

## **БИОНИЧЕСКИЕ ПРОТЕЗЫ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Москвичева В.А., Карякина О.Е.

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия*

**Аннотация:** Статья посвящена анализу современного состояния разработок активных протезов верхних конечностей. Приведена историческая справка, классификация существующих протезов, рассмотрены наиболее современные конструкции бионических рук.

**Ключевые слова:** бионический протез, бионическая рука, очувствление протеза, ампутация.

## **BIONIC UPPER LIMB PROSTHESES: CURRENT STATE AND PROSPECTS OF THE INDUSTRY DEVELOPMENT**

Moskvicheva V.A., Karyakina O.E.

*Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia*

**Abstract:** The article is devoted to the analysis of the current state of development of active upper limb prostheses. The historical background, classification of existing prostheses are given, the most modern designs of bionic hands are considered.

**Key words:** bionic prosthesis, bionic arm, prosthesis with tactile sensations, amputation.

**Введение.** Стойкая потеря трудоспособности активного работоспособного населения является острой проблемой современности. На долю травм среди причин первичной инвалидности приходится порядка 13%, которые занимают третье место, уступая только сердечно-сосудистым и онкологическим заболеваниям. В структуре травм ампутации конечностей занимают 0,7% от общего количества травмированного населения, они приводят к нарушению двигательной активности пострадавшего и стойкой утрате трудоспособности, что в последующем приводит к инвалидности [1].

Несмотря на мирное время, ежегодно в Российской Федерации, тысячи людей подвержены ампутации. Наиболее часто встречающимися причинами ампутации являются травматизм (автодорожные, производственные или бытовые травмы) и последствия того или иного заболевания (сахарный диабет, заболевания сердечно-сосудистой системы, злокачественные новообразования) [2].

В настоящее время в России в целом число инвалидов с ампутационными дефектами нижних и верхних конечностей составляет около 200 тыс., а инвалидов с ампутациями верхних конечностей (плечо, предплечье и кисть) - 20 тыс., из которых 10 тыс. — это контингент

с ампутациями на уровне предплечья. При этом ампутации плеча, кисти и сочетанные культы верхних конечностей составляют 25; 18 и 7% соответственно [3].

Медицинская реабилитация инвалидов с дефектами верхней конечности является актуальной задачей для протезно-ортопедической отрасли России и зарубежных стран с учетом значительного контингента лиц с ограниченными физическими возможностями к самообслуживанию и ручной деятельности. Анализ существующих статистических данных свидетельствует, что основной причиной возникновения дефекта верхних конечностