскольку технология НКИ только начинает внедряться в повседневную жизнь.

Настоящая научно-исследовательская работа (НИР) основана на анализе данных из других научно-исследовательских работ и различных источников с целью всестороннего изучения нейрокомпьютерных интерфейсов.

### 1. Что такое нейрокомпьютерный интерфейс?

Нейроинтерфейс, также называемый «нейрокомпьютерным интерфейсом», либо «интерфейсом 'мозг-компьютер'» представляет из себя технологию, обеспечивающую прямое взаимодействие между мозгом человека и электронным устройством, чаще электронной вычислительной машиной либо роботом [1]. В основе этой технологии лежит метод электроэнцефалографии, заключающийся в регистрации биоэлектрической активности головного мозга с поверхности кожи головы с помощью электродов. Этот метод позволяет регистрировать изменения активности мозга с высокой точностью и поэтому широко применяется в медицине. Однако он также позволяет с определённой достоверностью

определять намерения человека на основе паттернов мозговой активности. Принцип работы заключается в считывании активности головного мозга и преобразовании паттернов этой активности в команды для управления подключенными устройствами. Например, управление нейропротезом осуществляется следующим образом: сигнал о намерении согнуть руку, поступающий от мозга, улавливается нейроинтерфейсом, преобразуется в соответствующую команду и передается в микроконтроллер протеза. Микроконтроллер преобразует команду в последовательность действий, приводящих к сгибанию искусственной руки.

## **2. История создания**

История интерфейса «мозг - компьютер» (ИМК) начинается с 1875 года, ещё до изобретения компьютера, когда Ричард Кэтон обнаружил электрические сигналы на поверхности мозга животного, что и послужило отправной точкой к созданию нейроинтерфейса.

Первым же нейрокомпьютерным интерфейсом принято считать Stimoseiver – электродное устройство, которое управлялось по беспроводной сети с помощью FM-радио, созданного в 50-х годах прошлого века. Его изготовил американский и испанский учёный Хосе Дельгадо. Испытания он провёл на арене для корриды, что получилось очень эффектно, Дельгадо вышел против быка и когда зверь побежал на него учёный нажал кнопку на пульте управления нейроинтерфейсом, благодаря чему изменил направление движения быка (рис. 1) [2].



Рисунок 1 – Хосе Дельгадо изменяет движение быка.

И уже в середине 1960-х гг. проводились эксперименты на обезьянах, которым имплантировали мультиэлектродные матрицы для регистрации потенциалов коры и электрической стимуляции. Было показано, что сенсомоторная кора активировалась, когда обезьяны производили движения, а электростимуляция коры, наоборот, вызывала сокращение мышц [1].

В 1980-х гг. начались исследования, направленные на восстановление зрения людям при помощи нейрокомпьютерных интерфейсов. Полностью слепым в зрительную кору имплантировали электродную матрицу. Вызываемые зрительные ощущения — своеобразные нейроэлектрофотопиксели — были названы фосфенами. Давно или вообще никогда не видевшие света люди научились распознавать несложные узоры из фосфенов. В настоящее время электросимуляционное зрение внедряется в клиническую практику: достаточно сложное изображение с видеокамеры (одной или нескольких) передается на нейроимпланты глаза или зрительной коры [1].

### 3. Принцип работы

Общая схема работы интерфейса такова - электроды считывают сигналы мозга, которые в дальнейшем обрабатываются микроконтроллером НКИ - производится очистка от шумов и артефактов, которые могут быть вызваны как внешними факторами, так и самим устройством, после чего производится обработка полученного сигнала в целях установления, какой команде он соответствует - для этой задачи зачастую используют искусственные нейронные сети, которые обладают хорошими способностями к обработке данных и адаптации. Обработка обычно проводится уже на внешнем устройстве согласно заранее написанной программе, хотя некоторые - узкоспециализированные, берут эту функцию на себя. После чего выявленная команда подается на управляемое устройство, где и обрабатывается в соответствии с его спецификой. Принципы работы НКИ описаны с опорой на работу.

В связи с частым использованием в обработке сигнала нейросетей и иных обучаемых алгоритмов, а также с тем фактом, что у разных людей активность мозга в той или иной степени различается, использование подобных устройств зачастую требует длительных тренировок, продолжительность которых зависит от количества воспринимаемых НКИ команд. В процессе этих тренировок программа нейроинтерфейса учится наиболее правильно интерпретировать команды конкретного пользователя [1].

Обычные НКИ, разработанные для парализованных, использовали визуальный интерфейс, такой как курсор компьютера или виртуальная клавиатура, чтобы замкнуть контур управления между субъектом и интерфейсом. Хотя эта модальность подходит для ситуаций, когда пользователь НКИ интересуется только положением и конфигурацией управляемого устройства, визуальная обратная связь недостаточна для захвата объектов, когда желательны тактильные (связанные с осязанием) чувства, такие как сила захвата. Чтобы преодолеть этот недостаток, тактильный информационный канал, такой как вибротактильная обратная

связь, может предоставить пользователю соответствующую сенсорную информацию от нейропротеза [3].

#### **4. Сферы, в которых используется данная технология**

Нейрокомпьютерные интерфейсы (НКИ) наиболее широко применяются в медицине. Рассмотрим примеры существующих медицинских изделий, использующих технологию НКИ:

- Кохлеарные имплантаты являются наиболее успешной разработкой из числа сенсорных нейрокомпьютеров. Пациенты с такими имплантатами могут распознавать речь, отличать женские голоса от мужских и даже воспринимать мелодии. Двусторонняя имплантация восстанавливает объемный слух [4].

- Зрительные протезы способны восстановить простые зрительные ощущения. Их можно разделить на две группы: протезы сетчатки и мозговые протезы. Протезы сетчатки применяются при патологиях, не затрагивающих зрительный нерв, а мозговые — при повреждениях зрительного нерва, когда для вызова зрительных ощущений необходимо стимулировать зрительные структуры мозга, например зрительную кору [4].

- Нейропротезы, экзоскелеты, роботизированные инвалидные кресла и телеуправляемые роботы помогают в реабилитации больных, замещают утраченные функции или усиливают физические возможности здоровых людей [3].

- Мозг-компьютер для тренировки двигательных функций. Эти системы позволяют пациентам, страдающим от параличей или парезов, восстанавливать контроль над своими движениями, используя силу мысли [5].

Технология НКИ демонстрирует значительный потенциал, что привлекает всё больше специалистов к её изучению.

## 5. Типы нейрокомпьютерного интерфейса, используемых в сфере медицины

Нейроинтерфейсы классифицируются по степени инвазивности на три основных типа: инвазивные, полуинвазивные и неинвазивные.

- Инвазивные внедряются в ткань мозга пациента с помощью сложной хирургической операции. Из-за высоких рисков инвазивные НКИ пока что используются только когда другие опции недоступны — например, для пациентов в тяжелых состояниях, таких как паралич и другие нейромышечные нарушения. Полуинвазивные, как и инвазивные, имеют прямой контакт с мозгом, но только на его поверхности, без внедрения в ткань [6].

- Неинвазивные НКИ — это устройства с электрическими датчиками, которые обычно крепятся на голове носителя и считывают электрические сигналы мозга, не касаясь непосредственно его тканей. Они хороши, когда точность не слишком важна: игры, дополненная реальность, управление простыми действиями роботов и других похожих задач. Такие нейроинтерфейсы сегодня можно встретить даже в магазинах детских игрушек: давно уже существуют игры, в которых управлять движением объекта можно с помощью «силы мысли» и специального устройства, которое надевается на голову [6].

Ключевое различие между инвазивными и неинвазивными интерфейсами заключается в качестве регистрируемых сигналов. Инвазивные интерфейсы обеспечивают более детальную и точную регистрацию мозговой активности, в то время как неинвазивные регистрируют сигналы, содержащие значительный шум, что затрудняет их обработку и интерпретацию, приводя к потенциальным ошибкам и потере важной информации.

Нейрокомпьютерные интерфейсы также подразделяются на односторонние и двусторонние. Первые способны считывать сигналы мозга, вторые — ещё и транслировать их обратно в мозг. Одной из разновидностей двусторонних нейроинтерфейсов являются

нейропротезы. Их цель — заместить функции недееспособного участка нервной системы пациента [6].

### **6. Результаты, достигнутые на сегодняшний день. Примеры эффективных разработок в сфере медицины**

Технология НКИ нашла довольно обширное применение в реабилитации и протезировании.

Помощь в реабилитации людям, перенёвшим инсульт. У таких пациентов часто наблюдаются сенсомоторные нарушения, включая гемипарез, спастичность и сенсорные нарушения, которые снижают двигательную функцию и качество жизни. Современные методы реабилитации направлены на восстановление двигательной функции, но при этом часто упускается из виду вклад восприятия в двигательный контроль и обучение. Они основаны на принципах нейропластичности, способствующих моторному научению, которое сосредоточено на восстановлении моторной функции, утраченной из-за пареза, однако вклад перцепции в моторный контроль и обучение часто упускают из виду, и в настоящее время он недостаточно изучен. Предполагается, что восстановление навыков движения после инсульта зависит от обучения парадигмам движений [7].

Традиционно в ИМК используется визуальная обратная связь: изменение изображения на экране компьютера, перемещение курсора и т.д. Однако для пациентов после инсульта, часто страдающих от нарушений зрения или внимания, визуальная обратная связь может быть неэффективной или даже утомительной. Поэтому исследователи активно изучают альтернативные методы обратной связи, в частности, тактильную ОС. В данном исследовании сравнивалась эффективность быстрой тактильной ОС с традиционной визуальной обратной связью в системе ИМК, предназначенной для реабилитации пациентов после инсульта.

Ранние исследования показали, что тактильная обратная связь, срабатывающая только после длительного (несколько секунд и более)

мысленного представления движения, может быть эффективна. Однако, длительные периоды концентрации могут быть затруднительны для пациентов с когнитивными нарушениями, часто сопутствующими инсульту. Поэтому одной из задач стало изучение эффективности быстрой тактильной обратной связью, реагирующей на короткие (0.5 секунды) отрезки электроэнцефалограммы. Это позволило бы создать систему с более оперативной и естественной обратной связью, что важно для мотивации пациента и повышения эффективности тренировок [4].

Также технологии нашлось применение и в области протезирования.

К примеру, в последнее десятилетие ведутся обширные разработки роботизированных ортезов и реабилитационных комплексов для восстановления пациентов с сенсомоторным дефицитом после повреждения центральной нервной системы. Только при использовании роботизированных методов реабилитации становится возможной активация механизмов нейропластичности, так как двигательное научение, которое ставится основной целью реабилитационного процесса, требует не менее 400 повторений стереотипного двигательного акта для закрепления паттерна движения в памяти. И долговременную двигательную адаптацию с одновременной коррекцией ошибок по методу биологической обратной связи адекватно обеспечивает лишь использование в реабилитационном процессе интерфейса «мозг-компьютер» [5].

Так же было придуманы различные методы работы ИМК.

Одним из таких методов работы НКИ является вибротактильная обратная связь — это простой и компактный механизм, обычно используемый в неинвазивных системах тактильной обратной связи, поскольку он безопасен, прост в реализации и освобождает пользователя от необходимости поддерживать визуальное внимание на приводе. Многие системы вибротактильной обратной связи были разработаны для передачи информации через тактильный интерфейс, когда визуальное внимание считалось неэффективным или ненужным. До этого исследования в

области протезирования системы обратной связи с использованием передачи интенсивности силы захвата. Поскольку любое продвинутое нейропротезное управление неизбежно потребует передачи различных тактильных входов пользователю, интеграция тактильной биологической обратной связи в приложения НКИ заслуживает изучения[5].

Ещё одним возможным применением данной технологии является возможность немым говорить.

НКИ могут декодировать мысли человека в слова. Команда учёных из Стэнфордского университета разработала экспериментальный нейрокомпьютерный интерфейс, который может декодировать до 62 слов в минуту, что соответствует естественной скорости речи. В исследовании принял участие немой пациент, страдающий боковым амиотрофическим склерозом. Он пользовался специальной программой-словарём, которая предварительно была обучена распознавать до 125 000 слов в потоке сигналов от его мозга.

Одним из самых известных ИМК можно по праву считать чип Neuralink, разработанный Илоном Маском.

Чип Neuralink – это интерфейс «мозг-компьютер». Он передаёт информацию из мозга прямо на внешнее устройство [8].

Передача данных через чип Neuralink происходит по схожему принципу. Электроды фиксируют поступающий электрический импульс от нейронов мозга, расшифровывают его и отправляют команду. Когда чип «захватил» нужные сигналы, он передаёт их по Bluetooth в приложение Neurailnk на смартфоне или ПК. Получив сигнал, компьютер выполняет команду: тапнуть, закрыть вкладку, переместить курсор [8]. Это позволяет людям с ограниченными возможностями полноценно взаимодействовать с техникой.

Размер самого импланта – 28x8 мм. Внутри находится процессор величиной 4x4 мм. От импланта отходят 64 нити в четыре раза тоньше человеческого волоса. Они содержат до 1500 электродов для приёма сигналов[8]. Чип устанавливается под черепом для лучшего считывания

информации, это делается с помощью высокоточной операции, выполняемой роботом.

### **7. Развитие нейрокомпьютерных интерфейсов в России**

Одним из достижений отечественного производства в данной области является шлем-нейроинтерфейс BrainReader (рис. 2), предсерийный образец которого в прошлом году был представлен на выставке БИОТЕХМЕД в 2019. Над созданием технологии работал Институт электронных управляющих машин (ИНЭУМ) им. И.С. Брука, входящий в состав концерна «Автоматика». По изначальному плану его хотели выпустить в продажу в 2019 году, но наша команда не нашла каких-либо его упоминаний после 29 апреля 2019.



Рисунок 2 – Шлем-интерфейс BrainReader

В разработке реализован механизм адаптивной цифровой обработки электрической активности мозга и неинвазивный метод снятия данных на основе сухих электродов.

Одно из главных преимуществ – удобство применения. Интерфейс встроен в специальный шлем, который можно легко снять и надеть любой

человек без дополнительной помощи. Сухие электроды не нужно смачивать электропроводящим гелем [7].

Точность обработки сигнала при этом не падает даже в местах большого скопления людей, в транспорте, в окружении большого числа передающих устройств. Специально для этого была создана программно-аппаратная платформа, обрабатывающая сигналы и «очищающая» их от помех. Электроды нейроинтерфейса – это, фактически, антенна, которая ловит весь эфир. При этом сигналы, идущие от мозга, слабее естественного шума. Специальный алгоритм обработки этих сигналов является одной из ключевых особенностей отечественной разработки [2].

Также одной из интересных отечественных разработок является НейроЧат, это стартап, взявший своё начало в МГУ и сейчас активно развивающийся и продающийся.

Он предоставляет возможность людям с серьезными нарушениями речи и двигательных функций взаимодействовать с окружающим миром. С помощью анализа электроэнцефалограммы и специального программного обеспечения NeuroChat распознает команды мозга и преобразует их в текст, чтобы пользователи могли выразить свои мысли и потребности [9].

## **8. Перспективы**

Разработка нейроинтерфейсов, безусловно, является одним из самых прогрессирующих направлений на современном этапе развития науки и техники. Востребованность подобных систем продиктована необходимостью коммуникации человека с многочисленными электронно-вычислительными и робототехническими устройствами, в том числе и немедицинского назначения. В связи с этим НКИ имеет огромный потенциал для развития в дальнейшем не только в медицинской сфере, но и в быту [10].

На данный момент имеются даже довольно интересные и функциональные образцы такие как Stimoceiver, Neuralink, BrainReader и многие другие.

### Заключение

Нейрокомпьютерные интерфейсы (НКИ) демонстрируют значительный потенциал и уже достигли существенных успехов как в медицине, так и в сфере потребительской электроники, где они используются для управления техникой силой мысли. Вполне вероятно, что в ближайшем будущем НКИ станут неотъемлемой частью повседневной жизни.

В ходе научно-исследовательской работы был в достаточной степени изучен принцип работы нейроинтерфейсов и то, чего удалось достичь, а также были рассмотрены возможности дальнейшего развития. В отличие от медицины, где НКИ получили широкое распространение, внедрение этой технологии в потребительский сектор пока ограничено.

Использованные в данной работе НИР располагают огромной и ценной информацией для изучения НКИ.

### Литература

1. Лунев Д.В., Полетыкин С.К., Кудрявцев Д.О. Нейроинтерфейсы, обзор. <https://cyberleninka.ru/article/n/neyrointerfeysy-obzor-tehnologiy-i-sovremennye-resheniya> (дата обращения 29.09.2024)
2. Нейроинтерфейс: управлять силой мысли. <https://rostec.ru/media/news/neyrointerfeys-upravlyat-siloy-mysli/#start> [электронный ресурс] (дата обращения 25.10.24)
3. Aniruddha Chatterjee, Vikram Aggarwal, Ander Ramos, Soumyadipta Acharya & Nitish V Thakor. A brain-computer interface with vibrotactile biofeedback for haptic information - <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-4-40> [электронный ресурс] (дата обращения 29.09.2024)
4. Нейроинтерфейсы, обзор // Вестник РГМУ <http://brain.bio.msu.ru/papers/Kaplan Zhigulskaya Kirjanov 2016 Vestnik%20RGMU Studying ability control phantom fingers P300 BCI.pdf> (дата обращения 29.09.2024)
5. Рубакова А.А., Иванова Г.Е., Булатова М.А. Активация процессов сенсомоторной интеграции с помощью интерфейса «МОЗГ–КОМПЬЮТЕР» - [https://vestnik.rsmu.press/files/issues/vestnik.rsmu.press/2021/5/2021-5-833\\_ru.pdf?lang=ru](https://vestnik.rsmu.press/files/issues/vestnik.rsmu.press/2021/5/2021-5-833_ru.pdf?lang=ru) (дата обращения 29.09.2024)
6. Напрямую в мозг: что такое нейроинтерфейсы и как они могут изменить человека <https://habr.com/ru/companies/gazprombank/articles/773846/> [электронный ресурс] (дата обращения 26.10.24)

7. Григорьев Н.А., Лукьянов М.В., Гордлеева С.Ю., Савосенков А.О., Пимашкин А.С., Казанцев В.Б., Каплан А.Я. Изучение характеристик интерфейса «мозг-компьютер» моторно-воображаемого типа с быстродействующей тактильной обратной связью - <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-harakteristik-interfeysa-mozg-kompyuter-na-osnove-predstavleniya-dvizheniy-s-bystrodeystvuyushey-taktilnoy-obratnoy/viewer> (дата обращения 29.09.2024)
8. Киберпанк близко: зачем нужен и как работает чип Илона Маска <https://blog.skillfactory.ru/chip-ilona-mask/> [электронный ресурс] (дата обращения 20.11.2024)
9. Нейроинтерфейсы в России: как вернуть движения и вновь обрести голос силой мысли <https://pharmmedprom.ru/articles/neirointerfeisi-v-rossii-kak-vernut-dvizheniya-i-ynov-obresti-golos-siloi-misli/> [электронный ресурс] (дата обращения 20.11.2024)
10. Кастальский И.А. Анализ сигналов сетевой активности биологических систем и прикладные аспекты их использования в устройствах нейроинтерфейса - <https://diss.unn.ru/files/2017/756/autoref-756.pdf> (дата обращения 29.09.2024)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОСТУПНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА

М.К. Лобачева, М.Д. Ляхов, А.Р. Марченко, Ю.Ю. Михайлова,  
М.А. Стаферова (ред. А.Ю. Смирнов, И.А. Сукач)

### **Введение**

#### ***Выбор темы и ее актуальность***

Проект связан с созданием тяговых протезов для инвалидов. Лишившись конечности человек становится ограниченным. Для таких людей приобретение доступного бионического или тягового протеза и возможность (при необходимости) его своевременной замены и ремонта – это решение проблем с самообслуживанием и трудоустройством, а также возможность ощутить себя полноценным человеком.

Актуальность проекта. В современной медицине существует множество способов восстановления отсутствующих конечностей у людей, начиная с простых костылей и заканчивая современными бионическими протезами.

Наш вариант тягового протеза отличаются от других вариантов своей экономической доступностью, поскольку для создания такого протеза используются недорогие материалы и приборы, а также используется малое количество времени.

В современном мире из-за постоянных вооруженных конфликтов постоянно растет число людей, нуждающихся в протезах, и, по нашему мнению, продукт нашего проекта будет достаточно востребован сегодня и в будущем.

#### ***Цели и задачи практической части проекта***

Цель: создать бионический протез из доступных материалов.

Задачи:

1) спроектировать конструкцию будущей модели на основании анатомии и физиологии человека;

- 2) напечатать детали на 3D принтере;
- 3) собрать готовую модель;
- 4) запрограммировать модель согласно функциям.

## 1. Протезы

### *Виды протезов и их разница*

По уровню ампутации протезы делятся на:

- 1) протезы пальца;
- 2) протезы кисти;
- 3) протезы предплечья;
- 4) протезы плеча (и при вычленении плечевого сустава);

Существует два типа протезов:

1. Косметические — выполняют только декоративную функцию (рисунок 1).



Рисунок 1 – Косметический протез предплечья [1]

2. Функциональные — активные протезы, которые позволяют выполнять хват. Управляются посредством различных механизмов. Могут быть в косметической оболочке, имитирующей внешний вид руки, либо иметь современный технологический дизайн.

Функциональные отличаются принципом работы, материалом, из которого сделан протез, ценой и временем адаптации и имеют ещё 3 вида:

1. Тяговые (активные, механические). В таких движение осуществляется за счет пружин и тросов. Это менее функционально, но дешевле по сравнению с бионическими протезами.

2. Миоэлектрические (бионические). Они оснащены сенсорными датчиками, электрическими двигателями и аккумуляторными батареями.

3. Рабочие. Они созданы специально, чтобы выполнять какие-то функции, например, перемещать предметы или заниматься спортом.

### ***Как устроены тяговые и бионические протезы***

В протез устанавливаются датчики, и оставшиеся мышцы руки, производят импульсы, которые и позволяют управлять рукой.

### ***Где производят протезы***

В России таким занимаются только две компании, это «Моторика» и MaxBionic.

В мире таких компаний больше:

Bebionic (Великобритания);

Ossur (Исландия);

Ottobock (Германия);

Vincent Systems (Германия);

Taska (Новая Зеландия);

Steeper (Великобритания).

## **2. Общая статистика**

### ***Количество протезов в год***

Каждый год в мире производится около 1 миллиона ампутаций. В большинстве случаев, конечности человека удаляются из-за травм. Однако, иногда к операции прибегают при серьезных заболеваниях сосудов, когда у пациентов начинают умирать ткани. Некоторые люди так и остаются жить без удаленной части тела, но примерно 10% инвалидам удается купить протезы. Точных цифр о количестве протезов нет. [2, 3]

### ***Трудоспособные граждане с протезами***

Протезы сегодня не препятствуют трудоустройству, а наоборот, открывают новые карьерные возможности. Протезы позволяют выделиться в любой профессии. Статистика по уровню занятости людей с ограниченными возможностями по сравнению с теми, у кого их нет

Уровень безработицы среди людей с ограниченными возможностями в Соединенных Штатах высок и продолжает расти по сравнению с теми, у кого их нет.

Только 19,3% людей с ограниченными возможностями в возрасте от 18 до 64 лет имеют работу.

Для сравнения, 65,5% людей без инвалидности в том же возрастном диапазоне имеют работу.

Уровень бедности среди людей с ограниченными возможностями также выше, чем среди людей без инвалидности.

В целом, понимание проблем, с которыми сталкиваются люди с ограниченными возможностями на рынке труда, имеет решающее значение для создания более инклюзивной и доступной рабочей среды. Повышая осведомленность и уровень образования, мы можем помочь устранить барьеры на пути трудоустройства и создать больше возможностей для людей с ограниченными возможностями.

В России законодательно утверждено, что люди с ампутированными нижними конечностями могут водить авто с ручным управлением, а тем, у кого отсутствует одна рука или кисть, позволено управлять машиной с автоматической коробкой передач. При этом отсутствие обеих верхних конечностей или кистей является медицинским ограничением к управлению транспортным средством категории «В». [4]

### ***Возможность заниматься творчеством и спортом***

Для многих потеря руки будет трагедией, от которой сложно, но можно оправиться. Для музыканта подобное несчастье может обернуться окончанием карьеры. В наше время, однако, кое-что можно исправить благодаря высоким технологиям.

Изобретение профессора Гила Вейнберга (Gil Weinberg) из технологического института Джорджии помогло профессиональному барабанщику Джейсону Барнсу, потерявшему руку. Музыкант получил протез, который позволил ему не только играть как прежде, но и повысить своё мастерство. Теперь барабанщик играет в «три руки». Механический протез способен удержать сразу две барабанные палочки: первую контролирует сам музыкант при помощи мышцы бицепса, а вторая выбивает выбранный ритм. Получается очень необычная техника игры, которую здоровому человеку повторить не под силу. Гил Вейнберг считает, что такой протез может оказаться полезным не только музыкантам, но и людям других профессий, где требуется ловкость рук. [5]

Россия тоже не отстает от западных коллег в этом направлении. Петербургский международный экономический форум в 2024 году стал хорошей площадкой для компаний, занимающихся разработкой современных технологий для различных сфер жизни. Одной из организаций, представивших свою продукцию, стала "Моторика", которая создает протезы. Амбассадор компании Максим Емец рассказал каким будет протезирование будущего и продемонстрировал способности уже существующих бионических рук, сыграв на гитаре. [6, 7]

Спортивные протезы помогают людям участвовать в соревнованиях, в том числе в Паралимпийских играх. Благодаря использованию спортивных протезов Йоханнес Флорс (26 лет) (рисунок 2) улучшил свой собственный мировой рекорд в беге на 200 м и завоевал «золото» на Паралимпийских играх в Токио в августе 2021 г.

Не так давно спортсмены-паралимпийцы носили во время спортивных соревнований свои обычные протезы. Лишь в 80-х годах прошлого столетия они стали носить специально разработанные протезы для бега на короткие дистанции. В отличие от человеческих ног или спортивных протезов, обычные протезы не так легко изгибаются и затрудняют выполнение движений, необходимых для определенных видов спорта. «Неожиданно появились спортивные протезы – и все изменилось».



Рисунок 2 – Йоханнес Флорс - самый быстрый бегун на протезах в мире

Компания Ottobock – это производитель популярных спортивных протезов и инвалидных колясок, который уже более 30 лет поставляет устройства для спортсменов-паралимпийцев. Эта немецкая компания, получившая известность благодаря носимым биомеханическим устройствам, занимается изготовлением протезов уже более 100 лет. Вначале компания производила деревянные протезы конечностей для тех, кто пострадал во время Первой мировой войны. Сегодня ее продукция включает протезы, работающие с использованием ИИ, включая, например, биомеханическую кисть руки «beBionic»; благодаря этим изделиям компания задает новые технологические стандарты в сфере производства протезов.

В настоящее время компания Ottobock является владельцем 1886 патентов, относящихся более чем к 540 патентным семьям, включая многочисленные высокотехнологичные изделия для паралимпийцев.

Так, например, подвижный протез стопы 1E95 используется для таких видов спорта, как баскетбол и волейбол. Этот протез имеет простую

конструкцию и облегчает ходьбу, бег и резкую смену направления движения. Фирма Ottobock разработала и запатентовала протез стопы Runner 1E91 специально для спринтеров и прыгунов в длину. Этот протез стопы, который можно легко адаптировать к потребностям разных людей, носят многие легендарные участники Паралимпийских игр. Его силовая линия расположена ближе к центру тяжести тела, что делает использование углеродной пружины более эффективным. [8]

### ***Доступность протезов***

В России согласно Федеральному закону "О социальной защите инвалидов в Российской Федерации" от 24.11.1995 № 181-ФЗ нуждающийся человек может получить протез конечности бесплатно, также он может оплатить протез собственными средствами и далее получить от государства компенсацию. Для этого нужно обратиться в региональный офис Фонда социального страхования.

Для получения протеза бесплатно, нужно обратиться к изготовителю протезов, чтобы он смог подобрать протез и назначить комиссию с выдачей медико-технического заключения.

Вторым этапом будет обращение в ту больницу или медицинский центр, где есть регистрация по месту жительства. Далее, пройдя медкомиссию, человек получает группу по инвалидности. После этого выдается направление из Фонда социального страхования с возможностью обратиться к производителю протезных конструкций, чтобы получить протез.

Если человек собирается купить протез за собственные средства, то нужно получить заключение. Далее человеку выплачивают компенсацию за израсходованные средства.

Стоимость зависит от вида протеза.

Бионические протезы (в России) стоят от 300 тысяч рублей.

Тяговые протезы от 100 тысяч рублей.

Бионические и тяговые протезы "Моторики" можно получить в любом регионе России. Ежегодно Фонд социального страхования РФ

оплачивает для людей с инвалидностью изготовление более 8300 протезов рук на сумму свыше 700 млн руб. Получить современный протез от государства может каждый, кто в нем нуждается.[9]

### 3. Работа над созданием модели

#### *Создание чертежа*

Форма протеза выбрана из примера работы механического протеза, а также из-за простоты производства (рисунок 3).

Штриховка на рисунке 3 указывает на оболочку (стенки) пластика. Разрезы на фалангах пальцев (В-В) требуются для того, чтобы провести проволоку (за счет нее палец будет сгибаться). Хомуты (А-А и С-С) используются для соединения фаланг пальца.

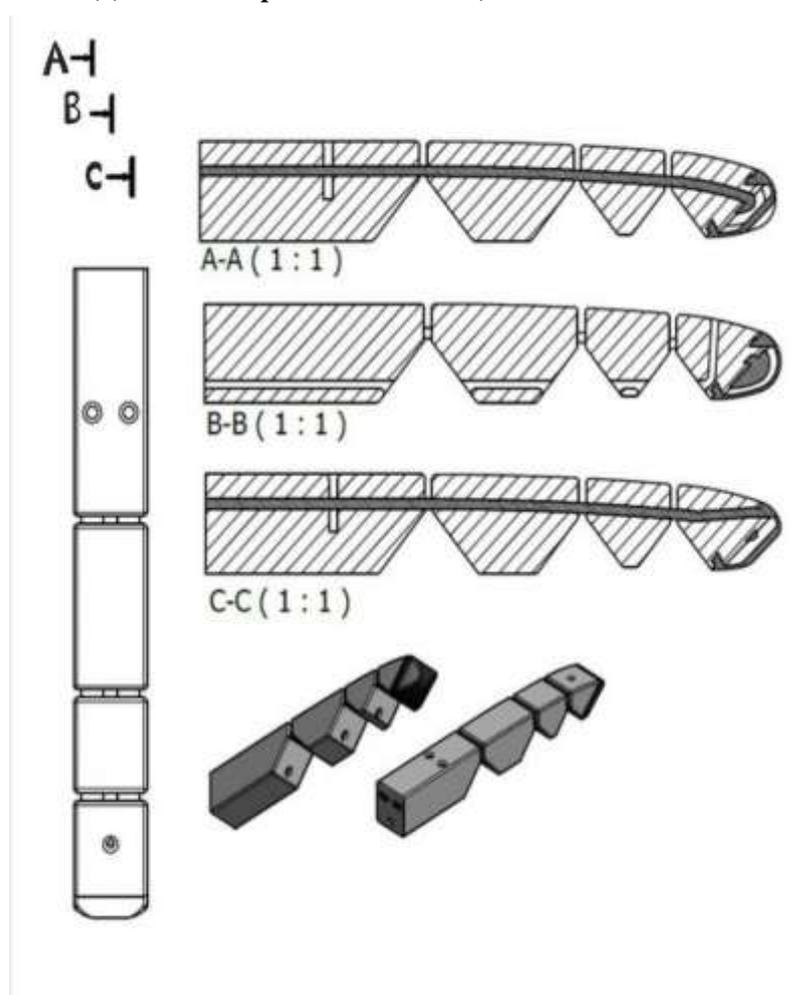


Рисунок 3 – Чертеж.

### ***Поиск комплектующих***

Основные детали создаются на 3D принтере с помощью пластиковой смолы.

Комплектующие изображены на рисунке 4. В их состав входят:

- 1) платы для программирования;
- 2) ЭМГ Датчики (электромиография);
- 3) моторчики;
- 4) прочие запчасти.

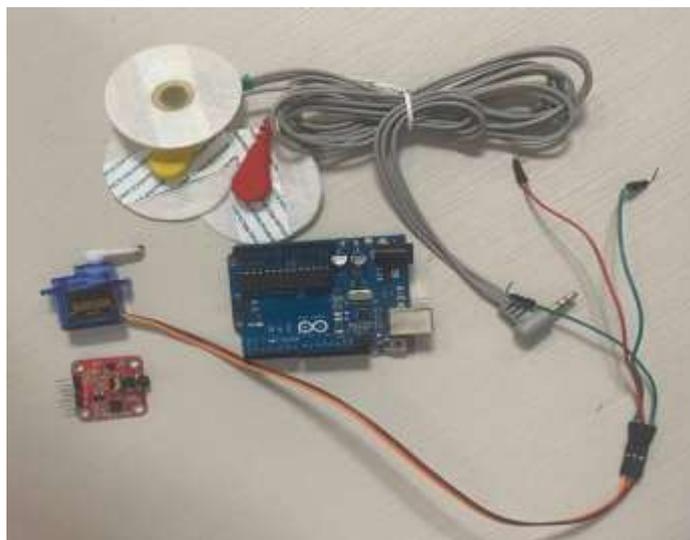


Рисунок 4 – Комплектующие

### ***Сборка модели***

На фото (рисунок 5) представлен макет протеза:

#### ***Установка протеза на конечность***

Установка пальца будет производиться с помощью крепления на оставшуюся часть фаланги, пример на фото (рисунок 6).

Моторчик, приводящий палец в движение, должен располагаться на месте крепления. Все остальные платы и детали для удобства будут размещены на кисти руки. Габарит протеза аналогичен пальцу руки.



Рисунок 5 – Фотография макета протеза.



Рисунок 6 – Протез.

### **Заключение**

Технологии не стоят на месте, и протезы, которые раньше скрывали внешние дефекты, заменились биомеханическими протезами, которые помогают людям с ограниченными способностями не только вести обычный образ жизни, но и заниматься творчеством, хобби и спортом.

После проведения тестовых испытаний стало понятно, что наша модель протеза является рабочей и соответствует проектным требованиям. При соответствующем финансировании проект вполне реализуем в современных условиях и даже можно изготовить модель для клинических исследований.

Использование пластиковой смолы и печати на 3D принтере делает наш проект экономичным и быстро изготавливаемым. Особенно это актуально для детей, т.к. они быстро растут, и по мере их роста легко будет создать новую модель большего размера. Пластиковая смола, достаточно прочная, чтобы ее можно было использовать ежедневно. Из проведенных ранее экспериментов по созданию пластиковой смолы для 3D-печати следует, что сила, необходимая для разрыва пластика, превышает прочность человеческой руки, а это говорит о долговечности протеза.

Гипотеза нашей работы подтвердилась – доступные механические протезы можно создать и тем самым помочь людям с ограниченными возможностями.

В заключение хотим сказать, что здоровье для человека – это главная ценность, а людей с ограниченными возможностями не бывает, ограниченными могут быть лишь возможности технологий и финансы.

### **Литература**

1. Как стать киборгом в России (и сколько это стоит) [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/companies/motorica/articles/373249/?ysclid=l9gxysdfpp371960402> (дата обращения: 15.09.2024).
2. Рамис Ганиев. Сколько стоят бионические протезы и насколько они хороши? [Электронный ресурс] // URL: <https://hi-news.ru/technology/skolko-stoyat-bionicheskie-protezy-i-naskolko-oni-xoroshi.html> (дата обращения: 15.09.2024)

3. Бионические протезы: на что они способны, и когда мы станем киборгами? [Электронный ресурс] // URL: <https://trends-rbc.ru/turbopages.org/trends.rbc.ru/s/trends/industry/5e91e02b9a79474e8cb6d892> (дата обращения: 15.09.2024)
4. Инвалидов без рук предложили допустить к управлению автомобилем [Электронный ресурс] // URL: <https://bezbarierov.permkrai.ru/node/26279?ysclid=m2hgzzi1i570119344> (дата обращения: 19.10.2024)
5. Протезы, помогающие в творчестве. [Электронный ресурс] // URL: <https://22century.ru/medicine-and-health/420?ysclid=m2hgojvzli185897116> (дата обращения: 19.10.2024)
6. Гитарист с бионической рукой сыграл для Путина [Электронный ресурс] // URL: <https://www.1tv.ru/news/2024-10-18/489790-gitarist-s-bionicheskoy-rukoy-sygral-dlya-putina?ysclid=m2hh2uzgw4705080667>. (дата обращения: 19.10.2024)
7. Музыкант с бионической рукой сыграл на электрогитаре на ПМЭФ. [Электронный ресурс] // URL: <https://ren.tv/news/v-rossii/1227144-na-pmef-rasskazali-kakimi-budut-protezy-budushchego>. (дата обращения: 19.10.2024)
8. Высокотехнологичные протезы меняют Паралимпийские игры к лучшему [Электронный ресурс] // URL: [https://www.wipo.int/wipo\\_magazine/ru/2021/03/article\\_0007.html](https://www.wipo.int/wipo_magazine/ru/2021/03/article_0007.html) (дата обращения: 19.10.2024)
9. Доступность протезирования в России [Электронный ресурс] // URL: <https://motorica.org/locations/ru?ysclid=m2hhcp49h7923245943> (дата обращения: 19.10.2024)

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3D ПРИНТЕРА В ПОДГОТОВКЕ К ХИРУРГИЧЕСКИМ ВМЕШАТЕЛЬСТВАМ**

**Е.Р. Рязанцев, А.А. Сваткова, А.А. Малина, Е.С. Капустин  
(ред. А.Ю. Смирнов, А.Г. Цыганова)**

### **Определения**

3D печать – процесс создания физического объекта на основе его цифровой модели, который осуществляется путем послойного добавления материала, как правило, с использованием специальных принтеров.

3D принтеры – устройства для аддитивного производства, создающие физические объекты из цифровых моделей путем послойного нанесения материала.

Предоперационное планирование – этап подготовки к хирургическому вмешательству, включающий создание и анализ моделей органов пациента для точного понимания анатомии и проведения эффективной операции.

Реконструктивная хирургия – направление хирургии, связанное с восстановлением форм и функций организма, например, после травм, заболеваний или операций.

Стереолитография – одна из первых технологий 3D печати, при которой объект создается из жидкого фотополимера, отвердевающего под воздействием лазера, формирующего слой за слоем.

Медицинская визуализация – процесс получения изображений внутренних органов и тканей пациента с использованием таких технологий, как КТ и МРТ, для диагностики и подготовки к лечению.

Хирургические инструменты – специализированные устройства и инструменты, используемые хирургами для проведения операций.

Аддитивные технологии – методы производства, при которых объекты создаются путем добавления слоев материала на основе цифровой модели, к ним относятся различные типы 3D печати.

Биопечать – процесс создания живых клеток, тканей или органов с использованием 3D печати, применяемый для медицинских исследований и возможных трансплантаций.

Имплантаты – искусственные или биологические конструкции, помещаемые в организм для замещения поврежденных тканей или органов.

Герниоэндопротезы – синтетические имплантаты, используемые для укрепления брюшной стенки при операциях по устранению грыж.

Эндопротезы – искусственные устройства, которые замещают поврежденные части тела, например, суставы, кости, сосуды.

Персонализированные модели – уникальные модели, созданные для конкретного пациента, с учетом его анатомических особенностей, для точного планирования медицинских процедур.

КТ и МРТ – методы медицинской визуализации, используемые для получения подробных изображений внутренних структур тела: компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ).

Лазерное спекание – метод 3D печати, при котором лазер используется для соединения порошковых материалов в твердую форму путем нагревания и спекания.

Струйное моделирование – способ 3D печати, при котором модель создается путем распыления материала по слоям для формирования нужной формы.

Пластика передней брюшной стенки – хирургическая операция, направленная на укрепление брюшной стенки и устранение дефектов, таких как грыжи, с использованием эндопротезов.

## **Введение**

Данный реферат посвящен теме «Применение 3D принтера в подготовке к хирургическим вмешательствам». Эта тема очень актуальна в современном мире, так как данный метод визуализации является важным

компонентом предоперационного планирования в пластической и реконструктивной хирургии. Технология позволяет создавать точные модели органов и тканей, что значительно улучшает планирование операций. Использование 3D-принтеров предоставляет хирургам возможность лучше понять анатомию пациента, выявить потенциальные сложности и заранее протестировать различные подходы. Это не только повышает эффективность вмешательств, но и снижает риски для пациентов, улучшая общие результаты лечения. Такие модели помогают хирургам лучше понимать сложные анатомические структуры и отрабатывать технику вмешательства на заранее изготовленных образцах. Это ведет к повышению точности и снижению времени операции, а также уменьшению травм и сроков восстановления пациентов. В данном контексте исследование применения 3D-печати открывает новые горизонты в хирургической практике, подчеркивая важность инновационных технологий в современном здравоохранении.

Таким образом, применение 3D-принтеров в хирургической практике представляет собой важный шаг к более персонализированной и безопасной медицине. Поэтому в ходе написания работы будет изучена история появления 3D принтера, собрана и проанализирована информация по поводу применения и его эффективности.

### **1. История появления 3D принтера**

3D печать появилась на свет 40 лет назад и открыла потрясающие возможности для создания различных моделей в прототипировании, стоматологии, мелкосерийном производстве, кастомизированных продуктов, миниатюр, скульптур, макетов и многого другого.

История появления 3D-принтера началась в 1980-х годах, когда изобретатели начали экспериментировать с методами создания трехмерных объектов. В 1981 году японский инженер Хидэо Кодама разработал первый метод быстрого прототипирования, использующий фотополимерные смолы. Настоящим прорывом в этой области стало

изобретение стереолитографии Чарльзом Халлом в 1984 году. Благодаря этой технологии появилась возможность производить на 3-Д принтерах объекты по изображениям. В качестве материала также использовался фотополимер (жидкое вещество на основе акрила). Под воздействием лучей УФ-лазера материал моментально застывал и превращался в пластиковый объект, принимая необходимую форму [1].

В 1992 году была представлена технология Fused Deposition Modeling (FDM), разработанная Адрианом Бойером, которая стала основой для многих доступных 3D-принтеров. С тех пор технологии 3D-печати продолжали развиваться, включая методы, такие как Selective Laser Sintering (SLS) и Digital Light Processing (DLP).

В 2009 году была выпущена первая открытая платформа для 3D-печати — RepRap, что способствовало распространению технологий и доступности принтеров для широкой аудитории.

Сегодня 3D-принтеры находят применение в различных областях, включая производство, медицину, искусство и образование, что свидетельствует о значительном прогрессе и широких перспективах данной технологии [2].

## **2. Принципы работы 3D принтера**

Существуют три вида 3D принтера:

1. Домашние 3D принтеры. Это бюджетные несложных конструкций приборы, печатающие тонкой нитью.

2. Профессиональные 3D принтеры. Аддитивные установки, предназначенные для специализированного использования на предприятиях.

3. Промышленные 3D принтеры. Габаритные установки, созданные для использования на крупных производствах.

Алгоритмы создания объемного объекта постепенно совершенствовались. Появились новые материалы и способы их обработки, повышалась точность печати и улучшилось качество готовых изделий.

Каждый из методов изготовления 3D-моделей обладает своими преимуществами и недостатками. Для разных сфер производства подходит своя технология, и даже самая ранняя из всех остается фактальной спустя десятки лет после ее первого финансирования [1].

### **LOM принтер**

Такое устройство обычно предназначено для печати небольших объемов документации, часто используется в малом бизнесе или для личного пользования. Он может быть экономичным и энергоэффективным, но не всегда обеспечивает высокое качество печати, как более дорогие модели.

Объемная фигура формируется из тонких слоев пластика, бумаги, ткани, композитных материалов. Нарезку пленок по контуру ведут лазером, затем разогревают материал и соединяют послойно под давлением [1]. Принтер представлен на рисунке 1.

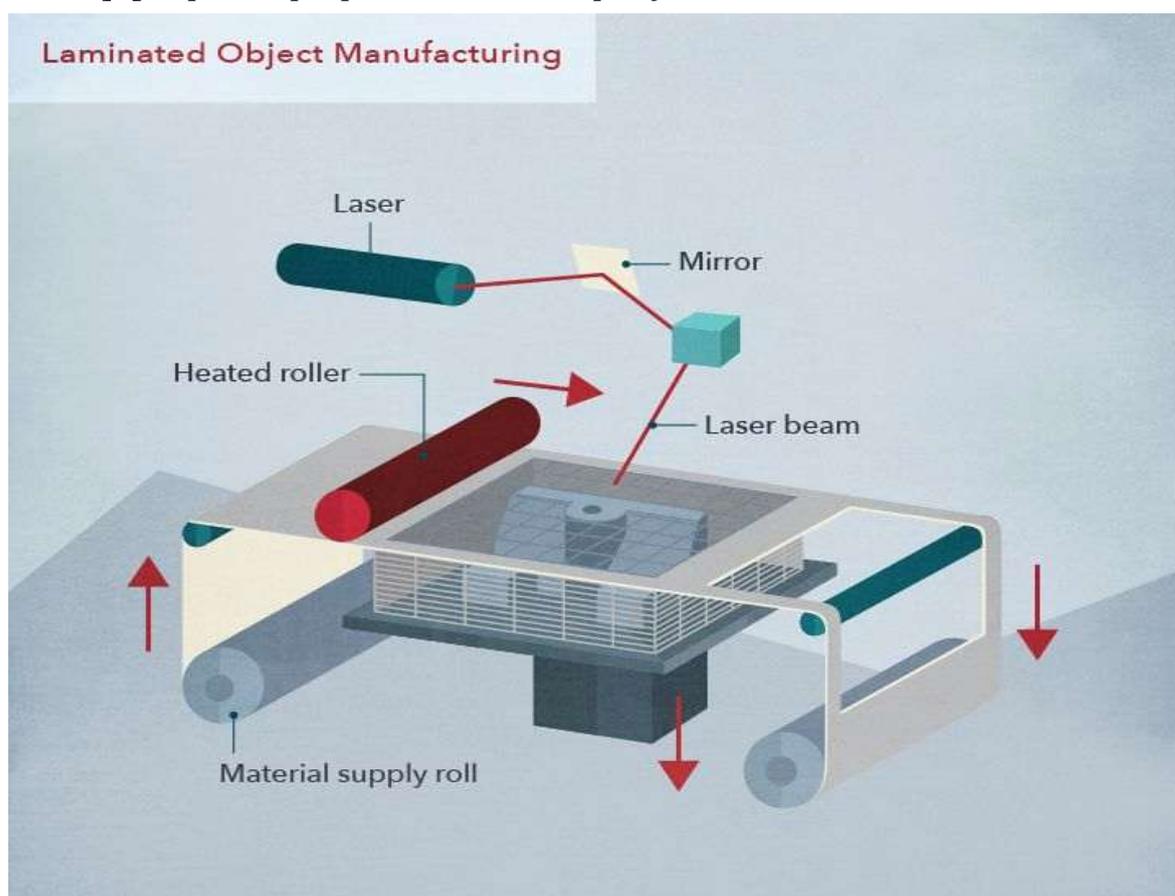


Рисунок 1 – LOM принтер

### ***SLS принтер***

SLS (Selective Laser Sintering) — это технология 3D-печати, которая использует лазер для спекания порошковых материалов, обычно пластиков, металлов или керамики.

Порошок или гранулы рассыпаются тонким равномерным слоем, затем лазерный луч спекает порошок в областях, заданных цифровой моделью. Насыпается и выравнивается следующий слой, и цикл повторяется до получения полного объекта. SLS широко используется в промышленности для прототипирования, создания сложных геометрий и мелкосерийного производства [1]. Принтер представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – SLS принтер

### ***FDM принтер***

FDM (Fused Deposition Modeling) — это технология 3D-печати, которая работает по принципу послойного наложения термопластичного материала.

Порошок или гранулы подаются в экструдер (машина для формования пластичного сырья в высокотемпературном режиме), расплавляется и выдавливается тонкой нитью на платформу, где слой за слоем вырастает объемная модель. FDM-принтеры популярны из-за своей доступности, простоты использования и широкого выбора материалов. Эта

технология часто используется для создания прототипов, деталей и моделей в различных областях [1]. Принтер представлен на рисунке 3.

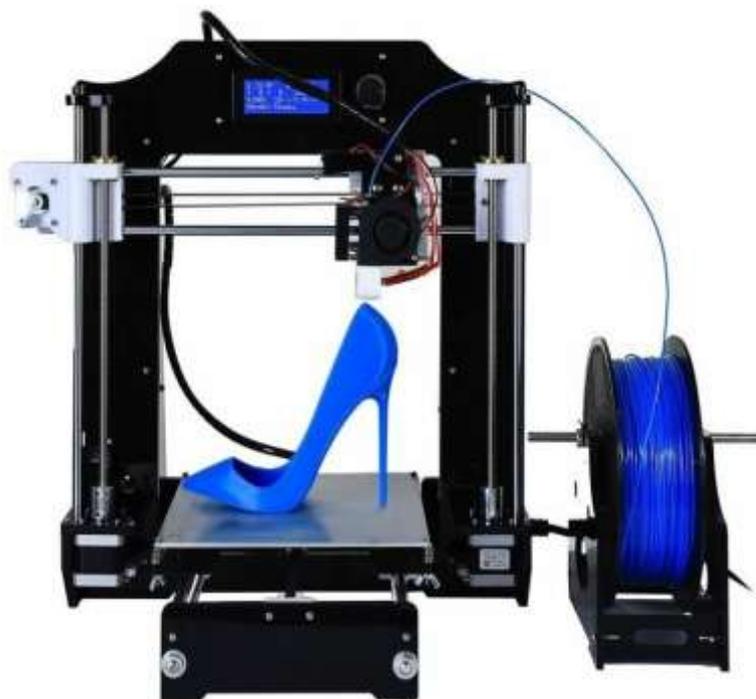


Рисунок 3 – FDM принтер

### ***Пищевой принтер***

Это устройство для 3D-печати, которое создает продукты питания, используя различные съедобные материалы. Эти принтеры работают по принципу экструзии, где специальные пищевые пасты, жидкости или порошки формируются в заданные формы и слои. Печатающее устройство самостоятельно создает смеси, охлаждается до заданной температуры и создает готовый продукт, представляющей собой блюдо с необходимым вкусом, запахом и текстурой и обладающее требуемой пищевой ценностью.

Пищевые принтеры могут использоваться для создания уникальных десертов, закусок, а также для персонализированного дизайна блюд. Они находят применение в кулинарии, ресторанном бизнесе и пищевой промышленности, открывая новые возможности для творчества и инноваций в приготовлении пищи [1]. Принтер представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Пищевой принтер

### ***Биопринтер***

Специализированный 3D-принтер, который используется для печати биологических тканей и клеточных структур. Он работает по принципу экструзии, используя биоразлагаемые материалы, такие как клетки, гидрогели и другие биоматериалы. Биопринтеры находят применение в медицине, например, для создания тканей для трансплантации, разработки моделей для тестирования лекарств и исследования клеточных взаимодействий. Эта технология имеет потенциал для революции в регенеративной медицине и биоинженерии [1]. Принтер представлен на рисунке 5.

1990 год относится к важным достижениям в области медицинской хирургии. В этом году была выполнена первая операция по имплантации искусственного мочевого пузыря.

Имплантация мочевого пузыря часто рассматривалась как решение для пациентов с серьезными заболеваниями, такими как рак или травмы, приводящими к потере функции мочевого пузыря. Использовались тканевые инженерные технологии для создания функционального аналога мочевого пузыря, который мог бы выполнять основные функции — сбор и

выделение мочи. Успех операции продемонстрировал возможность создания органа, который может эффективно функционировать в организме, улучшая качество жизни пациентов. После этой операции проводились исследования для оценки долговременной функции имплантированного органа и его интеграции с окружающими тканями. Этот прорыв послужил основой для дальнейших исследований и разработок в области тканевой инженерии и регенеративной медицины.

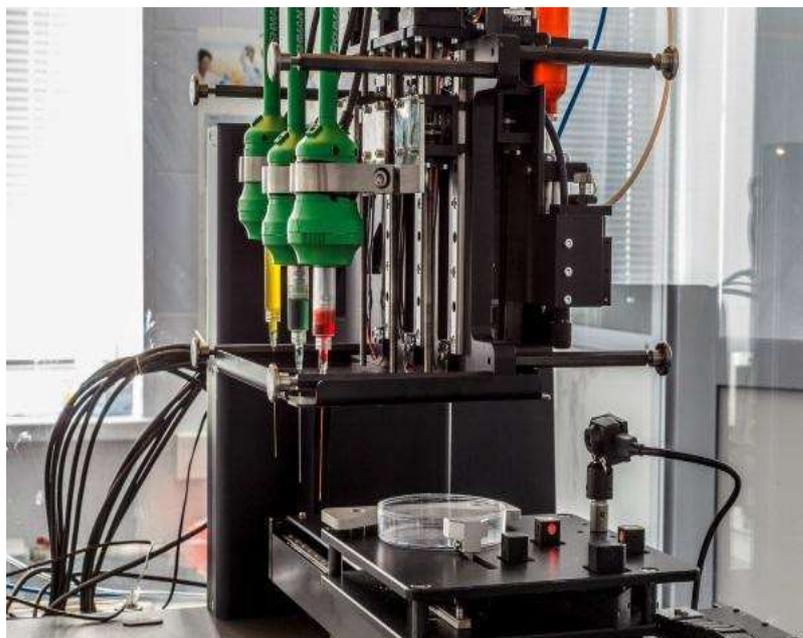


Рисунок 5 – Биопринтер

Имплантация мочевого пузыря в 1990 году стала важным этапом в хирургической практике и открыла новые возможности для лечения заболеваний мочевыводящей системы [1].

### **3. Основные применения в медицине**

Создание искусственных тканей:

- Кожные трансплантаты: печать клеток кожи для лечения ожогов и хронических язв. Это позволяет снизить риск инфекции и ускорить заживление.

- Хрящи и кости: биопринтеры могут создавать структуры, используемые для восстановления суставов или других костных повреждений.

Моделирование органов:

- Тестирование лекарств: создание органоидов (мини-органов) для тестирования новых лекарств и изучения их воздействия на клетки.

- Симуляция заболеваний: модели, созданные с помощью биопринтеров, позволяют исследовать механизмы заболеваний, что может привести к более эффективным методам лечения.

Регенеративная медицина:

- Печать сложных органических структур, таких как печень, почки и сердце, чтобы обеспечить альтернативу традиционным трансплантациям. Это особенно важно в свете нехватки донорских органов.

Персонализированная медицина:

- Биопринтеры могут создавать ткани и органы, адаптированные к конкретному пациенту. Это снижает риск отторжения, так как используются клетки самого пациента.

В будущем ожидается дальнейшее развитие технологии, что может привести к более широкому применению биопринтеров в клинической практике, а также к значительным улучшениям в области трансплантологии и регенеративной медицины.

#### **4. Процесс изготовления 3D моделей**

Процесс изготовления медицинской 3D модели для планирования операций состоит из нескольких этапов.

Сбор данных. На первом этапе происходит формирование набора медицинских результатов в виде изображения, полученные с помощью КТ или МРТ, затем они сохраняются в виде 2D срезов в конкретном формате данных.

Обработка данных. На втором этапе набор полученных 2D изображений подвергается обработке с целью улучшения качества (фильтрация шумов, повышение четкости и контрастности).

Текстурирование. На третьем этапе происходит регистрация улучшенных медицинских изображений с целью их приведения к единой системе координат для формирования точной анатомической компьютерной 3D модели.

На четвертом этапе реконструированная 3D модель детально осматривается хирургом с целью анализа ее геометрических размеров и выявления аномалий с отклонениями в строении.

Рендеринг. На пятом этапе происходит импортирование в другую систему для предоставления хирургу возможности манипулирования виртуальным изображением. При необходимости в системе по полученной 3D модели разрабатывается идеальная 3D модель органа.

3D печать. На заключительном этапе цифровая компьютерная трехмерная модель передается на принтер, где послойно она печатается [3].

Подход использования 3D моделей в медицине позволяет:

1. Улучшить планирование операций. Хирурги могут лучше визуализировать анатомию пациента, что помогает в выборе оптимальных методов вмешательства.

2. Снизить риски. Более точное понимание анатомии снижает вероятность осложнений во время операций.

3. Определить персонализированный подход. Модели позволяют адаптировать хирургические процедуры под уникальные анатомические особенности каждого пациента.

4. Предоставляют возможность обучения и тренировок. Студенты и медицинские работники могут изучать анатомию и тренироваться на физических моделях, что повышает качество образования.

5. Выстраивает коммуникацию с пациентами. Модели помогают объяснить пациентам предстоящие процедуры и ожидаемые результаты, улучшая понимание и доверие.

6. Разрабатывать имплантаты и протезы. Индивидуальные модели позволяют создавать более точные и удобные протезы, соответствующие анатомии пациента.

Таким образом, 3D моделирование значительно повышает эффективность медицинских процедур и качество ухода за пациентами [4].

### **6. Проблемные ситуации**

При применении 3D-печати в подготовке к хирургическим вмешательствам возникают несколько проблем и вызовов:

1. Стандартизация и сертификация. Технология 3D-печати в медицине все еще развивается, и многие аспекты, включая материалы и методы, не имеют четких стандартов, отсюда вытекает отсутствие общепринятых стандартов.

Из-за сложности сертификации, продукты, созданные с помощью 3D-принтеров, должны соответствовать строгим требованиям регуляторов, что может замедлять их внедрение.

2. Технические ограничения. Не всегда возможно достичь необходимого уровня точности и качества для сложных анатомических моделей, а небольшой выбор биосовместимых материалов, подходящих для медицинского применения, может ограничивать возможности 3D-печати.

3. Клинические и юридические риски. Если 3D-печатные модели приводят к осложнениям, неясно, кто несет ответственность – производитель, хирург или медицинское учреждение. Также использование 3D-печати для создания органов и тканей поднимает вопросы этики, включая проблемы с донорством и возможные злоупотребления.

4. Обучение и подготовка. Хирурги и медицинский персонал должны быть обучены использованию новых технологий, что требует времени и ресурсов.

5. Финансовые затраты. 3D-принтеры и материалы могут быть дорогими, что делает их недоступными для многих учреждений. И не всегда легко оценить экономическую эффективность использования 3D-печати по сравнению с традиционными методами.

6. Технические знания и опыт. Потребность в квалифицированных кадрах для работы с 3D-принтерами и разработки моделей может быть проблемой, а необходимость взаимодействия между врачами, инженерами и технологами может создавать дополнительные сложности.

Решение этих проблем является ключевым для успешного внедрения 3D-печати в хирургическую практику. Необходимы дальнейшие исследования, разработки стандартов и обучение специалистов для полной реализации потенциала этой технологии в медицине [4].

### **7. Возможности и перспективы 3D принтера**

Современная медицина в будущем будет испытывать потребность в продуктах 3D-биопечати. Имплантация напечатанных органов и тканей с каждым годом будет только увеличиваться, особенно востребованных в травматологии, хирургии и косметической хирургии. Биопечать является прорывом в современной медицине, стремительно развивающимся технологическим направлением в развитии науки, нацеленным на улучшение лечения и спасение жизней людей.

Большое разнообразие операций, выполняющихся в стационарах различного хирургического профиля, требует использования большого количества хирургических инструментов. Особенности проведения каждой операции требуют определенного спектра инструментов, каждый из которых может быть модернизирован для конкретного случая. Создание инструментов и их усовершенствование – это еще одна из немаловажных возможностей 3D принтера [3].

Создание 3D-моделей герниоэндопротезов и их печать является одним из перспективных на сегодняшний день не одна из плановых реконструктивных операций передней брюшной стенки не обходится без

использования синтетического герниоэндопротеза. В этой связи создание имплантатов для пластики передней брюшной стенки с помощью 3D-принтеров видится достаточно востребованным.

3D технологии позволяют создавать эндопротезы любой формы, толщины, гибкости и с любым размером поры, помимо этого имеется возможность создавать усиленные области в самом эндопротезе и точки фиксации для более надежного прикрепления в тех областях, где отмечается выраженная дистрофия соединительной ткани [5].

Таким образом, новые возможности 3D-технологий, внедряемых в медицину, позволяют надеяться на колоссальные перемены и революционные решения. Уже сегодня с помощью 3D-принтеров создаются разнообразные имплантаты, протезы, фрагменты костей, ткани и органы [5].

Также стоит отметить, что сотрудничество между инженерами, медицинскими работниками и учеными будет способствовать разработке более сложных и эффективных решений. А сочетание 3D-печати с технологиями, такими как искусственный интеллект и виртуальная реальность, может значительно улучшить процесс хирургического планирования и обучения.

Несмотря на то что в настоящий момент трехмерная печать широко применяется в хирургии и стоматологии, в обозримом будущем мы получим возможность создавать большинство органов и тканей с дальнейшим использованием их в трансплантологии. Более чем десятилетнее использование 3D-технологий в хирургии позволило провести сотни успешных операций во всем мире. Возможности 3D-принтеров повышаются, растет уровень знаний, что в будущем расширит область применения этих устройств [1].

### **Заключение**

Применение 3D-принтеров в подготовке к хирургическим вмешательствам является важным этапом в эволюции медицинских

технологий. Эта инновационная методика кардинально меняет подход к хирургическому планированию и выполнению операций, обеспечивая ряд значительных преимуществ.

Во-первых, 3D-печать позволяет создавать высокоточные анатомические модели на основе индивидуальных данных пациентов, полученных из медицинских изображений (КТ, МРТ). Это дает хирургам возможность лучше понять анатомию конкретного пациента и заранее отработать сложные моменты операции, что существенно снижает риски и увеличивает эффективность вмешательства.

Во-вторых, использование 3D-принтеров для производства кастомизированных имплантатов и инструментов значительно улучшает результаты операций. Индивидуально спроектированные имплантаты могут обеспечивать более плотную интеграцию с тканями пациента, что сокращает время восстановления и улучшает функциональные результаты.

Кроме того, 3D-печать открывает новые возможности для обучения хирургов. На моделях, напечатанных на 3D-принтере, можно отрабатывать техники операций, что способствует повышению квалификации медицинского персонала и снижению вероятности ошибок в реальных условиях.

Несмотря на эти преимущества, внедрение 3D-технологий в медицину сталкивается с определенными вызовами. Это включает в себя вопросы стандартизации, сертификации и правового регулирования, что требует комплексного подхода и сотрудничества между медицинскими учреждениями, производителями и регулирующими органами.

Тем не менее, будущее 3D-печати в хирургии выглядит многообещающим. Продолжающиеся исследования и разработки в области биопечати, создание функциональных тканей и органов открывают новые горизонты для регенеративной медицины. С каждым годом 3D-принтеры становятся все более доступными и эффективными, что позволяет расширять их применение в клинической практике.

Таким образом, 3D-принтеры не только меняют текущие методы подготовки к хирургическим вмешательствам, но и открывают новые возможности для лечения и улучшения качества жизни пациентов. Важно продолжать исследовать и развивать эти технологии для достижения еще более впечатляющих результатов в хирургии и медицине в целом [1-3].

### Литература

1. Как 3D-принтеры завоевывают мир: история возникновения и развития устройств объемной печати [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://vektor.us.ru/blog/pervyj-3d-printer.html> (дата обращения: 13.10.2024).
2. 3D-принтер [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер> (дата обращения: 13.10.2024).
3. Багатурия Г.О. Перспективы использования 3-Д печати при планировании хирургических операций. (обзор) // Медицина: теория и практика / СПб. гос. пед. мед. ун-т. Т.1. – 2016. – №1. – С. 26 – 35.
4. Vyvaltsev V., Kalinin A., Shepelev V., 3d-printing technology in neurosurgery: a systematic review (обзор) // Нестор-История. – 2019. – №2-3. – С. 75 – 91.
5. Лазаренко В.А., Иванов С.В., Иванов И.С., Обьедков Е.Г., Беликов Л.Н., Обьедкова Н.Ю., Использование 3D-принтеров в хирургии // Человек и его здоровье / Курск. гос. мед. ун-т. – 2018. – С. 61 – 65.

## **ИННОВАЦИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКЕ, 3D-ПРИНТЕРЫ В МЕДИЦИНЕ, РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ**

**А.Д. Авдиенко, Ю.А. Зеленюк, Д.Р. Осипова, Е.А. Осокина, В. Курдюков,  
Д.Р. Тишкунова (ред. А.Ю. Смирнов, Ю.С. Пуликова)**

Инновации в медицинской технике и применение 3D-принтеров в медицине являются актуальными направлениями развития современной медицины. Использование трёхмерных технологий позволяет улучшить диагностику, подготовку к операциям и создание индивидуальных имплантов. 3D-сканеры и принтеры обеспечивают высокую точность и качество изделий, сокращая вероятность ошибок и время выздоровления пациентов. Перспективы развития этой технологии открывают новые возможности для лечения различных заболеваний и улучшения качества жизни людей.

### **Введение**

В данной статье рассматриваются перспективы использования 3D-принтеров в медицине, а также их разработка и исследование. Цель работы заключается в анализе технологий 3D-печати, применяемых для создания медицинских изделий, протезов и органических конструкций. Мы также изучим исторический контекст и эволюцию 3D-печати в медицинской практике, подчеркивая значимость данного направления для персонализированной медицины и хирургии.

3D-принтеры открывают новые горизонты в области диагностики, планирования операций и реабилитации, позволяя врачам и пациентам получать индивидуализированные решения. Благодаря своей гибкости и возможностям, 3D-печать становится неотъемлемой частью современного медицинского оборудования и активно внедряется в клиническую практику, что делает ее важным объектом для дальнейших исследований.

## 1. Определение 3D принтера в медицине

3D-печать в медицине — это процесс создания трёхмерных объектов для использования в медицинских целях с помощью аддитивных технологий, таких как стереолитография (SLA), селективное лазерное спекание (SLS) и моделирование методом наплавления (FDM).

3D-принтер в медицине — это инновационная технология, которая произвела революцию в различных областях здравоохранения. 3D-печать позволяет создавать сложные анатомические модели, протезы, имплантаты и даже органы и ткани.

Основные преимущества 3D-принтеров в медицине:

**Изготовление медицинских инструментов:** 3D-принтеры помогают создавать персонализированные инструменты, которые идеально подходят для конкретного пациента, что снижает риск травм и осложнений во время операций.

**Ортопедические изделия и имплантаты:** с помощью 3D-печати можно создавать каркасы и имплантаты, которые точно соответствуют анатомическим особенностям пациента, что улучшает результаты лечения и снижает риск отторжения.

**Анатомические модели:** 3D-модели используются для обучения студентов и подготовки к операциям. Они позволяют более точно и наглядно представить сложные структуры организма, что повышает качество медицинского образования.

**Создание органов и тканей:** биопечать позволяет создавать искусственные ткани и органы, используя живые клетки и биологические материалы. Это открывает новые возможности для регенеративной медицины и трансплантологии.

**Фармацевтические исследования:** 3D-принтеры используются для производства персонализированных лекарственных средств с точной дозировкой и сложными профилями высвобождения активных веществ.

Технологии 3D печати позволяют создавать изделия с высокой точностью и детализацией, что открывает широкие возможности для их

применения в различных медицинских областях. Таким образом, 3D-принтеры в медицине являются мощным инструментом, который помогает улучшить качество лечения, снизить травматичность операций и открывает новые горизонты в регенеративной медицине и фармацевтических исследованиях. [1]

### ***Основные направления 3D печати в медицине***

#### **1) 3D моделирование анатомии**

Создание точных трёхмерных моделей человеческого тела помогает врачам лучше понимать анатомические структуры. Эти модели могут быть использованы для планирования операций и обучения студентов-медиков.

#### **2) 3D печать медицинских устройств**

Производство индивидуальных медицинских устройств, таких как протезы и имплантаты, которые идеально подходят для конкретного пациента. Это значительно улучшает качество лечения и повышает комфорт для пациентов.

#### **3) 3D визуализация медицинских данных**

Преобразование двумерных медицинских изображений, таких как МРТ и КТ, в трёхмерные модели. Это помогает врачам более точно диагностировать заболевания и планировать лечение.

#### **4) 3D моделирование для хирургического планирования**

Планирование операций с помощью 3D моделей, что снижает риски и повышает эффективность вмешательства, особенно в сложных случаях, где требуется высокая точность.

#### **5) 3D моделирование для образовательных целей**

Применение 3D моделей в образовательных учреждениях для обучения студентов и специалистов. Эти модели наглядно демонстрируют анатомические структуры и процессы, что способствует лучшему пониманию учебного материала. [3]

## **2. История создания и первые успешные эксперименты**

История развития 3D-печати в здравоохранении впечатляет. Эта технология кардинально изменила подход к работе во всех сферах здравоохранения, включая хирургию, фармакологию, стоматологию и многие другие области.

Как и все основные технологии, запуск медицинского оборудования не был гладким.

История 3D-печати начинается в 1980-х годах с изобретения стереолитографии Чаком Халлом. С помощью данных технологий можно создавать объекты, используя ультрафиолетовое освещение для отвердевания полимеров. В 1999 году 3D-печать впервые была применена в медицине, когда команда в Университете Джона Хопкинса изготовила персонализированный имплантат для удаления опухоли. С тех пор технологии развивались, и 3D-печать позволяет создавать индивидуальные протезы, стоматологические изделия и хирургические инструменты.

3D-печать позволила подбирать индивидуальные решения, таких как имплантаты и лекарства для конкретных пациентов. Развитие в этой области позволило проводить более качественные и эффективные медицинские вмешательства и оказало огромное влияние на предотвращение послеоперационных осложнений и ускорило процесс выздоровления.[2]

## **3. Отличие обычных 3D принтеров от медицинских**

Обычные 3D-принтеры обычно используют пластиковые или металлические материалы для создания объектов, тогда как медицинские 3D-принтеры используют в работе обязательно биосовместимые материалы. Эти устройства часто имеют высокие стандарты безопасности и точности, что критически важно. Кроме того, медицинские 3D-принтеры могут создавать более сложные структуры, такие как органические ткани.

Часто медицинские 3D-принтеры используют живые компоненты для печати.

В медицине используются различные материалы для 3D-печати, включая:

- пластики (например, PLA и ABS) - используются для изготовления моделей и прототипов.

- металлы (например, титан) - применяются для создания протезов и имплантатов.

- биоматериалы (например, как гидрогели и коллаген)-предназначены для печати тканей, создания искусственных органов или костных имплантатов, моделирования тканей и органов.

- биоразлагаемые материалы(биополимеры), которые необходимы в регенеративной медицине, их использование способствует росту новых тканей в организме, либо в случаях, когда имплантат необходим на время.

[5]

#### **4. Материалы, используемые для 3D принтера в медицине**

Биопринтинг находит широкое применение в медицине, включая создание искусственных органов, таких как сосуды и ткани, а также в трансплантологии и научных исследованиях. Важными характеристиками для материалов будут- биосовместимость, прочность и долговечность, легкость и пористость, безопасность и легкость обработки и стерилизации.

Вот основные типы материалов, применяемых в 3D-печати для медицинских целей:

*Биополимеры:*

- поли(этиленгликоль) (PEG): широко используется благодаря своей биосовместимости и возможностям модификации.

- поликапролактон (PCL): биodeградируемый полимер, часто используемый для создания каркасов, которые впоследствии растворяются.

*Гидрогели:*

- алгинат: натуральный биополимер, полученный из водорослей, который используется из-за его способности образовывать гидрогелевые сети в мягких тканях.

- гиалуроновая кислота (НА): естественный компонент внеклеточного матрикса, используемый для создания биосовместимых гидрогелей.

*Материалы на основе коллагена:*

- коллаген: основной структурный белок в организме человека, активно используется для создания искусственных тканей, сам белок способствует воспроизводству новых тканей.

*Живые клетки:*

- стволовые клетки: клетки в организме, которые могут превращаться в различные типы специализированных клеток, таких как клетки крови, мозга, сердца и другие. Они способны делиться и обновляться, что делает их полезным инструментом для восстановления и лечения поврежденных тканей.

- клетки-органоиды: эти клетки и органоиды позволяют создавать сложные структуры, имитирующие естественные ткани.

*Биочернила:*

- это комбинация живых клеток и биоматериалов, которые могут быть напечатаны в сложные трехмерные структуры. Биочернила должны быть биосовместимы, обеспечивать питательную среду для клеток и иметь правильные реологические свойства для печати.

*Материалы для поддержки и каркасов:*

- материалы на основе гидроксиапатита: используются для печати костных тканей из-за своей схожести с минеральной составляющей кости и применяются в стоматологии.

- материалы на основе хондроитин сульфата: используются для создания тканевого каркаса хрящевых структур.

### *Гидрогель*

Гидрогель (аквагрунт) – это искусственный материал на основе полимеров в виде порошка, гранул или шариков. Основное свойство гидрогеля – способность впитывать жидкости в больших количествах, увеличиваясь в объеме. Напитанный влагой гидрогель становится похож на желе. Он не только впитывает, но и удерживает питательные вещества, что делает его полезным для растений.

Гидрогель обладает нейтральной реакцией и не содержит бактерий или грибков, что делает его безопасным. Он может многократно высушиваться и напитываться влагой, сохраняя свои свойства на протяжении длительного времени.

Гидрогель – мягкий биосовместимый материал, состоящий из эластичных полимерных конструкций, которые удерживают молекулы воды. Он используется для печати искусственных хрящей, суставов и биороботов. нанобиороботы часто применяются для обнаружения опухолей и более точной транспортировки лекарственных препаратов в организме.

Гидрогель широко применяется в медицине благодаря своим уникальным свойствам. Например, в России был разработан тканевой пистолет, который использует фибрин и гидрогель, чтобы нанести на кожу обезболивающие, кровоостанавливающие, антибактериальные и другие вещества на рану, затем “покрыть её пленкой”, чтобы предотвратить попадание инфекций.

#### *Ключевые области использования гидрогеля*

Гидрогелиевые повязки:

а) очищение ран: гидрогелиевые повязки очищают раны, что важно при лечении ожогов, трофических язв и пролежней. Они создают защитный слой, предотвращая инфицирование и доставляя к ране лекарства, способствующие заживлению.;

б) биосовместимость: гидрогели обладают высокой биосовместимостью и антимикробными характеристиками, что помогает в лечении различных кожных дефектов.

Офтальмология: локальное высвобождение лекарств: гидрогель используется для антиглаукомных операций, обеспечивая длительное высвобождение лекарственных веществ в зону операции.

Стоматология: костная пластика: гидрогели используются для наращивания костной ткани при имплантации зубов. Они способствуют ускорению дифференциации стволовых клеток и восстановлению поврежденных тканей.

Лечение рака: локальная химиотерапия: гидрогели применяются для высокоточной доставки химиотерапевтических препаратов к опухоли, что снижает токсическое воздействие. Разработаны различные типы гелей, чувствительные к температуре и свету, для лечения различных типов рака.

Другие области:

а) замена изношенного хряща: гидрогель используется для замены изношенного хряща в суставах.

б) косметология: гидрогелиевые патчи применяются для ухода за нежной кожей вокруг глаз.

Живые клетки

Стволовые клетки — это уникальные клетки, которые обладают способностью дифференцироваться в различные типы клеток и тканей. Они могут стать основой для создания различных органов и тканей в организме. Этот подход позволяет создавать сложные структуры, которые могут быть использованы для восстановления тканей и органов. Что позволяет не просто находить замену, а заставить организм регенерировать ткани. [4]

Необходимым является процесс создания биочернил, содержащих живые клетки. Могут использоваться для этого стволовые клетки или клетки, взятые непосредственно у самого пациента. Затем биочернила

подаются в 3D-принтер, который уже формирует нужные структуры, содержащие живые клетки.

Одним из ключевых преимуществ этого метода является возможность создания структур, идеально подходящих для конкретного пациента. Это особенно важно в случаях, когда требуется замена поврежденных или утраченных тканей. Например, в стоматологии 3D-печать с использованием живых клеток может помочь в создании зубных имплантатов, которые лучше взаимодействуют с другими тканями. Использование живых клеток снижает риск отторжения имплантатов или напечатанных структур.

Этот метод позволяет создавать сложные строения, которые невозможно создать по-иному. Например, в кардиологии теоретически возможна 3D-печать с живыми клетками может использоваться для создания тканей сердца, которые могут быть пересажены пациентам с сердечными заболеваниями, но пока на 3D-принтере невозможно симитировать сложную сердечную структуру.

Однако, несмотря на все преимущества, использование живых клеток в 3D-принтинге также сопряжено с рядом вызовов. Одной из главных проблем является обеспечение жизнеспособности клеток во время процесса печати. Также необходимо учитывать вопросы безопасности и этичности, связанные с использованием живых клеток. Ведь использование стволовых клеток до сих пор является спорной темой из-за риска преобразования в раковые клетки и непредсказуемости преобразований стволовых клеток.

Тем не менее, использование живых клеток в 3D-принтинге в медицине имеет огромный потенциал. Их использование имеет перспективы улучшения качества жизни пациентов и лечения различных заболеваний. Эти материалы позволяют создавать сложные и биосовместимые структуры, которые могут быть использованы для трансплантации, исследований и тестирования лекарств. Современные

исследования направлены на улучшение материалов и методов, чтобы искусственная ткань как можно ближе походила на естественную. [10]

## **5. Принцип работы 3D принтера**

### **1. Биопечать**

Биопечать — это процесс, в котором живые клетки и биоматериалы используются в качестве «чернил» для создания трехмерных структур, имитирующих натуральные ткани и органы.

Принцип работы: сначала выбираются подходящие клетки, которые могут быть либо получены из тканей пациента, либо из стволовых клеток. Принтер укладывает клетки и биоматериалы послойно, формируя 3D-структуры. Полученные конструкции помещаются в биореакторы для стимуляции роста и развития клеток.

Биопечать подразумевают под собой формирование имплантатов, новых костных, хрящевых тканей, печати частей или полноценных органов.

### **2. FDM (Fused Deposition Modeling)**

Одна из самых распространённых технологий 3D-печати. Используется в медицине для создания протезов, ортопедических устройств и анатомических моделей.

Принцип работы: нагреваемый экструдер плавит термопласт (например, PLA или ABS), который затем наносится слой за слоем. Данный процесс позволяет создавать сложные геометрические формы и применим для создания функциональных медицинских изделий.

### **3. SLA (Stereolithography)**

Технология, основанная на фотополимеризации. Она подходит для создания высокоточных и детализированных моделей. Изготовление стоматологических коронок и имплантов, создание анатомических моделей для планирования операций.

Принцип работы: принтер использует UV-лазер для затвердевания жидкой фотополимерной смолы, создавая детали послойно. Технология

обеспечивает высокую разрешающую способность, что делает ее актуальной для создания медицинских моделей и протезов.

#### 4. SLS (Selective Laser Sintering)

Данная технология использует высокомощный лазер для спекания порошка в объект. Комплексные формы не нуждаются в создании опорных структур, высокая прочность и долговечность готовых изделий.

Принцип работы: лазер плавит и сплавляет порошкообразный материал (пластики, металлы, керамику), создавая прочные и функциональные изделия. Постепенно, слой за слоем, слой порошка насыпается и обрабатывается лазером.

#### 5. Синтетические материалы и их применение

В медицине также активно используются 3D-принтеры для создания имплантатов и медицинских инструментов из синтетических копий: имплантаты суставов, дентальные имплантаты и имплантаты для фиксации переломов.

Имплантаты: технология позволяет создавать индивидуализированные имплантаты, идеально подходящие под анатомию пациента, что снижает риск отторжения и улучшает результаты лечения.

Инструменты: 3D-печать также позволяет производить медицинские инструменты с необычной геометрией, что может улучшить их функциональные характеристики и удобство использования.

#### 6. Модели и симуляторы для обучения

Анатомические модели: модели органов и систем человека позволяют студентам изучать анатомию более наглядно и целенаправленно. Они помогают в развитии навыков, необходимых для хирургических операций, при этом не используя трупы или не участвуя в настоящих операциях.

Симуляторы: на основе 3D-печати могут быть разработаны симуляторы для тренировки медицинских практиков в проведении различных медицинских процедур. [11]

## **6. Опыт проведения операций с помощью 3D принтера**

### ***Печать сосудов и тканей***

Исследователи, работающие в Медицинской школе Уэйк Форест, успешно разработали, построили и протестировали принтер, который может печатать клетки кожи непосредственно на ожоговой ране. Сканер очень точно определяет размер и глубину повреждений. Эта информация передается на принтер, и печатается кожа для покрытия раны. В отличие от традиционных кожных трансплантатов, требуется только участок кожи, размер которого составляет одну десятую от размера ожога, чтобы вырастить достаточное количество клеток для печати. Пока эта технология находится на экспериментальной стадии, и исследователи надеются, что она будет широко доступна в течение следующих пяти лет.[8]

### ***Печать органов***

Печать органов человека на 3D-принтере — задача потруднее, чем в случае с тканями. Причина в том, что у органов сложная архитектура и множество функций. Израильские учёные из Тель-Авивского университета в 2019 году впервые напечатали сердце. Несмотря на небольшой размер (около 2 см), у органа было всё необходимое для функционирования: кровеносные сосуды и камеры — предсердия и желудочки. Для создания биочернил использовали образец жировой ткани человека. Жировые клетки перепрограммировали в стволовые, а затем — в клетки сердца.

В 2013 году исследователи из Университета Уэйк Форест в США успешно собрали клетки из плохо функционирующего мочевого пузыря пациента, их культивировали и добавили дополнительные питательные вещества. Затем была создана трехмерная модель мочевого пузыря пациента, которая была пропитана обработанными клетками. Эта форма помещалась в инкубатор, и когда она достигала необходимых условий, её пересаживали обратно в организм пациента. В процессе эта форма разрушается, оставляя только органический материал. Та же команда также добилась успеха в создании жизнеспособных уретр.

В стоматологии 3D-печать используется с 1993 года – для создания челюстей и их отдельных деталей. В Китае были отпечатаны и успешно имплантированы подвздошная кость таза, лопатка и ключица, а также позвонок. Американская компания Oxford Performance Materials в 2013 году отчиталась о проведенной замене имплантом значительного куска черепа (75% от общего объёма). Объект был собран из 23 частей, отпечатанных на 3D-принтере по результатам сканирования с учетом всех индивидуальных характеристик черепа пациента и специфики повреждений.

В 2014 году хирурги из Суонси восстановили лицо мотоциклиста, который получил серьезные повреждения в дорожной аварии. Стивен Пауэр стал первым в мире пациентом с черепно-лицевой травмой, для лечения которой на каждом этапе врачи использовали 3D-печать. [11]

### **7. Медицинские исследования и фармакология**

В настоящее время развитие фармацевтической технологии происходит по нескольким направлениям, одним из которых является производство персонализированных лекарственных форм (ЛФ). Данное направление связано с потребностью в индивидуальной фармакотерапии для пациентов, принимающих лекарственные средства, имеющие узкое терапевтическое окно, а также фармацевтические субстанции, обладающие доказанной прямой пропорциональной зависимостью «доза – эффект». В связи с развитием этого направления на данный момент создается универсальный технологический механизм производства лекарственных препаратов в индивидуальной дозировке, соответствующей метаболизму, возрасту, генетическим особенностям пациента. 3D-печать, или по-другому аддитивная печать, позволяет производить индивидуальные лекарственные средства для пациентов в широких диапазонах дозировок, форм и размеров, поэтому она является основной технологией создания персонализированных лекарственных форм.

Наиболее ранние работы по получению 3D-печатных таблеток проведены с использованием трехмерной печати порошкового слоя. В

Массачусетском технологическом институте осуществлены исследования по получению таблеток, демонстрирующих сопоставимую твердость и истираемость прессованных ЛФ, путем увеличения концентраций полимера/связующего, однако трехмерная струйная печать, как правило, давала более пористые и рыхлые таблетки. Повышенная пористость 3D-печатных объясняется неполным взаимодействием раствора связующего с порошковым слоем, что приводит к появлению областей несвязанных частиц. Фармацевтическая компания Aprelia Pharmaceuticals воспользовалась повышенной пористостью получаемых ЛФ для выпуска таблеток, диспергируемых в полости рта. Они создали запатентованную технологию ZipDose на основе трехмерной печати порошкового слоя, которая дает возможность дозировать ФС в таблетке до 1000 мг. По представленной технологии на рынок выпущен ЛП Spritam для лечения эпилепсии [9].

3D-печать уже давно используется в стоматологии для создания челюстей и их деталей. Это ускоряет процессы заживления и обеспечивает более точное соответствие протезов, что улучшает качество жизни пациентов. Ученые рассматривают возможность печати органов в невесомости, что может облегчить создание трехмерной структуры и улучшить качество печати. Это открывает новые горизонты для исследований и разработок в области трансплантологии. [6]

## **8. Преимущества и недостатки 3D принтинга в медицине**

### ***Преимущества:***

1. Долговечность: органы, изготовленные из титана или других биосовместимых материалов, могут служить всю жизнь, в то время как донорские имеют ограниченный срок службы.

2. Персонализация: имплантаты могут быть изготовлены с высокой точностью, что обеспечивает лучшую персонализацию и соответствие конкретному пациенту, снижая риск отторжения.

3. Отсутствие необходимости в доноре: не требуются поиск донора, что устраняет этические и логистические проблемы, связанные с донорством органов.

4. Простота установки: они могут быть установлены в один этап, что упрощает процесс лечения по сравнению с пересадкой донорских органов, которая требует нескольких этапов и длительного восстановительного периода.

**Недостатки:**

1. Риск для донора: донорский организм сам подвергается опасности, так как становится несколько неполноценным, и его изначальные функции могут быть нарушены.

2. Неприятие организмом: несмотря на детальный анализ, реципиент не всегда принимает донорский орган, что может привести к отторжению и необходимости подавления иммунитета.

3. Сложность поиска донора: поиск подходящего донора может быть длительным и сложным процессом, особенно для редких случаев.

4. Ограничения по совместимости: некоторые органы, такие как сердце, не могут быть пересажены из-за сложности процедуры и жизненной важности органа.

5. Длительный восстановительный период: пересадка донорских органов требует длительного восстановительного периода, который может занять месяцы или даже годы. [7]

**Заключение**

3D-принтинг в медицине представляет собой революционное направление, способное коренным образом изменить подходы к диагностике, лечению и восстановлению здоровья. Применение аддитивных технологий позволяет создавать протезы, имплантаты и даже биопечатные ткани, которые учитывают анатомические и физиологические особенности каждого пациента. Это обеспечивает более высокую эффективность лечения и повышает качество жизни пациентов.

Кроме того, 3D-принтинг открывает новые горизонты в исследовательской деятельности, позволяя моделировать заболевания и испытывать новые методы терапии в контролируемых условиях. Использование 3D-моделей в образовательных целях также содействует более глубокому пониманию анатомии и физиологии как среди студентов, так и среди медицинских специалистов. Однако, несмотря на значительные достижения и потенциал, есть и определенные вызовы: технические ограничения, необходимость разработки строгих регуляторных рамок и вопросов этического характера. Тем не менее, направление 3D-принтинга в медицине продолжает набирать популярность и, безусловно, будет играть ключевую роль в будущем здравоохранения, многократно улучшая исходы лечения и расширяя возможности медицинского обслуживания.

### Литература

1. 3D-печать в медицине: применение 3D-принтеров для создание искусственных органов и донорских тканей / [Электронный ресурс] // Хабр: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/top3dshop/articles/825012/> Дата обращения: 26.10.2024
2. Что 3D-печать изменит в медицине: от моделей органов до зубных имплантатов / [Электронный ресурс] // Хайтек: [сайт]. — URL: <https://hightech.fm/2021/07/19/three-d-medicine> (дата обращения: 26.10.2024)
3. Биопринтинг: применение технологий 3D-печати в медицине, -[Электронный ресурс: <https://sbermed.ai/3d-pechat-organov> ] Дата обращения: 24.09.2024
4. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В МЕДИЦИНЕ / [Электронный ресурс] // cyberleninka.ru: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologii-3d-pechati-v-meditsine/viewer> Дата обращения: 26.10.2024
5. Покатилов А.В., Хохлова А.О. Анализ строительных 3D-принтеров и материалов для 3D печати // Проблемы строительного производства и управления недвижимостью: Материалы IV Междунар. науч. практ. конф., Кемерово: ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. 2016. С. 22-26.
6. Калагова А. В. Применение современных технологий 3D-печати в медицине// Курский научно-практический вестник "Человек и его здоровье". – 2018. – № 4. С. 5-10.
7. Рынок 3D-биопечати растет на четверть в год, - [Электронный ресурс: <https://cloud.vk.com/blog/kak-3d-biopechat-budet-spatat-zhizni-na-zemle-i-v-kosmose?ysclid=m2glgm8r5a508007813>] Дата обращения: 21.10.2024

8. Когда мы сможем печатать новые органы на 3D-принтере, -[Электронный ресурс: <https://trends-rbc-ru.turbopages.org/turbo/trends.rbc.ru/s/trends/industry/5ead4b279a79473a4ae7223b> ] Дата обращения: 21.10.2024
9. Pietrzak K., IsrebA. Alhnan M.A. Гибкий диспенсер для 3D-печатных таблеток немедленного и пролонгированного высвобождения //Журнал: «European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. – 2015.»
10. Трёхмерная аддитивная печать в технологии лекарственных форм ,-[Электронный ресурс: <https://zhurnal-vokls.ru/wp-content/uploads/2023/09/alekseev-4-17.pdf>] Дата обращения: 25.10.2024
11. 3D-принтер: можно ли распечатать сердце?,[Электронный ресурс: <https://medaboutme.ru/articles/3d-bioprinting-rasshiryaya-predely-vozmognogo/> ] Дата обращения: 20.10.2024

## **БИОНИЧЕСКИЕ ПРОТЕЗЫ: РАЗРАБОТКИ И БУДУЩЕЕ ЭТОЙ ОТРАСЛИ БИОТЕХНОЛОГИЙ**

**Д.Д. Кукарцев, А.О. Куряев, М.А.Спивак, А.А.Тихонов, А.Р. Шаяхметов,  
М.Ю. Польшкин (ред. А.Ю. Смирнов, П.М. Жучкова)**

В работе рассмотрены основные виды протезов конечностей. Описаны протезы по принципам крепления и работы, выявлены положительные и отрицательные черты каждого вида. Приведены примеры новейших разработок в сфере протезирования, чем продемонстрированы текущие тенденции развития этой сферы технологий.

### **Введение**

Протезирование — важная часть медицины, которая помогает восстанавливать утраченные функции и внешний вид органов или частей тела с помощью искусственных устройств, называемых протезами. Эта область использует разные технологии и методы, чтобы пациенты могли вернуться к активной жизни после травм, операций или болезней. Протезирование не только улучшает физическое состояние, но и помогает людям чувствовать себя увереннее и адаптироваться к новым условиям. Современные достижения в материалах, биомеханике и информатике открывают новые возможности для создания более удобных и функциональных протезов.

### **1. Понятие бионических протезов**

Биопротезы – это протезы конечностей, приводимые в движение миниатюрными блоками питания, которые способны реагировать на биотоки, возникающие в организме человека. Именно благодаря созданию биопротезов появилась возможность вернуть утраченные функции организма, будь то конечность или внутренний орган, и вернуть человека к полноценной социальной жизни. Они наиболее прогрессивные, появившиеся на стыке трёх наук: робототехники, механики и биологии.

Они максимально приближены к действию человеческой руки и значительно повышают качество жизни [1].

В данной работе мы рассмотрим классификации протезов, способы их управления, применения, новейшие разработки на 2024 год в этой отрасли и ее развитие в России.

## **2. Виды бионических протезов**

Бионические протезы подразделяются на следующие виды [2]:

### **1. Бионические протезы ног:**

Данный вид протезов дает возможность ходить, бегать трусцой, преодолевать небольшие препятствия, заниматься спортом. Их можно использовать при вождении автомобиля.

### **2. Бионические протезы рук:**

Протезы рук позволяют выполнять множество операций, поэтому подходят для самообслуживания, решения бытовых, рабочих задач, творчества, хобби.

Протезы можно разделить на три класса:

- косметические протезы;
- тяговые (механические) протезы;
- бионические протезы.

### **3. Косметические протезы**

На данный момент самым старейшим протезом является модель, изготовленная из дерева, скрепленного ниткой из кожи, еще в Древнем Египте, ее функция – ощущение «целостности» у пострадавшего. На сегодня можно выделить несколько фирм, изготавливающих устройства, играющие косметическую роль: Novea, Scolilogic и т.д. [3].

Преимущества косметических протезов включают в себя привлекательный внешний вид (существуют модели, созданные с учётом индивидуальных особенностей пациента, которые достигают высокого уровня сходства с оригиналом как визуально, так и тактильно), низкую массу, обусловленную отсутствием технических нагрузок, простоту

изготовления и эксплуатации (не требуется заботиться об аккумуляторе), а также низкие затраты на техническое обслуживание.

Недостатки включают ограниченную функциональность и высокую стоимость индивидуальных силиконовых оболочек.

#### 4. Тяговые (механические) протезы

Тяговой протез имеет узкий спектр функций, которые помогают человеку выполнять основные задачи, например, взять в руку куриное яйцо и не разбить его. Механический протез позволяет удерживать предмет в руке, что дает возможность выполнять некоторую «тонкую» работу.

На сегодня можно выделить несколько производителей данных моделей, а именно open source на площадках e-nable, open bionics и robohand, детский протез с возможностью дополненной реальности «Киби» от компании «Моторика», протез BeBionic - кисть от Touch Bionics, Vincent Systems и т.д.

Преимущества тяговых протезов включают в себя надёжную конструкцию, компактные массогабаритные параметры, приемлемую стоимость (возможность получения протеза за счёт финансирования государственными структурами), низкую стоимость технического обслуживания, устойчивость к воздействию влаги, небольшие перепады температуры, а также отсутствие задержки реакции, характерной для любого электронного устройства.

К недостаткам можно отнести ограниченную силу захвата, обусловленную конструкцией, а также ограничения в степенях свободы движения. Система тяг может быть неудобной и ограничивать движения.

Такие протезы безусловно имеют преимущество над косметическими, однако их спектр применения достаточно узок в сравнении с бионическими протезами.

#### ***Бионические протезы***

Существует несколько видов протезов, которые различаются по способу регистрации входного сигнала от пользователя.

#### *Протез, копирующий движения целой конечности*

Такой вид протезирования позволяет повысить естественность движений и отладить скорость реакции. Копирование происходит с помощью исследований ЭМГ, позволяющих определить зависимость уровня возбуждения в мышцах и реакции неповрежденной руки.

### *Нейропротез*

В основе нейропротезирования лежит интеграция нейроинтерфейса и протезирования, принимая во внимание необходимость инвазивной установки датчиков на конечности и множество процедур исследований пациента и регистраций активности мозговой деятельности. На данный момент ведутся активные разработки командой *galvanibionix* из мфти. Доказано положительное влияние протезов этого типа, разобранное на примере нейро протезов ног, на восстановление работы мышц конечности в нормальном режиме и восстановлению их биомиметической памяти, а в случае с нижней конечностью, восстановлению походки [3].

### *Миоэлектрические протезы*

Преимуществами этого вида протезирования являются сила захвата, повышенный комфорт и свобода движений, возможность выполнить несколько жестов, внешний вид модельного ряда. Протезы используют сигналы электромиограммы ЭМГ от остаточных мышц конечностей для управления моторизованными суставами рук. Примерами могут стать OPRA Osseointegration, DARPA MPL, LifeHand 2, некоторые виды разработанных моделей Российской компанией «Моторика» [4].

В таблице 1 ниже представлены возможные способы управления протезами верхних конечностей.

Таблица 1 – Методы и предназначения протезов

Вид протеза	Предназначение протеза	Возможные методы управления протезом
Кисть и пальцы	Замена функций утраченной кисти: Удержание, захват предметов с приложением определенной силой	Системы с обратной связью и адаптивное регулирование приложенной силы

Вид протеза	Предназначение протеза	Возможные методы управления протезом
Предплечье	Замена функций утраченного предплечья (от кисти до локтевого сустава, подразумевает в себе протез кисти совмещенной с предплечьем): Перенос предметов с возможной корректировкой действий	Нейронные сети, интеграция нейроинтерфейса, алгоритмы самообучения в процессе эксплуатации/тестирования спроектированных вариантов
Плечо	Замена функций утраченного плеча (от кисти до плечевого сустава, включает в себя протезы кисти, предплечья и плеча): Различные манипуляции, производимые человеком в процессе жизнедеятельности	Инвазивные и интуитивные методы управления

### 3. Возможные проблемы с определенными типами управления

Данные протезы безусловно повышают уровень жизни того, кто их использует, но не стоит забывать про их возможные минусы:

1. Цена, обусловленная наличием сложных сенсоров и датчиков, работой над самими механизмом и материалами, из которых изготавливается сам протез.

2. Возможные сложности использования, это может быть связано с недостаточно развитыми датчиками, которые принимают нейро-сигналы. Они могут реагировать не настолько точно и быстро, как настоящая конечность, однако причина этой проблемы заключается в малом количестве разработок в этой сфере, относительно других. [6]

3. Ощущения отсутствия конечности. Для человека безусловно будет непросто свыкнуться с тем, что вместо обычной руки у него теперь «бесчувственный кусок железа», однако технологии движутся вперед и в скором времени этот вопрос будет решен.

### 4. Способы крепления протезов к культе

В ортопедии и протезировании сейчас применяется большое число разных способов крепления к культе, которые определяют, как надевают

протез на ногу, влияют на комфорт, надежность [7]. К самым распространенным относятся следующие способы:

- на тазовые и плечевые ремни;
- вакуумное крепление;
- на лайнер;
- остеоинтеграция.

Рассмотрим подробнее особенности каждого из этих способов.

#### **4.1 Тазовые и плечевые ремни**

Это самый старый метод. Протез крепится к ноге выше колена с помощью специальных ремней и уздечки (рис. 1). Для бескорсетной конструкции используется вертлюг. Ремни фиксируются на талии или через плечо. На культю одевают один или несколько хлопчатобумажных или шерстяных чехлов.



Рисунок 1 – Тазовый ремень

Этот способ в современном протезировании используется редко из-за морального устаревания. Такое крепление характеризуется максимальной амплитудой поршневых движений (люфтом) культы бедра в гильзе. Протез сравнительно сложно и долго надевать и настраивать по вертикали. Поэтому такой вариант обычно используют для лечебно-тренировочных

моделей. Кроме этого, его применяют в тех случаях, когда после ампутации остается слишком короткая культя.

#### 4.2 Вакуумное крепление

Вакуумное крепление (рис. 2) – распространенный метод, который обеспечивает надежную фиксацию с минимальным люфтом культи бедра. Используется гильза со специальным клапаном, который создает в ее полости вакуум. Перед тем, как надевать протез ноги, культя бинтуется по спирали эластичным бинтом, который протягивается через вакуумную трубку и кольцо клапана. Вместо бинта может применяться специальный «чулок-протяжка», выполненный в форме веретенообразного мешочка из скользкой, тонкой и прочной ткани. На его конце имеется тонкая лямка, которую пропускают через трубку и кольцо клапана.



Рисунок 2 – «Вакуумное крепление»

Когда при эксплуатации протеза, например, при вставании, возникает усилие, стремящееся вывести культю из гильзы, срабатывает клапан. Это приводит к образованию разрежения внутри гильзы, которое поддерживает фиксацию.

Вакуумное крепление требует стабильного объема культы. Поэтому такой способ не подходит первичным ампутантам. Кроме этого, если во время эксплуатации пациент сильно поправится или похудеет, может потребоваться заказ нового протеза. Еще одна особенность — важно правильно ухаживать за гильзой и регулярно выполнять гигиенические процедуры.

В новых технологичных моделях ортопедических изделий этой группы часто устанавливают специальные механические модули, которые поддерживают оптимальный уровень разрежения. Может использоваться функция анатомической ротации, которая предполагает имитацию движений мышц голени и стопы при ходьбе для автоматического поддержания комфортного вакуума.

### **4.3 Лайнер**

Это самый распространенный способ крепления протеза ноги выше колена. Лайнер — полимерный чехол, который накатывается на культю. Как правило, он изготавливается из высококачественного медицинского силикона. Также для производства таких чехлов используют полиуретан, сополимеры силикона. Благодаря адгезивным характеристикам материала, чехол практически приклеивается к коже, что дает надежное удержание культы в гильзе.

По методу фиксации лайнеры бывают замковые и беззамковые. Первый тип силиконовых чехлов имеет дистальное крепление. На конце лайнера установлен специальный штырь. Когда пациент одевает протез, штырь вставляется в приемное отверстие в нижней части гильзы и фиксируется кнопкой. Беззамковые лайнеры имеют вакуумные манжеты. Их фиксация в гильзе обеспечивается за счет создаваемого разрежения.

### **4.4 Основные плюсы и минусы различных типов креплений протезов**

Использование лайнеров в протезах имеет свои плюсы и минусы [7].

#### ***Плюсы:***

- надежная фиксация культы в гильзе;

- равномерное распределение нагрузки на поверхность культи;
- эффективная защита кожи от трения, наминания со стороны протеза;
- эффективное гашение вибраций и ударных нагрузок при ходьбе;
- оптимальное формирование культи за счет полноконтактной нагрузки

При использовании лайнера наблюдается более правильное облегание мягкими тканями кости.

- более деликатное воздействие на чувствительные участки и костные выступы;
- отсутствие компрессионного побочного нежелательного эффекта, что уменьшает риски повреждения мягких тканей и нарушений их кровоснабжения.

***Минусы:***

- Износ и замена: лайнеры могут быстро изнашиваться и требуют регулярной замены, что увеличивает затраты.
- Комфорт: не всегда обеспечивают идеальную посадку, что может привести к дискомфорту или натиранию.
- Гигиена: накладки могут создавать трудности с гигиеной, если не очищаются должным образом.
- Скользящие свойства: некоторые лайнеры могут быть слишком скользкими, что снижает стабильность протеза.
- Аллергические реакции: в редких случаях могут возникать аллергические реакции на материалы, из которых изготовлены лайнеры.

**4.4.1 Крепления протеза на тазовые и плечевые ремни**

***Плюсы:***

- Комфорт: правильная настройка ремней может обеспечить хорошую посадку и стабильность.
- Функциональность: обеспечивают большую свободу движений и возможность регулировки под разные физические активности.

- Доступность: часто менее дорогие в сравнении с более сложными системами крепления.

***Минусы:***

- Ограниченная поддержка: может не обеспечивать должной поддержки при высоких нагрузках.
- Износ: ремни могут быстро изнашиваться и требовать замены, что увеличивает долгосрочные затраты.

#### **4.4.2 Вакуумное крепление протезов**

***Плюсы:***

- Стабильность: обеспечивает отличную фиксацию, что снижает риск смещения протеза.
- Комфорт: уменьшает трение и давление на кожу, что снижает вероятность раздражения.
- Поглощение ударов: помогает лучше распределять нагрузку, уменьшая ударные нагрузки на конечность.

***Минусы:***

- Стоимость: обычно дороже в производстве и обслуживании.
- Технические проблемы: необходимы регулярные проверки и поддержание вакуума, что может быть неудобно.
- Сложность настройки: требует профессиональной настройки для достижения оптимального результата.
- Остеоинтеграция протезов — это метод, при котором протез прочно соединяется с костной тканью.

Биопротезирование нужно не только потерявшим руку или ногу, биосовместимые протезы сердечных клапанов, кровеносных сосудов, связок могут улучшить здоровье очень многим людям. А также есть разработки органов чувств и внутренних органов [8].

## 5. Новейшие разработки в сфере протезирования

Новейшие разработки в сфере протезирования заключаются в следующем [9]:

### ***Остеоинтеграция***

Это направление является перспективным в современном протезировании. Однако, наряду с высокой стоимостью, есть несколько ощутимых минусов, которые ограничивают ее широкое медицинское применение. Костная ткань может разрушаться под действием механических нагрузок, связанных с использованием протеза (рис. 3). По мере развития технологии остеоинтеграции возможно устранение или существенное ослабление перечисленных минусов, что позволит сделать этот метод одним из основных в протезировании.



Рисунок 3 – Остеоинтеграция

### ***Бионический глаз Argus II от американской компании Second Sight***

Устройство состоит из имплантированной сетчатки и внешней системы из тёмных очков, процессора, чипов и электродов. Argus II стимулирует оставшиеся здоровые клетки глаза, помогая пациентам различать формы, цвета и движение.

### ***Электронная кожа***

Исследователи из Стэнфорда создают полимерный покров, усыпанный датчиками и проводниками, способными воспринимать малейшее прикосновение к протезу. У подобной структуры есть и другое применение: взаимодействие с носимыми гаджетами и электронными устройствами.

### ***Протез ноги от Калифорнийского университета в Беркли***

Нога использует различные датчики для сбора данных о движениях пользователя, а алгоритмы искусственного интеллекта анализируют эти данные и выявляют закономерности. На основе этой информации нога может корректировать свои движения и обеспечивать пользователю более естественную и комфортную ходьбу.

### ***Steplife B7***

Бионический коленный модуль с микропроцессорной системой управления фазой переноса. Электронная опорная трубка устройства содержит два комплекта тензодатчиков: один измеряет вес человека, второй определяет смещение центра тяжести в продольной плоскости. Трубка позволяет получить больше данных о динамике движения и фиксировать, например, падение человека.

### ***Протезирование внутренних органов***

Дефицит донорских органов — одна из крупнейших медицинских проблем современности. Руководитель направления трансплантации органов Алексей Фомичев утверждает, что из-за долгого ожидания материала для пересадок в Новосибирске погибает треть пациентов. Протезирование способно решить эту проблему. Существуют три вида протезов внутренних органов: эндопротезы (вживляются в организм), экзопротезы (закрепляются снаружи), эктопротезы (косметические, без функциональной нагрузки). Самым востребованным органом, по данным экспертов, станет искусственное сердце — спрос на него будет расти в среднем на 8,7%.

## Заключение

Протезирование — важная область медицины, которая помогает восстанавливать утраченные функции и улучшать качество жизни людей. Современные технологии, такие как 3D-печать, робототехника и нейропротезирование, делают протезы более удобными и эффективными. Будущее протезирования связано не только с улучшением работы устройств, но и с их интеграцией в организм. Успешное протезирование требует комплексного подхода, включая медицинскую, психологическую и социальную поддержку, что помогает пациентам лучше адаптироваться в обществе и восстановить свою жизнь [10].

## Литература

1. Морозов А.М., Кадыков В.А., Любский И.В., Аскеров Э.М., Пахомов М.А., Городничев К.И., Пельтихина О.В., Хорак К.И.: Биопротезирование. История и современность. ФГБОУ ВО Тверской государственный медицинский университет Минздрава России [Информационный ресурс] <https://s.science-education.ru/pdf/2019/4/28969.pdf> (дата обращения 17.09.2024)
2. [Интернет ресурс] <https://steplife.ru/news/vidy-protezoov-konechnostej/> (дата обращения 14.09.2024)
3. Hyungeun Song, Tsung-Han Hsieh, Seong Ho Yeon, Tony Shu, Michael Nawrot, Christian F. Landis, Gabriel N. Friedman, Erica A. Israel, Samantha Gutierrez-Arango, Matthew J. Carty, Lisa E. Freed, Hugh M. Herr Continuous neural control of a bionic limb restores biomimetic gait after amputation [Интернет ресурс] <https://www.nature.com/articles/s41591-024-02994-9> (дата обращения 20.09.2024)
4. История протезирования: от древнейших времен до наших дней. Академия Медицинского Образования [Интернет ресурс] <https://medobr.com/news/istoriya-protezirovaniya-ot-drevneyshikh-vremen-do-nashikh-dney/> (дата обращения 23.09.24)
5. Осмоналиев И. Ж., Конаев В. Э., Бильгильдеев М. Г., Байкеев Р. Ф. Протезирование конечности по технологии биоэлектрических протезов // Метриалы IX Всероссийского конгресса общества кистевых хирургов. 2022, стр. 110-112 [Электронное издание] <https://nn-terra.ru/files/usersFiles/544/544-abstrackt.pdf#page=110> (дата обращения 20.09.2024)
6. Уразбахтина Ю.О., Камалова К.Р., Морозова Е.С. Бионические протезы верхних конечностей: сравнительный анализ и перспективы использования. Уфимский государственный авиационный университет [Источник информации]

- <https://research-journal.org/archive/1-115-2022-january/bionicheskie-protezy-verxnix-konechnostej-sravnitelnyj-analiz-i-perspektivy-ispolzovaniya> (дата обращения 16.09.2024)
7. Авдейчиков Д.А. Исследование проблемы захвата предметов сложной формы в протезах верхних конечностей. Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Национальная ассоциация ученых (НАУ) # 51, 2020, стр. 11-13 [Информационный ресурс] <https://national-science.ru/wp-content/uploads/2020/02/11-13-Avdejchikov-D.A.-ISSLEDOVANIE-PROBLEMY-ZAHVATA-PREDMETOV-SLOZHOJ-FORMY-V-PROTEZAH-VERHNIH-KONECHNOSTEJ.pdf> (дата обращения 21.09.2024)
  8. Способы крепления протезов к культе [Интернет ресурсом] <https://ortoreal.ru/blog/sposoby-krepleniya-protezoj-k-kulte/> (дата обращения 22.09.2024)
  9. Железо, способное чувствовать: как высокие технологии помогают в протезировании. Блог компании Сбер: Робототехника, Биотехнологии, Здоровье [Интернет ресурс] <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/781308/> (дата обращения 17.09.2024)
  10. Подакина В.В. Биопротезирование: люди-киборги уже среди нас? [Интернет ресурс] [https://medaboutme.ru/articles/bioprotezirovanie\\_lyudi\\_kiborgi\\_uzhe\\_sredi\\_nas/](https://medaboutme.ru/articles/bioprotezirovanie_lyudi_kiborgi_uzhe_sredi_nas/) (дата обращения 15.09.2024)

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОЗГОВЫЕ ИМПЛАНТЫ**

**Д.Ю. Финстерле, Д.Е. Анищенко, А.А. Ващук, М.В. Володин, Е.О. Долгова,  
С.В. Заика (ред. А.Ю. Смирнов, И.А. Сукач)**

### **Введение**

Наука в современном мире развивается невероятно стремительно. То, что 50 лет назад казалось невозможным, сейчас является обыденностью. В частности медицина и инженерное дело продвинулись невероятно далеко по сравнению с тем, что было 30, 20 и даже 10 лет назад. Нейропротезы представляют собой одну из самых передовых и многообещающих технологий в области медицины и биоинженерии, позволяя восстанавливать утраченные функции и улучшать качество жизни людей с неврологическими нарушениями.

### **Что такое нейроимпланты**

Нейроимпланты, они же нейронные имплантаты или мозговые имплантаты представляют собой технологические устройства, которые подключаются непосредственно к мозгу биологического субъекта – обычно размещаются на поверхности мозга или прикрепляются к коре головного мозга в зависимости от желаемого эффекта.

### **Для чего нужны нейроимпланты**

Работают мозговые импланты так: клетки мозга генерируют электрические сигналы, связанные с определенными мыслями или действиями. Нейрочипы их улавливают и посылают ответные импульсы обратно в мозг или передают другим устройствам - протезам и прочее.

Устройство нейроимплантов разнообразно и зависит от направления их применения – например, считывание ответа моторной коры головного мозга или стимуляция определенных областей головного мозга для достижения терапевтического эффекта.

Существуют также роботизированные искусственные нервы, управляемые электродами, которые вживляются непосредственно в мозг. Их вживляют людям, которые полностью парализованы и не могут контролировать свое тело. Ещё применяют нейрочипы, которые взаимодействуют с органами чувств, помогая людям с нарушениями слуха и зрения.[1]

Применение любых новых инвазивных технологий на людях ограничивается необходимостью длительного внедрения и прохождения всех этапов клинических исследований, поэтому количество доклинических и фундаментальных исследований в данной области превосходит количество готовых решений, которые применяют в клинической практике. [2]

В свою очередь нейроимпланты расширяют возможности изучения мозговой активности, а также разработки новых методов диагностики и лечения, поскольку позволяют напрямую управлять активностью нейронов и областей коры головного мозга, что делает их ценным инструментом для изучения фундаментальных процессов в мозге, таких как обучение, нейронное поведение и электрофизиология. В настоящее время разрабатываются мультимодальные нейроинтерфейсы для регистрации, модулирования и классификации электрофизиологических биомаркеров, относящихся к нервно-психическим расстройствам.

За последние два десятилетия нейропротезирование прошло долгий путь. Протезы-имплантаты для слуха продвинулись дальше всех, их конструкции взаимодействуют с кохлеарным нервом внутреннего уха или провоцируя слуховую реакцию ствола мозга. Также проводятся исследования имплантов сетчатки и мозговых имплантов для возвращения зрения, предпринимаются попытки дать людям с протезами рук чувство осязания. Все эти сенсорные протезы берут информацию из внешнего мира и преобразуют её в электрические сигналы, которые поступают в центры обработки информации в мозге.[3]

### **Виды нейроимплантов**

Некоторые виды нейроимплантов:

- Инвазивные. Внедряются в ткань мозга пациента с помощью сложной хирургической операции. Используются, когда другие опции недоступны, например, для пациентов в тяжёлых состояниях, таких как паралич и другие нейромышечные нарушения. Это устройства, взаимодействующие с нервной системой для записи, стимуляции или замещения нейронной активности. Они относятся к инвазивным технологиям и являются частным примером интерфейсов «мозг-компьютер».

- Полуинвазивные. Имеют прямой контакт с мозгом, но только на его поверхности, без внедрения в ткань. Пример полуинвазивного нейроинтерфейса - электрокортикография (ЭКоГ), когда электроды вживляются под кости черепа, помещаясь на поверхности коры головного мозга.

- Неинвазивные. Устройства с электрическими датчиками, которые обычно крепятся на голове носителя и считывают электрические сигналы мозга, не касаясь непосредственно его тканей. Такие нейроинтерфейсы просты и безопасны, однако менее достоверны, чем инвазивные, так как череп и кожный покров хоть и пропускают сигнал, но всё же искажают его.[4]

### **История развития**

Эксперименты с вживлением электродов в головной мозг начались в середине XX века. Ученые в Европе и России проводили операции больным с паркинсонизмом и дистонией - это нарушение, при котором у больного возникают спазмы разных мышц, его тело скручивается в патологических позах. В то время для этого процесса не хватало технологий. Не было компьютерного томографа, чтобы сделать снимок мозга и определить, куда устанавливать имплант, врачи полагались на расчеты при операции. Но

первые же эксперименты показали, что метод работает. У пациентов снижались выраженные симптомы - тремор и сокращения мышц.

Самая противоречивая, но от того не менее интересная, фигура в истории мозговых имплантов Хосе Мануэль Родригес Дельгадо - вероятно, не только из-за созданных и продемонстрированных им технологий, но также и из-за его взглядов на то, как эти технологии должны использоваться.

Исследователь разработал компактные имплантируемые системы размером с крупную монету, которые он вставлял в мозг не отвечающих на другие виды лечения больных эпилепсией и шизофренией. Он также создал «хемиотрод», который мог по команде вбрасывать медикаменты в ту или иную часть мозга.

Дельгадо провёл много других публичных демонстраций того, как мозговые импланты можно использовать, чтобы менять настроение. В одном из экспериментов он стимулировал мозг спокойной и тихой женщины, и в результате она впала в ярость и разбила свою гитару о стену.[5]

Первая имплантируемая система, устраняющая глухоту посредством стимуляции улиткового нерва в обход повреждённой улитки, была создана американскими инженерами Уильямом Хаусом (William House) и Джоном Дойлом (John Doyle) в 1961 году.

Также были созданы импланты, позволяющие слепым видеть. Ещё в 1950-х годах учёные обнаружили, что электрическая стимуляция зрительной коры может вызывать красочные зрительные галлюцинации - фосфены (их можно увидеть, если потереть глаза пару минут).

Первое имплантируемое устройство для стимуляции сетчатки, светочувствительной части глаза, было протестировано в 2002 году. Оно было создано американским инженером Робертом Гринбергом (Robert Greenberg) и называлось «Аргус I» (Argus I).[6]

### **Что происходит сейчас**

В последние годы в сфере нейроимплантов наблюдаются значительные достижения, особенно в области глубокой стимуляции мозга (DBS) и интерфейсов мозг-компьютер (BCI). Одно из новейших исследований в DBS касается помощи пациентам с длительными последствиями травм мозга. Исследователи из Stanford Medicine разработали метод глубокой стимуляции, который восстанавливает когнитивные функции, такие как память и внимание, у людей с травматическими повреждениями мозга. Это стало возможным благодаря точной стимуляции центральной латеральной части таламуса, что помогло активировать ослабленные нейронные сети, ответственные за когнитивные процессы.[7]

Центральная латеральная часть таламуса (центролатеральное ядро таламуса) – это одна из областей таламуса, играющая важную роль в модуляции сознания, внимательности и бодрствования. Она особенно важна для связи между таламусом и корой, а также для взаимодействия с сетями мозга, ответственными за поддержание бодрствующего состояния. Основными функциями центральной латеральной части таламуса являются:

1. Поддержание бодрствования и уровня сознания. Эта область участвует в поддержании сознания и общей активации мозга. Она связана с ретикулярной формацией и корой, что помогает поддерживать мозг в активном состоянии, особенно в ответ на внешние стимулы.

2. Внимание и когнитивные процессы. Центральная латеральная часть помогает направлять внимание на важные сенсорные сигналы, модулируя, какие стимулы достигнут сознательной обработки.

3. Обработка боли. Она также участвует в передаче и обработке болевых сигналов, способствуя осознанию боли и ее эмоциональной окраске.

Также продолжается работа над неинвазивными нейроимплантами, которые взаимодействуют с поверхностными слоями мозга, такими как неокортекс.

Анатомически, неокортекс - это слой нервных клеток, который покрывает большую часть полушарий головного мозга и состоит из шести слоев клеток, каждый из которых имеет свои особенности и функции. Неокортекс сильно развит у людей и составляет около 90% от всей коры головного мозга, что отличает нас от большинства других животных, у которых эта структура менее развита.

Неокортекс также является одной из ключевых областей, благодаря которой человек обладает способностью к самосознанию и сложным формам социального взаимодействия. Он отвечает за когнитивные функции, восприятие, движение, речь и память.

Такие импланты, позволяют снизить воспалительные реакции, характерные для более инвазивных технологий, и могут использоваться для помощи пациентам с параличами или нейродегенеративными заболеваниями, такими как боковой амиотрофический склероз (БАС).

Боковой амиотрофический склероз (БАС) - это тяжелое нейродегенеративное заболевание, при котором поражаются моторные нейроны головного и спинного мозга.

На сегодняшний день БАС неизлечим. Лечение направлено на замедление прогрессирования заболевания и облегчение симптомов, включая использование лекарств, дыхательных аппаратов и реабилитацию.

### **Риски, связанные с нейроимплантами**

Нейроимпланты - это высокотехнологичные устройства, предназначенные для взаимодействия с нервной системой человека. Их основная задача - восстанавливать или улучшать функции мозга и других частей нервной системы, которые были утрачены в результате травм или

заболеваний. Однако, несмотря на перспективы, такие технологии несут в себе определенные риски, которые важно учитывать при их применении.

### 1. Медицинские риски

- Хирургические осложнения. Имплантация нейроустройств требует хирургического вмешательства, которое связано с рисками, присущими любой операции. Это могут быть инфекции, кровотечения, повреждение нервных тканей или других органов.

- Отторжение импланта. Как и в случае с другими видами имплантатов, организм может отвергать устройство как инородное тело. Это может привести к воспалению, необходимости удаления импланта и новым осложнениям.

- Эрозия ткани. Длительное нахождение импланта в организме может вызвать эрозию тканей, особенно если устройство размещено близко к коже или другим важным структурам.

- Неисправности устройства. Как любое электронное устройство, нейроимпланты подвержены поломкам. Это может привести к утрате функциональности, за которую отвечал имплант, и даже к нежелательным эффектам на нервную систему, таким как неконтролируемые движения или сбои в восприятии.

- Долгосрочные последствия. Поскольку технология нейроимплантов ещё относительно новая, долгосрочные последствия для здоровья не до конца изучены. Некоторые из них могут включать постепенное ухудшение функции нейронов, раздражение тканей вокруг устройства или хронические воспалительные процессы.[8]

### 2. Этические и психологические риски

- Конфиденциальность данных. Нейроимпланты, собирающие данные о мозговой активности, могут создавать угрозу для конфиденциальности. Хакеры или недобросовестные организации могут получить доступ к информации о мыслях, намерениях или эмоциональных состояниях человека.

- Зависимость от технологии. С увеличением количества людей, использующих нейроимпланты для улучшения своих возможностей, может возникнуть зависимость от этих технологий, как в физическом, так и в психологическом плане. Люди могут испытывать страх или дискомфорт при мысли о жизни без импланта.

- Моральная ответственность. Возникает вопрос, кто несёт ответственность за последствия работы импланта. Если устройство ошибается и приводит к негативным результатам - например, к опасному поведению пациента - кто будет нести ответственность: производитель устройства, хирург, который его установил, или сам пациент?

### 3. Юридические и регуляторные вопросы

Быстрое развитие нейроимплантов требует формирования четкой правовой и регуляторной базы. Она должна предусматривать:

- стандарты безопасности при производстве и установке устройств;
- процедуры сертификации и контроля за качеством нейроимплантов;
- механизмы защиты прав пациентов, включая конфиденциальность данных и право на добровольный отказ от устройства. [9]

### **Заключение**

В заключение нашего проекта по электрическим мозговым имплантам можно с уверенностью сказать, что эта область науки и технологий открывает новые горизонты в лечении неврологических заболеваний и улучшении качества жизни пациентов. Нейроимпланты представляют собой не только инновационное решение для восстановления утраченных функций, но и возможность глубокого взаимодействия человека с цифровыми технологиями. Однако уже сейчас есть много факторов, которые тормозят развитие этого перспективного направления: вопросы этики, запреты проведения экспериментов на животных и людях, недостаток финансирования. Очевидно, что окупаемость подобных технологий дело не быстрое, да и шансы провала и

шумихи в СМИ никто не отменял. Все это останавливает инвесторов, которые не хотят идти на столь большие риски.

Независимо от того, предназначено ли нам стать киборгами или нет, ясно, что из-за роста коммерческого и медицинского интереса к мозговым имплантам, эта технология в течение следующих нескольких десятилетий будет распространяться всё больше. И она имеет все шансы изменить нашу жизнь и, возможно, даже то, что значит «быть человеком».

### Литература

1. В успешном случае парализованный может встать. [Электронный ресурс] // URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/15265655> (дата обращения 19.09.2024)
2. Ученые впервые установили российский зрительный нейроимплант обезьяне [Электронный ресурс] // URL: <https://asi.org.ru/news/2022/01/25/echenye-vpervye-ustanovili-rossijskij-zritelnyj-nejroimplant-obezyane/> (дата обращения 19.09.2024)
3. Нейроимпланты преобразуют мозговые волны в слова [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/companies/cloud4y/articles/696950/> (дата обращения 19.09.2024)
4. Напрямую в мозг: что такое нейроинтерфейсы и как они могут изменить человека [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/companies/gazprombank/articles/773846/> (дата обращения 19.09.2024)
5. История мозговых имплантов [Электронный ресурс] // URL: <https://22century.ru/popular-science-publications/history-brain-implants> (дата обращения 19.09.2024)
6. Neuralink Илона Маска не единственный. Как появились нейроимпланты, есть ли у них будущее и при чем тут программирование [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/companies/agima/articles/818391/> (дата обращения 19.09.2024)
7. Электрические мозговые имплантаты могут помочь пациентам с тяжелыми травмами головного мозга [Электронный ресурс] // URL: <https://meditronics.ru/novosti/elektricheskie-mozgovye-implantaty-mogut-pomoch-pacziendam-s-tyazhelymi-travmami-golovnogo-mozga/> (дата обращения 17.09.2024)
8. Нейроимпланты: когда мы станем киборгами и умеют ли их изготавливать в РФ [Электронный ресурс] // URL: <https://www.ferra.ru/review/techlife/neiroimplanty.htm> (дата обращения 19.09.2024)
9. Киборги и нейроимпланты: испытания на людях [Электронный ресурс] // URL: <https://slddigital.com/article/kiborgi-i-nejroimplanty-ispytaniya-na-lyudyah-synchron-vs-neuralink/> (дата обращения 19.09.2024)

## **КЕЙДЖ ДЛЯ ПОЗВОНОЧНИКА**

**А.С. Сморгков, И.Р. Закарая, Я.Д. Горбунов, Е.Р. Гафилин, Т.Н. Ефимов  
(ред. А.Ю. Смирнов, А.Г. Цыганова)**

### **Введение**

В данной работе рассматривается использование межпозвоночных кейджей в хирургии позвоночника. Цель нашего исследования заключается в анализе технологий и методов, применяемых для установки кейджей, а также их эффективного применения при лечении заболеваний спины. Мы также изучим исторический контекст и эволюцию использования межпозвоночных кейджей. Межпозвоночные кейджи играют ключевую роль в лечении травм и дегенеративных изменений позвоночника, также позволяя создавать условия для заживления и регенерации. Благодаря своим свойствам, кейджи становятся неотъемлемой частью современных методов хирургического вмешательства, что делает их важной темой для дальнейших исследований.

### **1. Определение кейджа для позвоночника**

Кейдж для позвоночника, также известный как спинальный кейдж, представляет собой медицинский имплантат, используемый в хирургии позвоночника. Применяется в целях лечения и стабилизации позвоночника. Он состоит из металлического каркаса, часто выполненного из титана или нержавеющей стали. Кейдж закрепляется внутри позвонка, предотвращая его смещения, создавая опору. Применение кейджа для позвоночника актуально при ряде заболеваний позвоночника, таких как спондилолистез (смещение позвонков), грыжа межпозвоночного диска, спондилолиз (дефект позвоночника), остеохондроза и других. Он используется с целью стабилизации позвоночника, восстановления его высоты, снятия сдавления на спинном мозге и нервах и устранения боли. Операция с применением кейджа может быть рекомендована в случаях,

когда консервативное лечение не приносит достаточного эффекта или если заболевание оказывает сильное влияние на качество жизни пациента.[1]

Главная задача импланта кейдж - предотвратить смещение позвоночных структур и стабилизировать позвоночник, что позволяет разгрузить поврежденные диски и снять давление с нервных корешков. Таким образом, имплант кейдж способствует улучшению функции и снижению боли у пациентов с различными заболеваниями позвоночника.

Зачастую позвоночник страдает от дегенеративных изменений, травм или опухолей. Нестабильность позвоночника может вызывать боль и ограничивать движения пациента. Имплант кейдж в таких случаях может стать надежным решением проблемы. Он вставляется между позвонками и способствует формированию суставного пространства, аккуратно удерживая позвонки в правильном положении. Таким образом, имплант кейдж способен вернуть позвоночнику стабильность и уменьшить болевые ощущения.

## **2. История создания**

Концепция межпозвоночных кейджей начала развиваться в 1950-х и 1960-х годах, когда хирурги начали экспериментировать с различными материалами для содействия сращения позвоночника, однако они не достигали нужного результата. Современные межпозвоночные кейджи появились в 1980-х и 1990-х годах с использованием титана и полимеров, такой как полиэтилентеркетон (РЕЕК), который по сей день используется в разработках межпозвоночного импланта. Ключевыми достижениями в развитии межпозвоночных кейджей стали создание первых титановыми моделей в 1980-х и внедрение РЕЕК в 1990-х годах, что значительно ускорило разработку ассортимента материалов. Сегодня современные кейджи занимают важное место в различных процедурах спинальной фузии. Хотя сложно указать точную дату изобретения, эволюция межтеловых кейджей охватывает несколько десятилетий, со значительными достижениями в 1980-х, 1990-х и 2000-х годах [2].

### **3. Заболевания, требующие установки межпозвоночных кейджей**

Стоит отметить, что установление позвоночного кейджа является серьезным медицинским вмешательством и требует длительных консультаций. Перед проведением операции с имплантом кейдж, необходимо провести комплексное обследование пациента. Нейрохирург должен учесть все особенности структуры позвоночника и определить наиболее подходящий размер и форму импланта. От правильного подбора зависит эффективность операции и прогноз дальнейшего восстановления пациента.

Далее приведены заболевания, при которых показана установка имплантата кейдж:

- Прогрессирующий спондилез (спондилоартроз) – вертебральная патология дегенеративно-дистрофического характера, ведущая к деформации и разрушению позвонковых тел и защемлению спинальных нервов.

- Сколиоз четвертой степени, при которой искривление позвоночника ведет к образованию горба, значительной деформации грудной клетки и перекосу тазовых костей, вызывая нарушение функционирования внутренних органов.

- Выраженные протрузии и грыжи межпозвоночных дисков, провоцирующие стеноз (сужение) каналов спинальных нервов и чреватые ущемлением спинномозговой ткани.

- Новообразования различной этиологии. Развиваясь, опухоли начинают давить на спинной мозг, для их удаления порой приходится удалять значительную часть ткани позвонковых тел, после чего позвоночник необходимо укрепить во избежание его разрушения.

Если при подобных заболеваниях наблюдается проявление таких симптомов, как нарастающая боль в области спины, отдающая в ногу, судороги и онемение конечностей, это может быть чреватое серьезными осложнениями, например, параличом. В этом случае врач проводит тщательное обследование и дает рекомендации по поводу операции,

связанной с имплантацией в позвоночник различных позвоночных эндопротезов [1].

#### **4. Установка импланта кейдж и противопоказания**

Установка импланта кейдж является сложной хирургической процедурой, которая проводится с использованием микрохирургических инструментов и под общей анестезией. Во время операции нейрохирург сначала удаляет поврежденный диск, затем устанавливает имплант кейдж в межпозвоночное пространство. После этого пациенту могут назначаться физиотерапевтические процедуры для восстановления функции позвоночника и укрепления мышц.

- Подготовка пациента: перед проведением операции пациенту делается компьютерная томография (КТ) или магнитно-резонансная томография (МРТ) для определения точного места и размеров повреждения позвоночника.

- Анестезия: Пациенту предоставляется общая анестезия, чтобы обеспечить комфорт и безболезненность во время операции.

- Контроль за дыханием: Пациенту устанавливают различные датчики для мониторинга его сердечного ритма, артериального давления и уровня кислорода в крови.

- Доступ к позвоночнику: через переднюю или заднюю часть шейки матки, грудной или поясничного отдела позвоночника, нейрохирург создает доступ к поврежденному участку.

- Удаление диска: Поврежденный диск удаляется, чтобы создать пространство для установки импланта кейджа.

- Установка импланта: Нейрохирург аккуратно устанавливает имплант кейдж в межпозвоночное пространство, где он разделяет смежные позвонки.

- Фиксация импланта: Имплант кейдж закрепляется с помощью специальных металлических пластин, винтов или других фиксирующих элементов, чтобы обеспечить его правильное положение.

· **Закрытие раны:** после установки импланта кейджа рана закрывается с помощью швов или специальных лент, подходящих для заживления кожи пациента.

Противопоказанием к проведению такой операции может служить острая аллергия, либо воспалительный процесс области позвоночника – остеомиелит, туберкулез – в организме в целом. Также к противопоказаниям относятся патологии, вызывающие повышенную хрупкость костной ткани – остеопороз, болезни, связанные с нарушением свертываемости крови, либо повышающие риск отторжения импланта – сахарный диабет. Во всех остальных случаях операция дает положительный эффект, давая человеку возможность полноценно жить. В качестве возможных осложнений следует упомянуть инфицирование послеоперационной раны, а также сдвиг или поломку имплантата. Однако такое происходит довольно редко – не более чем в одном случае из трехсот [1, 3, 4].

### **5. Преимущества межпозвоночного импланта**

Несмотря на то, что процедура имплантации является сложной, она обладает рядом преимуществ. Наибольшим преимуществом является возможность вернуться к привычной жизни даже для пациентов, имеющих серьезные повреждения позвоночника. Так же нужно отметить достаточно короткий срок реабилитации после процедуры установки импланта кейдж. Реабилитация занимает примерно полгода, но ограничение трудоспособности остается только от 2 недель до 4 месяцев. Установка импланта выполняется через небольшие разрезы, в результате не возникают большие повреждения тканей, и быстрее происходит заживление. Конструкция импланта кейдж очень надежна и вероятность повреждения импланта или его смещения крайне мала. При выполнении операции опытным нейрохирургом минимален риск развития осложнений [5].

## 6. Разновидности конструкций кейджа

Спинальные кейджи в большинстве своем имеют схожее строение и размеры, однако бывают кардинальные различия между некоторыми моделями. Ниже приведены модели, которые мы посчитали нужным отметить.

### 6.1. Поясничный раздвижной кейдж

Заявляемая полезная модель поясняется с помощью фигуры, на которой изображен общий вид кейджа межпозвонкового диска. На рисунке 1 обозначены:

- 1 - пулевидная форма;
- 2 - шипы;
- 3 - пористая поверхность;
- 4 - аморфное углеродное покрытие;
- 5 - отверстие в центре;
- 6 - материал ксенногенного происхождения;
- 7 - отверстия сбоку;
- 8 - отверстие с торца.

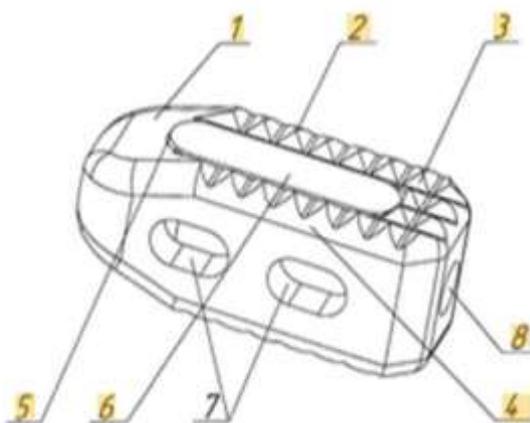


Рисунок 1 – Схема поясничного раздвижного кейджа

Известен «Поясничный раздвижной кейдж» [6]. Конструкция кейджа имеет бобовидную форму, включает корпус, крышку, осевой винт, две цилиндрические гайки и стягивающую пружину, в крышке имеются четыре направляющих цилиндра, в корпусе имеются четыре отверстия, в которые

вставляются направляющие цилиндры, осевой винт с одной стороны до середины длины имеет прямую резьбу, с другой стороны до середины - обратную резьбу, а также гексагональный шлиц собранная конструкция фиксируется пружиной, при вращении винта по часовой стрелке происходит раздвижение основания и крыши, при обратном вращении осевого винта основание и крыша сдвигаются. Недостатком этого кейджа является сборная конструкция, увеличивающая сложность имплантации изделия и повышает опасность постоперационных осложнений. Кроме этого, бобовидная форма не подходит для всех анатомических вариантов строения поясничного отдела. Задачей полезной модели является создание импланта с минимальным реабилитационным периодом. Технический результат заявляемой полезной модели заключается в минимальном реабилитационном периоде и достигается за счет изготовления кейджа из биологически инертного титанового сплава, который обладает высокими механическими свойствами. Выполнение кейджа согласно анатомической форме тел позвонков, позволяет надежно стабилизировать кейдж в межпозвонковом пространстве. Расположение шипов на внешней поверхности корпуса обеспечивает первичную фиксацию с позвонками, препятствующими переднее-заднему смещению кейджа. Пористая поверхность со структурированным аморфным углеродным покрытием позволяет минимизировать аллергическую реакцию организма на металлический имплант. Ксеногенный материал, установленный в отверстии кейджа, ускоряет остеоинтеграцию, гарантируя срастание костной структуры с кейджем за минимальное постоперационное время. Жесткость кейджа позволяет произвести декомпрессию спинного мозга.

## **6.2. Регулируемый кейдж для позвоночника**

На рисунке 2 (фиг. 1) показана упрощенная наглядная иллюстрация кейджа для позвоночника в исходной сжатой конфигурации, сконструированного и действующего в соответствии с одним из неограничивающих вариантов осуществления изобретения [7];

На рисунке 2 (фиг. 2 и 3) показаны, соответственно, упрощенные наглядные иллюстрации и виды с торца, проиллюстрированного на фиг. 1 кейджа в раздвинутой конфигурации, в которой кейдж поднят на новую высоту и наклонен под новым углом (например, с целью достижения желаемой высоты и угла лордоза);

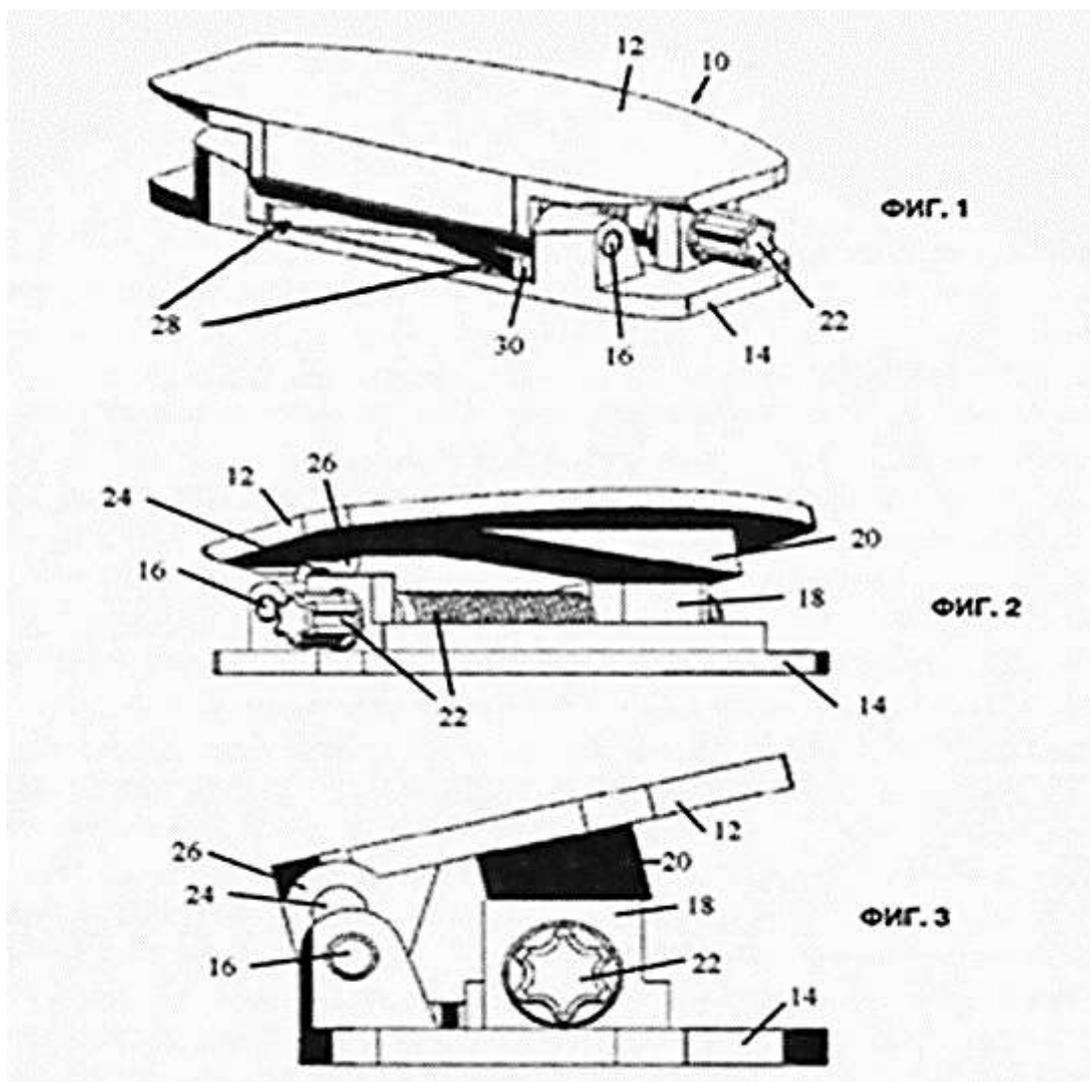


Рисунок 2 – Схема кейджа

В основу настоящего изобретения положена задача создания усовершенствованного раздвижного кейджа для позвоночника, который, например, позволяет регулировать угол лордоза между двумя позвонками после установки в сжатой конфигурации.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения раздвижной кейдж имеет подвижно установленный шарнир, как подробнее описано далее.

Таким образом, в одном из неограничивающих вариантов осуществления настоящего изобретения предложен кейдж для позвоночника, содержащий первую опорную пластину, соединенную с возможностью поворота со второй опорной пластиной с помощью шарнира, движитель пластин, приводимый в действие исполнительным механизмом и расположенный между первой и второй опорными пластинами, при этом движитель пластин выполнен с возможностью скольжения по наклонной поверхности первой опорной пластины, и шарнир, установленный в удлиненном отверстии в корпусе шарнира, выступающем из первой опорной пластины, при этом шарнир свободно перемещается и поворачивается в удлиненном отверстии. При этом в сторону шарнира и/или первой опорной пластины смещен один или более опорных элементов. Один или более опорных элементов могут смещаться смещающим устройством. В соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения различные участки наклонной поверхности имеют различные наклоны. В соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения различные участки движителя пластин имеют различные наклоны.

Также стоит отметить кейдж, используемы при операции XLIF. По своей структуре они представляют обыкновенный кейдж представленный выше, однако сильно отличаются большим размером.

### **6.3. Поясничный кейдж**

PROSPACE® PEEK Заднее поясничное межтеловое устройство (рис. 3) – это имплантат, используемый для стабилизации поясничного и грудного отделов позвоночника с помощью заднего подхода, моносегментарного или мультисегментарного. Рентгеновская прозрачность позволяет быстро и просто оценить структуру кости и прогресс в ее срастании. Танталовые штифты служат маркерами местоположения. Модуль упругости 3,6 ГПа

способствует распределению нагрузки между материалом имплантата и естественной костью, тем самым стимулируя активность заживления кости [8].

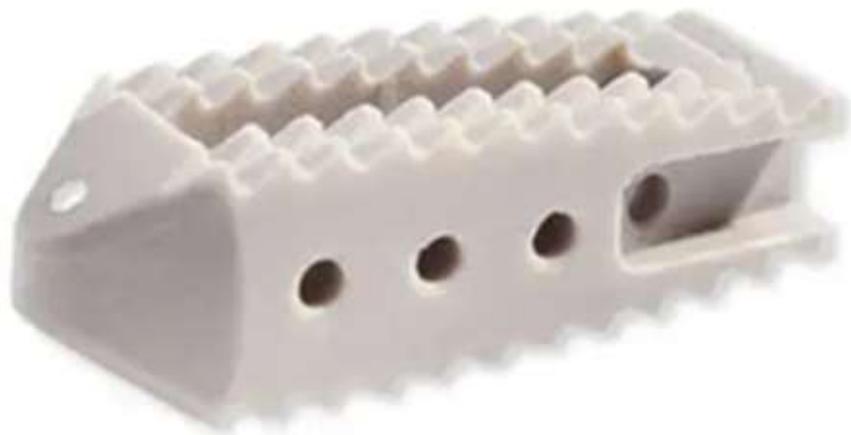


Рисунок 3 – Поясничный кейдж PROSPACE®

#### Особенности PEEK-Optima®

- Имплант прозрачен для рентгеновских лучей и не имеет артефактов.
- Танталовые маркеры служат в качестве маркеров местоположения
- Анатомическая форма и зубчатый профиль обеспечивают высокую первичную стабильность
- Пулевидная носовая часть облегчает имплантацию кейджа, особенно в сильно дегенерированных дисках
- Прямой дизайн имплантата для минимальной ретракции твердой мозговой оболочки и нервных корешков
- Лордотический дизайн имплантата для восстановления естественного лордоза на всех уровнях для баланса позвоночника
- Возможность заполнения костью или костным заменителем для усиления костного сращения

#### 6.4. Шейный кейдж

CeSPACE®XP Передне-заднее шейное межтеловое устройство (рис. 4) показан для лечения дегенеративных заболеваний шейного диска и нестабильности в области C3-C7 [9].



Рисунок 4 – Шейный кейдж

Преимущества:

- высокая первичная стабильность благодаря шероховатой поверхности, которая повышает устойчивость к миграции и механическую прочность;
- высокая вторичная стабильность благодаря миграции костных клеток в структуру;
- широкий диапазон размеров имплантатов, позволяющий подобрать подходящий имплантат для пациента;
- простые и четко расположенные инструменты;

Особенности:

- очерчивает контуры имплантата под рентгеновским излучением.

### **6.5. Кейдж для торакальной зоны**

TSPACE® РЕЕК Трансфораминальное поясничное межтеловое устройство (рис. 5)— это имплантат, используемый для стабилизации поясничного и грудного отделов позвоночника с помощью трансфораминального или трансартикулярного подхода, моноsegmentарного или мультиsegmentарного. TSPACE® был разработан с учетом требований минимально-инвазивной хирургической техники. Рентгеновская прозрачность позволяет быстро и просто оценить структуру

костей и прогресс в их сращении. Танталовые штифты служат в качестве маркеров местоположения. Модуль упругости 3,6 ГПа способствует распределению нагрузки между материалом имплантата и естественной костью, тем самым стимулируя активность заживления кости [10].



Рисунок 5 – Кейдж для торакальной зоны

Преимущества:

- односторонний и минимально инвазивный подход к позвоночнику;
- широкий диапазон размеров имплантатов, позволяющий подобрать подходящий имплантат для пациента, например, с шагом 1 мм по высоте

Особенности:

- бананообразная форма обеспечивает максимальную площадь контакта между позвонком и имплантатом, но при этом достаточно тонкая для введения через отверстие;
- прозрачен для рентгеновских лучей и не имеет артефактов;
- танталовые маркеры служат в качестве маркеров местоположения;
- анатомическая форма и зубчатый профиль.

## **7. Компании производители**

Производством имплантов кейж занимается ряд компаний сферы здравоохранения. Лидерами среди производителей являются компании B.Braun, Stryker, Ultrich medical и Waston

Компания B. Braun основанна в 1839 году. В 1962 году B. Braun выпустила на рынок «Липофундин» - первую липидную эмульсию, разработанную в Германии. За ней последовали высококонцентрированные аминокислотные растворы и комбинированные решения для нутритивной терапии. Многокамерная система Nutriflex - удобные для пациента комплексные решения в одном пакете - является частью ассортимента продукции B. Braun с 1990-х годов. Теперь B. Braun также предлагает широкий ассортимент продуктов для энтерального питания. В конце 1960-х годов компания начала производство собственных диализных аппаратов в сотрудничестве с FRABA. B. Braun управляет диализными центрами с начала 1990-х годов, первый из которых был открыт в Будапеште, Венгрия, в 1991 году. После начала нового тысячелетия сетевые системы означали, что весь процесс лечения диализного пациента теперь можно контролировать и документировать. С 2008 года компания B. Braun Avitum успешно работает в качестве поставщика полного спектра услуг по экстракорпоральной очистке крови и в настоящее время управляет более чем 360 центрами по уходу за почками [11]. Компания производит широкий спектр продукции для спинальной хирургии.

Компания Stryker берет свое начало с 1941 года. В настоящее время компания входит в число мировых лидеров в области медицинских технологий и вместе со своими клиентами ежегодно улучшает здоровье миллионов пациентов. Наши разнообразные инновационные продукты и услуги в области медицинского и хирургического оборудования, нейротехнологий, ортопедии и для спинальной хирургии способствуют улучшению результатов лечения и повышению эффективности работы лечебных учреждений. Портфель продуктов компании постоянно

расширяется, но культура компании по-прежнему отражает наследие доктора Страйкера, и имеет все возможности для дальнейшего совершенствования здравоохранения для будущих поколений [12].

Компания Ultrich medical основана в 1912 году. Специализируется на радиологии и операциях позвоночника [13]. Компания проводит биомеханические и клинические исследования, что позволяет ей разрабатывать новейшие продукты. Имплантаты для замены тел позвонков и шейные, грудные и поясничные имплантаты делают компанию лидерами рынка, но также предлагаются динамические системы для стабилизации позвоночника. Это действительно высокотехнологичные продукты, которые популярны у спинальных хирургов по всему миру.

Основанная в 2002 году, компания Waston Medical является одним из ведущих игроков в медицинской промышленности Китая. В соответствии с концепцией инноваций и сотрудничества, она специализируется на пяти направлениях, включая ортопедию, хирургические степлеры, торакальные имплантаты, индивидуальную 3D-печать и передовое лечение ран. Ортопедическое отделение специализируется на травматологии, позвоночнике, спортивной медицине и разработке искусственных суставов. Waston Medical стремится улучшить качество жизни пациентов, повышая эффективность и результативность процедур за счет инновационного дизайна, бескомпромиссных стандартов качества и самых технологически совершенных производственных платформ. В 2008 году компания оформила патент на систему реберных пластин, в 2012 году патент на трех рядовой степлер, в 2016 патент на стерильную пластину. В 2013 зарегистрировало и в 2014 открыло отделение, специализирующееся на 3d печати [14].

### **Заключение**

В заключении, позвоночный кейдж является революционным изобретением для области медицины и остается неотъемлемой ее частью

на сегодняшний день. Применение спинальных кейджей представляет возможность лечить многочисленные заболевания позвоночника таким способом, который не был раньше доступен. Они позволяют лечить такие заболевания как спондилоартроз, сколиоз, позвоночные опухоли, при этом сохраняя прежнюю подвижность позвоночника. При всем вышеупомянутом стоит отметить, что широкая разновидность спинальных кейджей, а именно многообразие материалов, конструкций, производящих компаний, позволяет найти индивидуальный подход к лечению каждого пациента, тем самым улучшая и ускоряя процесс реабилитации

### Литература

1. Операция на позвоночнике с титановым кейджем / [Электронный ресурс] // портал Mz-Don : [сайт]. — URL: <https://mz-don.com/spina/operaciya-na-pozvonochnike-s-titanovym-kejdzhem.html> (дата обращения: 30.09.2024).
2. Исторические аспекты формирования представлений об этиологии и лечении грыжи межпозвоночного диска / [Электронный ресурс] // Сетевое издание 'Современные проблемы науки и образования' : [сайт]. — URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32118> (дата обращения: 30.09.2024).
3. Крутько А.В. Хирургическая тактика и организация специализированной помощи больным с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями поясничного отдела позвоночника: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Новосибирск. 2012. с 38 по 62 с
4. Маслиев К.И Хирургическое лечение спондилолистеза поясничного отдела позвоночника, осложнённого корешковым синдромом, задним межтеловым спондилодезом кейджами в сочетании с транспедикулярной фиксацией. : специальность «» : Автореферат на соискание доктора медицинских наук / Маслиев.К.И ; . — , 2003. — 21 с.
5. Кейджи для позвоночника / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://www.spina.ru/inf/states/1478> (дата обращения: 30.09.2024).
6. Басов С.В Поясничный раздвижной кейдж / Басов С.В [Электронный ресурс] // Google Patents : [сайт]. — URL: <https://patents.google.com/patent/RU2677058C2/ru> (дата обращения: 30.09.2024).
7. АРНИН, Ури Регулируемый кейдж для позвоночника / АРНИН, Ури [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: <https://poleznayamodel.ru/patent/271/2715750.html> (дата обращения: 30.09.2024).
8. Кейджи для межтелового спондилодеза грудно-поясничного отдела позвоночника, изготовленные из биосовместимого материала РЕЕК-Optima® / [Электронный

- ресурс] // В. Braun : [сайт]. — URL: <https://www.bbraun.ru/ru/products/b/prospace-peek.htm> (дата обращения: 30.09.2024).
9. Anterior Cervical Interbody Device / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: <https://www.bbraun.dk/da/products/b/cespace-xp.html> (дата обращения: 30.09.2024).
  10. Система кейджей, изготовленных из биосовместимого материала РЕЕК-Optima®, для трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: <https://www.bbraun.ru/ru/products/b/tospace-peek.html> (дата обращения: 30.09.2024).
  11. В. Braun Innovation Hub / [Электронный ресурс] // В. Braun : [сайт]. — URL: <https://www.bbraun.com/en/about-us/company/innovation-hub.html> (дата обращения: 30.09.2024).
  12. История компании / [Электронный ресурс] // Stryker : [сайт]. — URL: <https://www.stryker.com/ru/ru/about/history.html> (дата обращения: 30.09.2024).
  13. "Made in Germany" quality seal / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: <https://www.ulrichmedical.com/en/company/our-promise/made-in-germany> (дата обращения: 30.09.2024).
  14. Milestones / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: <https://www.waston-global.com/pages/milestones.html> (дата обращения: 30.09.2024).

## ЛАЗЕР В МЕДИЦИНЕ

**А.С. Мажукова , К.Е. Кондрашина, Е.А. Кушнарера , А.А. Данченкова,  
И.Д. Байдин , Д.А. Козакевич (ред. А.Ю. Смирнов, В.В. Гребенникова)**

В статье рассматривается использование лазеров в медицинской практике. Описываются физические основы лазерного излучения, его взаимодействие с биологическими тканями и основные параметры, определяющие эффективность лазерного воздействия. Особое внимание уделено различным видам лазеров и их применению в различных областях медицины, таких как офтальмология, дерматология, хирургия и стоматология. Рассматриваются преимущества и недостатки лазерных методов лечения по сравнению с традиционными подходами. В заключение обсуждаются перспективы развития лазерных технологий в медицине и их потенциал для создания более эффективных и безопасных методов диагностики и лечения.

### **Введение**

Лазеры в медицине являются одной из наиболее современных и перспективных технологий, оказывающих значительное влияние на развитие различных направлений медицинской практики. Актуальность данной темы обусловлена тем, что лазеры позволяют эффективно диагностировать и лечить заболевания с минимальным воздействием на организм пациента. Лазерные технологии широко применяются в хирургии, стоматологии, дерматологии и эстетической медицине, а также играют важную роль в борьбе с онкологическими заболеваниями. Высокая точность и возможность работы на уровне клеток и тканей обеспечивают лазерам уникальные преимущества перед традиционными методами лечения.

В медицине используются различные типы лазеров, такие как газовые, твердотельные, полупроводниковые, жидкостные, диодные и фракционные. Каждый из этих типов имеет свои уникальные характеристики и используется для решения специфических медицинских задач. Благодаря возможности выбора конкретного типа лазера в

зависимости от заболевания и зоны воздействия, их применение в медицине становится еще более эффективным и универсальным.

Целью данной статьи является изучение применения лазеров в медицине, рассмотрение их видов, принципов действия и областей использования. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) проанализировать основные виды лазеров, используемые в медицине;
- 2) изучить принципы их работы и воздействия на организм;
- 3) рассмотреть области медицины, где лазеры находят наиболее широкое применение;
- 4) выявить преимущества и возможные ограничения использования лазеров в медицинской практике.

Таким образом, изучение данной темы позволяет оценить потенциал лазеров в медицине и их влияние на улучшение качества диагностики и лечения заболеваний.

### **1. Лазеры и их история**

Лазеры в медицине на сегодняшний день считаются важным и эффективным инструментом, активно применяемым в различных областях. Они используются для повышения точности и минимизации травматичности процедур. Современные лазерные технологии помогают сокращать боль, уменьшать кровопотери и ускорять восстановление пациентов, снижая риск осложнений.

Ключевые сферы применения лазеров в медицине:

1. Хирургия: Минимально инвазивные операции, ускоряющие восстановление.
2. Офтальмология: Лазерная коррекция зрения и лечение глазных заболеваний.
3. Дерматология: Лечение кожных заболеваний, удаление рубцов, пигментации и татуировок.

4. Стоматология: Лечение кариеса, десен и отбеливание зубов.
5. Онкология: Удаление или разрушение опухолей.
6. Косметология: Лазерное омоложение кожи, удаление волос и сосудистых звездочек.

История создания лазера началась в 1916 году, когда Альберт Эйнштейн разработал теорию взаимодействия излучения с веществом, предсказав создание квантовых усилителей и генераторов электромагнитных волн. Первый лазер был сконструирован в 1960 году Теодором Мейманом, который создал рубиновый лазер с длиной волны 0,69 мкм. В том же году доктор Леон Голдман впервые применил этот лазер для разрушения волосяных фолликулов, положив начало применению лазеров в эстетической медицине.

В 1983 году Андерсон и Парриш предложили метод селективного фототермолиза, основанный на избирательном поглощении светового излучения биотканями, что позволило еще более точно и безопасно использовать лазеры в медицинских процедурах.

## **2. Основной принцип работы лазера**

Принцип работы лазера основан на стимулированной эмиссии излучения, процессе, предсказанном Альбертом Эйнштейном. Рассмотрим основные компоненты лазера и процесс генерации излучения [6].

Основные компоненты лазера:

1. **Активная среда:** Это вещество или материал, способный подвергаться стимулированной эмиссии и создавать фотоны. Например, активная среда может быть кристаллом или газом.

2. **Внешний источник возбуждения:** Для того чтобы активировать активную среду, ей необходимо подать энергию. Этим занимается внешний источник возбуждения, который может быть лампой, другим лазером или электрическим разрядом.

3. Резонатор: Резонатор состоит из двух зеркал, одно из которых полупрозрачное, а другое - полностью отражающее. Он предназначен для усиления и удержания световых волн внутри активной среды.

Процесс генерации излучения:

1. Насыщение активной среды: Внешний источник возбуждения подает энергию в активную среду, вызывая переход ее атомов на более высокие энергетические уровни. При этом часть атомов остается на возбужденных уровнях.

2. Распространение фотонов: Когда активированные атомы возвращаются на более низкие энергетические уровни, они испускают фотоны. Эти фотоны затем сталкиваются с другими возбужденными атомами, вызывая их стимулированную эмиссию и создавая цепную реакцию.

3. Выход излучения через зеркала резонатора: Фотоны, распространяющиеся внутри резонатора, усиливаются при прохождении через активную среду и отражаются между зеркалами. При достижении определенного порогового значения интенсивности, часть фотонов проходит через полупрозрачное зеркало, образуя лазерный луч.

Таким образом, лазер работает на основе процесса стимулированной эмиссии, при котором создается узконаправленное и усиленное излучение света. Этот принцип позволяет использовать лазеры в различных областях, таких как наука, медицина, технологии и промышленность.

Газовые лазеры используют газ в качестве активной среды. Эти лазеры могут работать с различными газами, такими как углекислый газ (CO<sub>2</sub>), гелий-неон (He-Ne) и гелий-кадмий (He-Cd). Твердотельные лазеры используют кристаллические или стеклянные материалы в качестве активной среды. Примеры таких материалов включают Nd:YAG (неодимий-иттриево-алюминиевый гранат), Nd:glass (неодимий-стекло) и Ruby (рубин). Полупроводниковые лазеры используют полупроводниковые материалы, такие как галлий-арсенид (GaAs) или германий (Ge), для создания активной среды [15].

### 3. Применение в хирургии

Лазеры в хирургии играют важную роль благодаря их высокой точности, способности минимизировать повреждение окружающих тканей и сокращать время восстановления. Лазерные установки заменяют традиционные хирургические инструменты в ряде процедур, обеспечивая минимально инвазивные методы лечения [10].

*Резекция тканей:* лазеры позволяют хирургу удалять патологические ткани с минимальными кровопотерями. Например, они используются в гастроэнтерологии для удаления полипов или новообразований в пищеварительном тракте.

*Коагуляция сосудов:* лазеры применяются для остановки кровотечений путем коагуляции кровеносных сосудов, что особенно важно при операциях на печеночных, легочных или других мягких тканях.

*Эндоскопические операции:* в сочетании с эндоскопией лазеры применяются для минимально инвазивных операций, таких как удаление опухолей или сужений в пищеводе, желудке и кишечнике.

*Лазерные установки:*

СО<sub>2</sub>-лазеры (углекислотные). Используются для резекции и коагуляции тканей в хирургии, так как обладают высокой точностью и способностью контролировать глубину проникновения в ткань. Они активно применяются в абдоминальной хирургии, оториноларингологии, дерматохирургии и нейрохирургии. (Рисунок 1) [1].

Nd:YAG-лазеры (неодимовые). Обладают глубокой проникающей способностью и используются для коагуляции и разрушения тканей, особенно в онкологической хирургии. Также их применяют для эндоскопических операций на мягких тканях, включая резекцию опухолей. (Рисунок 2) [1].



Рисунок 1 – CO<sub>2</sub>-лазер (углекислотный)



Рисунок 2 – Nd:YAG-лазер (неодимовый)

#### **4. Применения лазеров в офтальмологии**

Офтальмология — одна из первых областей медицины, где лазеры нашли широкое применение. Они используются для коррекции зрения и лечения различных глазных заболеваний, таких как глаукома, катаракта и диабетическая ретинопатия [7].

Лазерная коррекция зрения (LASIK, PRK): Лазеры изменяют форму роговицы, чтобы улучшить зрение пациентов с близорукостью, дальнозоркостью или астигматизмом.

Лечение глаукомы: Лазеры используются для улучшения оттока внутриглазной жидкости, снижая внутриглазное давление и предотвращая повреждение зрительного нерва.

Лечение диабетической ретинопатии: Лазерная коагуляция сетчатки предотвращает развитие новых кровеносных сосудов, что снижает риск кровоизлияний и отслоения сетчатки.

Удаление катаракты: фемтосекундные лазеры применяются для выполнения точных разрезов в роговице при удалении помутневшего хрусталика.

##### *Лазерные установки:*

Эксимерные лазеры: используются для лазерной коррекции зрения (LASIK и PRK), так как они позволяют точно изменять форму роговицы без нагрева окружающих тканей. (Рисунок 3) [1].

Аргоновые лазеры: применяются для коагуляции сетчатки и лечения глаукомы. Эти лазеры способны воздействовать на сетчатку без значительного повреждения окружающих структур глаза. (Рисунок 4) [1].

Фемтосекундные лазеры: высокоточные установки, которые используются для выполнения разрезов в роговице при операциях LASIK и при удалении катаракты. Они обеспечивают ультракороткие импульсы, минимизируя повреждение тканей. (Рисунок 5) [1].



Рисунок 3 – Эксимерный лазер



Рисунок 4 – Аргоновый лазер



Рисунок 5 – Фемтосекундный лазер

## 5. Применение лазеров в дерматологии

Лазеры в дерматологии применяются для лечения кожных заболеваний, шлифовки кожи, удаления рубцов, пигментных пятен и татуировок. Они обеспечивают высокую точность воздействия, минимально повреждая окружающую здоровую кожу [4].

Применение лазеров в дерматологии:

1. Лазерная шлифовка кожи: лазеры используются для удаления поверхностных слоев кожи, что помогает устранить морщины, рубцы и мелкие неровности. Это часто применяется для омоложения кожи и лечения акне.

2. Удаление сосудистых звездочек: лазеры коагулируют мелкие сосуды, устраняя видимые сосудистые сетки на лице или ногах.

3. Удаление татуировок и пигментных пятен: лазеры способны разрушать пигмент, не повреждая окружающие ткани, что делает их эффективными для удаления татуировок и гиперпигментации.

4. Лечение акне и рубцов: лазеры применяются для удаления угревых высыпаний и сглаживания рубцов после акне.

Лазерные установки:

1. CO<sub>2</sub>-лазеры: используются для лазерной шлифовки кожи, удаления бородавок, папиллом, родинок и других кожных новообразований. Эти лазеры обеспечивают глубокое проникновение и позволяют точно удалять ткани.

2. Рубиновый лазер: применяется для удаления пигментных пятен и татуировок, поскольку способен избирательно воздействовать на меланин в коже.

3. Александритовый лазер: эффективен для удаления волос и гиперпигментации, так как хорошо взаимодействует с меланином.

4. Er:YAG-лазеры: используются для поверхностного удаления слоев кожи, эффективны для лечения поверхностных рубцов и пигментных пятен.

## **6. Применение лазеров в стоматологии**

Лазеры в стоматологии помогают в лечении кариеса, заболеваний десен, отбеливании зубов и других стоматологических процедурах. Их преимущества включают высокую точность, безболезненность и снижение риска инфекций [7].

Применение лазеров в стоматологии:

1. Удаление кариеса: лазеры позволяют удалять кариозные поражения без использования традиционных бормашинок, что делает процедуру менее болезненной.

2. Лечение заболеваний десен: лазеры применяются для удаления инфицированных тканей при заболеваниях десен, таких как пародонтит.

3. Отбеливание зубов: лазеры активируют отбеливающие вещества, что ускоряет процесс осветления зубной эмали.

4. Удаление новообразований: лазеры используются для безболезненного удаления доброкачественных опухолей или фибром на слизистой оболочке рта.

Лазерные установки:

1. Эрбиевые лазеры: используются для обработки твердых тканей зубов, удаления кариозных поражений и реставраций. Они заменяют традиционную бормашину.

2. Диодные лазеры: применяются для лечения заболеваний десен и других процедур на мягких тканях рта, таких как гингивэктомия и удаление фибром.

3. CO<sub>2</sub>-лазеры: применяются для хирургии мягких тканей, включая удаление опухолей и исправление десневых контуров

## **7. Применение лазеров в онкологии**

Лазеры играют важную роль в онкологии, особенно для лечения и удаления опухолей, которые трудно поддаются хирургическому вмешательству. Лазерные технологии позволяют целенаправленно разрушать опухолевые ткани, минимизируя повреждение здоровых.

Применение лазеров в онкологии:

1. Удаление опухолей: лазеры используются для разрушения опухолей в таких органах, как легкие, желудок и кишечник, особенно если опухоль находится в труднодоступных местах.

2. Фотодинамическая терапия (ФДТ): лазеры применяются совместно с фотосенсибилизирующими препаратами для избирательного разрушения раковых клеток.

3. Паллиативное лечение: лазеры могут использоваться для уменьшения симптомов, вызванных опухолями, например, для удаления опухоли, которая затрудняет дыхание или глотание.

4. Мультиמודальная тераностика: здесь лазер используется для создания наночастиц из металла. Наночастицы вводят в организм, делают рентген и обнаруживают с их помощью опухоль. Далее с помощью лазеров наночастицы нагревают, и они «выжигают» опухоль. Метод новый, еще мало где применяется, но очень перспективный [11-14].

Лазерные установки:

1. Nd:YAG-лазеры: применяются для разрушения опухолей, особенно в легких, пищеводе и желудке. Эти лазеры глубоко проникают в ткани и эффективно коагулируют опухолевые клетки.

2. Аргоновые лазеры: используются в фотодинамической терапии, где лазер активирует введенный препарат, который разрушает опухолевые клетки.

3. Фемтосекундный лазер: используется в установке с зеркалами и гальванометрическим сканером. Зеркала перенаправляют луч из лазера, а сканер собирает его в единый маленький пучок, после чего он попадает в мишень (металл). (Рисунок 6)

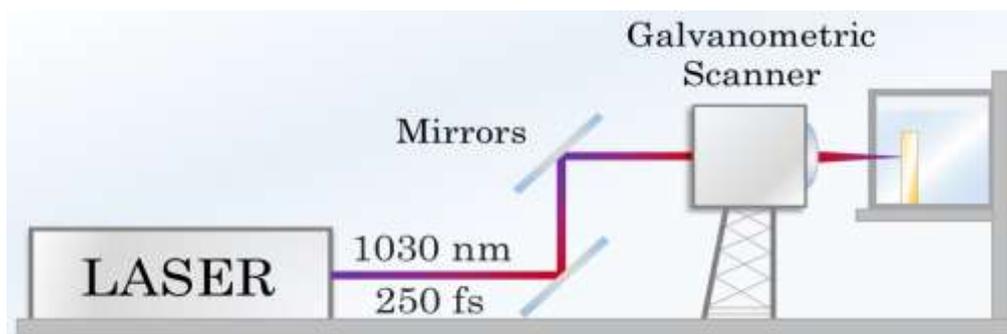


Рисунок 6 – Схема установки лазера

## 8. Применение лазеров в косметологии

Лазеры в косметологии активно используются для омоложения кожи, удаления волос, сосудистых звездочек и пигментных пятен. Благодаря высокой точности и безопасности, лазерные процедуры позволяют достигать значительных эстетических результатов с минимальными побочными эффектами [4, 9].

Применение лазеров в косметологии:

1. Лазерное омоложение кожи: лазеры стимулируют обновление коллагена, улучшая текстуру кожи, разглаживая морщины и уменьшая пигментацию.
2. Удаление волос: лазеры эффективно разрушают волосяные фолликулы, что позволяет достичь долгосрочного удаления волос.
3. Удаление сосудистых звездочек и варикозных вен: лазеры коагулируют расширенные сосуды, что позволяет устранить сосудистые дефекты на коже.
4. Лечение акне и постакне: лазеры помогают уменьшить воспаление при акне и разгладить рубцы после акне.

Лазерные установки:

1. Александритовый лазер: используется для удаления волос и лечения пигментации благодаря своей способности воздействовать на меланин.

2. Nd:YAG-лазер: применяется для удаления сосудистых звездочек и лечения варикозных вен, так как обладает способностью глубоко проникать в кожу.

3. Фракционные CO<sub>2</sub>-лазеры: используются для лазерного омоложения кожи, уменьшения морщин и улучшения текстуры кожи [2].

### **Заключение**

Лазерные технологии в медицине значительно изменили подходы к диагностике и лечению заболеваний, предлагая высокую точность и минимальное воздействие на организм пациента. В хирургии лазеры уменьшают травматичность операций и риск осложнений, а в офтальмологии позволяют эффективно корректировать зрение и лечить глазные заболевания.

Дерматология активно использует лазеры для решения проблем с кожей, таких как пигментация и акне, а в стоматологии лазеры используются для безболезненного удаления кариеса и лечения заболеваний десен. В онкологии лазеры помогают целенаправленно уничтожать опухоли, улучшая качество жизни пациентов. Косметология применяет лазеры для омоложения кожи и удаления волос, делая процедуры более безопасными и комфортными.

В целом, лазеры представляют собой мощный инструмент в современном медицинском арсенале. Их интеграция в клиническую практику открывает новые горизонты для улучшения результатов лечения и повышения удовлетворенности пациентов, а дальнейшее развитие технологий обещает новые методы и возможности в медицине.

### **Литература**

1. Области применения лазерных аппаратов. ООО «Русский инженерный клуб» URL: [https://www.lasermid.ru/lazernye\\_apparaty\\_v\\_otorinolaringologii](https://www.lasermid.ru/lazernye_apparaty_v_otorinolaringologii) (дата обращения 11.06.2023).
2. Егорова Е.А., Калинин Р.Е., Сучков И.А. Лазерные Технологии в эстетической медицине: Прошлое и настоящее. ФГБОУ ВО «Рязанский государственный

- медицинский университет им. академика И.П. Павлова», Рязань. С.1-7.URL: [https://www.pirogov-vestnik.ru/upload/iblock/a4f/8vdk04jdhugsgxr1jgoj8tmhanv2zt4/2024\\_1\\_26.pdf](https://www.pirogov-vestnik.ru/upload/iblock/a4f/8vdk04jdhugsgxr1jgoj8tmhanv2zt4/2024_1_26.pdf) (дата обращения 11.06.2023).
3. Новая эра в хирургии: лазерные технологии помогут восстановить поврежденные ткани без швов и рубцов. Lvrach - медицинский научно-исследовательский портал. [Электрон. ресурс] URL: <https://www.lvrach.ru/news/15437608> (дата обращения 11.06.2023).
  4. Соловьев А.М., Ольховская К.Б. Применение лазера в дерматологии и косметологии / Lvrach - медицинский научно-исследовательский портал. [Электрон. ресурс] URL: <https://www.lvrach.ru/2005/06/4532685> (дата обращения 26.08.2005).
  5. Буйлин В.А., Ларюшин А.И., Никитина М.В. Свето-лазерная терапия. Руководство для врачей; Беликов А.В., Скрипник А.В. Лазерные биомедицинские технологии, часть 1; Москвин С.В. Основы лазерной терапии. [Электрон. ресурс] URL: <http://www.alcommedica.ru/info/liter/stati/NILI.html> (дата обращения 11.06.2023).
  6. Владимиров Ю.А. Лазерная терапия: настоящее и будущее. Советский образовательный журнал, № 12, 1999. С. 1-7. [Электрон. ресурс] URL: [https://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9912\\_002.pdf](https://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9912_002.pdf) (дата обращения 11.06.2023).
  7. Шахно Е.А. Физические основы применения лазеров в медицине: учебное пособие. М.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 1999. [Электрон. ресурс] URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/903.pdf> (дата обращения 05.11.1999).
  8. Москвин С.В. Основы лазерной терапии. Серия "Эффективная лазерная терапия". Т. 1. М.-Тверь: ООО "Издательство "Триада", 2016. 896 с.
  9. Богданов С. Л. и др. Лазерная терапия в косметологии: метод. рекомендации. СПб., 1995.
  10. Рапопорт Ж. Ж. и др. Применение лазеров в хирургии и медицине. Самарканд, 1988. Ч. 1. С. 91-93.
  11. Rastinheadetal. Gold nanoshell-localized photothermal ablation of prostate tumors in a clinical pilot device study. PNAS, 2019, Vol. 116, № 37, 18590-18596.
  12. Savinov M. S. et al. X-ray Contrast Properties of Bismuth-Based Nanoformulations. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 2023, Vol. 12, 1-7.
  13. Barcikowski et al. Handbook of Laser Synthesis and Processing of Colloids (Second Edition), 2019.
  14. Bulmahn et al. Laser-Ablative Synthesis of Stable Aqueous Solutions of Elemental Bismuth Nanoparticles for Multimodal Theranostic Applications. Nanomaterials, 2020, Vol. 10, №8, P. 1463.
  15. Фотоника-2025 – научно-исследовательская выставка посвященная лазерам. [Электрон. ресурс] URL: <https://www.photonics-expo.ru/ru/articles/princip-raboty-lazera/> (дата обращения 26.10.2024).

## **НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОР**

**Н.В. Брагута, Л.С. Галкин, К.Д. Гнездилов, М.А. Зотов, Л.К. Панин,  
А.Р. Сельдемиров (ред. А.Ю. Смирнов, В.В. Гребенникова)**

Цель работы состоит в изучении принципов и механизмов действия данного метода стимуляции. В работе рассматриваются клинические применения низкочастотного электростимулирования, его эффективность и возможные побочные эффекты. Кроме того, исследуется перспектива использования данного метода для лечения различных заболеваний и реабилитации пациентов

### **Введение**

Низкочастотные электростимуляторы (НЧЭС) представляют собой устройства, используемые в медицине для стимуляции нервов и мышц с целью лечения различных заболеваний и восстановления функций организма. Эти устройства находят применение в физиотерапии, реабилитации и спортивной медицине.

Физиотерапия представляет собой метод лечения и профилактики разнообразных заболеваний путём воздействия на организм человека различными факторами природного или искусственного происхождения. Часто методы физиотерапии рекомендуются во время реабилитационного периода после перенесённых заболеваний и хорошо сочетаются с традиционными схемами лечения лекарствами. При отсутствии противопоказаний использование физиотерапевтических методик существенно ускоряет процесс выздоровления и улучшает состояние пациента.

### **1. История и развитие НЧЭС**

Низкочастотные электростимуляторы начали развиваться в середине XX века, широкое использование электростимуляторов началось лишь в последние десятилетия. Первоначально они использовались в физиотерапии для лечения травм и болей. С течением времени технологии

улучшились, что позволило создавать более эффективные и безопасные устройства.

Большой вклад в развитие электростимуляции двигательного аппарата в нынешнем столетии внесли экспериментальные работы А.Н. Обросова, И.А. Абрикосова (1937), А.Н. Обросова, Н.М. Ливенцева (1953), Г.Ф. Колесникова с соавторами (1962-1977), В.Г. Ясногородского (1967), А.Т. Мишина с соавторами (1969), Л.С. Рахмилевича (1969) и других исследователей. Пример НЧЭС аппарата показан на рисунке 1.



Рисунок 1 - Современный НЧЭС

Современные НЧЭС включают множество функций, таких как программирование режимов работы и возможность регулировки параметров стимуляции. Но и сейчас важной медицинской и физиологической проблемой остается точное задание выходных параметров электрического сигнала разработчикам электростимуляторов: форма импульса, его длительность, частота импульсного тока и скважность следования импульсов.

## 2. Механизм действия

НЧЭС воздействуют на нервные окончания и мышечные волокна с помощью электрических импульсов. Основные механизмы действия включают:

- стимуляция нервов: импульсы активируют сенсорные нервные окончания, что может уменьшать восприятие боли;
- сокращение мышц: стимуляция приводит к сокращению мышц, что может улучшать их тонус и способствовать восстановлению после травм;
- улучшение микроциркуляции: электрические импульсы способствуют расширению кровеносных сосудов, что улучшает кровоснабжение тканей.

Схема механизма действия показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схематичный пример действия НЧЭС

Кроме того, в многочисленных исследованиях отмечается, что электростимуляция оказывает влияние не только на стимулируемые

мышцы, но и на весь организм, и в первую очередь на Центральную нервную систему (ЦНС).

### **3. Применение в различных областях медицины**

#### ***Физиотерапия***

В физиотерапии НЧЭС используются для лечения различных заболеваний опорно-двигательного аппарата, таких как:

- хронические боли в спине,
- остеоартрит,
- ревматоидный артрит,
- центральные парезы и параличи вследствие перенесённых острых нарушений мозгового кровообращения.

Пример размещения электрода показан на рисунке 3



Рисунок 3 – Пример размещения электродов

#### ***Реабилитация***

После хирургических вмешательств или травм НЧЭС помогают ускорить восстановление, улучшая функции мышц и предотвращая атрофию.

Электростимуляция улучшает кровообращение, обеспечивает вывод токсинов и стимулирует восстановление физиологической активности

клеток, ускоряет накопление клетками АТФ, интенсифицирует синтез белков и ионный обмен.

### ***Спортивная медицина***

Тренировка мышц: используется для повышения силы и выносливости.

Восстановление после тренировок: помогает снять мышечное напряжение, ускорить восстановление и уменьшить возникающие в мышцах болезненные ощущения.

Поддержание работоспособности двигательного аппарата: в результате воздействия происходит активизация работы мышц и обменных процессов, повышается тонус кожи и подкожных клеток, происходит улучшение кровотока и повышение эластичности сосудов, уменьшаются отеки.

Восстановления функций двигательного аппарата после травм и заболеваний нервно-мышечного аппарата: применение низкочастотной электростимуляции с пороговой и подпороговой силой тока позволяет значительно ускорить восстановление функций двигательного аппарата после травм у спортсменов [13].

## **4. Преимущества и противопоказания**

### ***Преимущества***

Неинвазивность: отсутствие необходимости в хирургическом вмешательстве

Простота использования: многие устройства можно использовать в домашних условиях.

Облегчение боли: в исследовании 2021 года было показано, что электрические токи сверхнизкой частоты уменьшили хроническую боль в пояснице в среднем на 90% [12].

Повышение функциональных возможностей мышц: электростимуляция замедляет развитие атрофии и мышечной

дисфункции, способствует увеличению силы сокращения мышц во время реабилитации, улучшает нервную проводимость.

Ускорение регенерации костной ткани: электростимуляция токами низкой частоты ускоряет темп восстановления повреждённой кости, вызывает более выраженную интеграцию новообразованной кости со старой неповреждённой костью и способствует формированию более мощной периостальной мозоли.

### ***Противопоказания***

Ограниченность в применении: не все пациенты могут использовать НЧЭС (например, при наличии кардиостимуляторов). НЧЭС относятся ко 2 классу безопасности (средняя-повышенная степень риска).

1. Не следует применять электростимулятор при наличии встроенного кардиостимулятора, при онкологических заболеваниях, при беременности (на область туловища).

2. Применение при лечении варикозной болезни требует осторожности. Допускается устанавливать электроды только по одному на каждую ногу (на икры).

Перед процедурой специалист проведёт детальное обследование. Важно, чтобы у пациента не был имплантирован кардиостимулятор, и он не страдал ни одним из перечисленных ниже заболеваний. Это необходимо для поддержания нормального функционирования сердца и всего организма:

- опухолевые заболевания,
- воспалительные заболевания,
- острая печёночная или почечная недостаточность,
- камни в почках и желчном пузыре,
- поражения, связанные с венозной функцией,
- хронические заболевания,
- беременность и менструация,

– гематологические заболевания. Пациентам с анемией, лейкоемией и гемоцитозом не следует использовать электрические импульсы. Это приводит к ухудшению состояния,

- неврологические расстройства,
- психические заболевания.

Не следует проводить лечение при вирусных заболеваниях или острых инфекциях. Лечение должно проводиться только после полного выздоровления. Если пациент страдает хроническим заболеванием, проконсультируйтесь с врачом, не противопоказана ли вам терапия мышечной стимуляции. Лицам, подверженным воздействию прибора, следует отказаться от лечения.

Некоторые противопоказания к ЧЭНС:

- онкологические патологии,
- активная форма туберкулёза,
- ношение кардиостимулятора,
- нарушение целостности кожи в зоне предполагаемого воздействия,
- острые дерматозы, экзема,
- тромбофлебит в острой форме,
- низкая свёртываемость крови,
- инфаркт миокарда, сердечная недостаточность и иные тяжёлые заболевания сердца,
- декомпенсированная форма гипертонии,
- лихорадка, острые инфекционные процессы,
- тяжёлое общее состояние,
- период менструаций у женщин,
- Эпилепсия,
- Болезнь Паркинсона,
- Легочная и сердечная недостаточность выше 2 степени.

Также процедура противопоказана людям с непереносимостью электрического тока, маленьким детям и пациентам с тяжёлыми психическими расстройствами.

## 5. Технические характеристики

### *Частота и амплитуда*

Частота: обычно варьируется от 1 до 1000 Гц. Низкие частоты (1-10 Гц) используются для расслабления мышц, высокие (до 1000 Гц) — для стимуляции нервов.

Амплитуда: регулируется в зависимости от чувствительности пациента и цели терапии. Форма стимулирующего показана на рисунке 4.

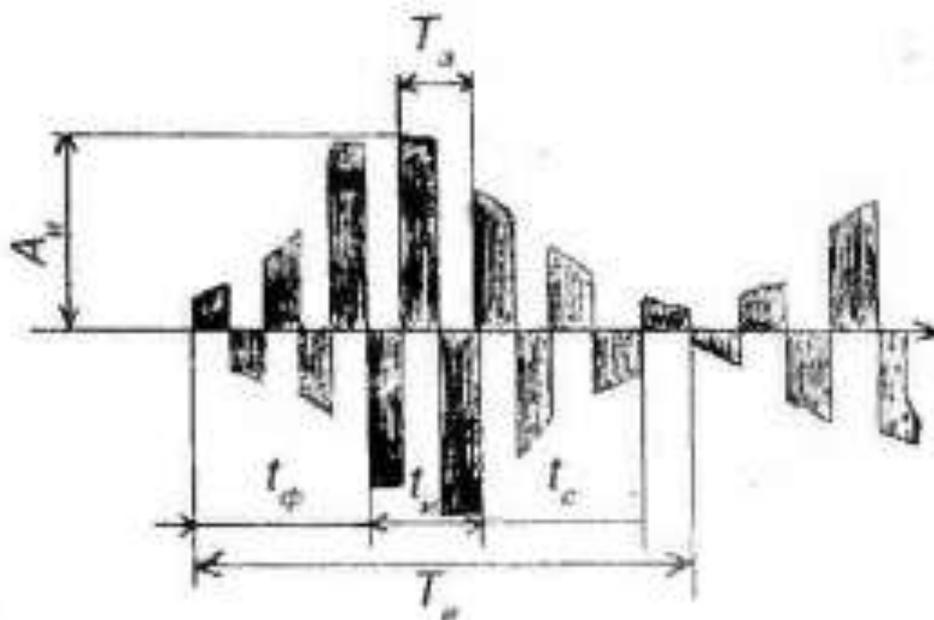


Рисунок 4 – Форма стимулирующих импульсов

### *Состав НЧЭС*

НЧЭС состоит из следующих основных компонентов (рисунок 5):

- генератор импульсов,
- электроды,
- блок управления,
- источник питания.



Рисунок 4 – Электрический стимулятор ТМ-502

### ***Режим работы***

Пульсирующий режим: Импульсы чередуются с периодами отдыха, что позволяет избежать усталости мышц.

Постоянный режим: Импульсы подаются непрерывно, что может быть полезно для глубокого воздействия на ткани.

### ***Показатели***

Категория показателей НЧЭС: показатели косвенного измерения. Они включают: частоту следования импульсов в пачке ( $46 \pm 1$ ) Гц и длительность одиночного импульса ( $3 \pm 1$ ) мс.

## **6. Безопасность**

НЧЭС считаются безопасными при правильном использовании. Однако могут возникнуть некоторые побочные эффекты:

- лёгкое покалывание или дискомфорт во время процедуры,
- краснота кожи в области электродов,

– в редких случаях аллергические реакции на материалы электродов.

Стимулируемая мышца или мышечная группа перед сеансом электростимуляции должна быть предварительно подготовлены к работе.

Электростимуляцию мышц необходимо проводить в положении, при котором соответствующий сустав находится примерно в средней части своего движения. Иными словами, мышца должна быть не слишком растянута и не слишком сокращена.

Не рекомендуется накладывать электроды одновременно над мышцами антагонистами.

Электроды электростимулятора должны подключаться к телу через изолирующий трансформатор (наличие которого в электростимуляторе является обязательным условием).

Важно следовать рекомендациям врача и инструкциям по эксплуатации устройства.

## **7. Будущее направления исследования**

С развитием технологий ожидается:

- интеграция с ИТ-технологиями: Возможность подключения к мобильным приложениям для мониторинга состояния пациента,
- индивидуализация терапии: Использование искусственного интеллекта для подбора оптимальных режимов стимуляции на основе анализа данных о пациенте,
- разработка новых материалов: Использование гибких и биосовместимых материалов для создания более удобных электродов.

## **Заключение**

Низкочастотные электростимуляторы представляют собой важный инструмент в области физиотерапии и реабилитации, демонстрируя высокую эффективность в лечении различных заболеваний и состояний. Их применение способствует улучшению мышечного тонуса, облегчению болевого синдрома и ускорению восстановительных процессов после травм.

Со временем интерес к НЧЭС продолжает расти, как среди специалистов, так и среди пациентов. Это связано как с развитием технологий, так и с увеличением осведомленностью о преимуществах физиотерапевтических методов. Исследования показывают, что правильно подобранные режимы стимуляции могут значительно повысить эффективность тренировочного процесса, а также улучшить результаты реабилитации.

Таким образом, низкочастотные электростимуляторы занимают значительное место в современном подходе к поддержанию здоровья и физической активности, способствуя улучшению качества жизни и восстановлению функций организма.

### **Литература**

1. Ростехнадзор Российской Федерации [официальный сайт] – <https://www.gosnadzor.ru/> дата обращения (10.10.2024).
2. ГОСТ 27.410 – 87 Надёжность в технике. Методы контроля показателей надёжности и планы контрольных испытаний на надёжность.
3. ГОСТ Р ИСО/ТО 16142-2008 Изделия медицинские. Руководство по выбору стандартов, поддерживающих важнейшие принципы обеспечения безопасности и эксплуатационных характеристик медицинских изделий.
4. ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010 Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности с учётом основных функциональных характеристик.
5. ГОСТ Р МЭК/ТО 60788-2009 Изделия медицинские электрические. Словарь.
6. Отраслевой стандарт ОСТ 42-21-16-86 ССБТ Система стандартов безопасности труда «Отделения, кабинеты физиотерапии. Общие требования безопасности».
7. ГОСТ-Р 56606-2015 «Контроль технического состояния и функционирования медицинских изделий».
8. Баранов В.Н., Акмашев В.А. Основы технического обслуживания и ремонта медицинской техники – Тюмень: изд-во Тюм ГНУ, изд.2-е, испр. и доп. 2019.
9. Миловзоров О.В., Панков И.Г. Основы электроники, – М. Юрайт, 2019г.
10. Илясов Л.В. Биомедицинская измерительная техника, – М. РУС-МедТех, 2019г.
11. Апполонский С.В., Электротехника, – М. Кнорус, 2020г.
12. Низкочастотная электростимуляция может лечить боли в спине //Новости науки, Образовательные статьи, Экспертное мнение [Электрон. ресурс] <https://www.the-scientist.com> (дата обращения 19.10.2024).
13. Николаев А.А. Электростимуляция в спорте, Смоленск: СГИФК. 1999. - 74 с.: ил.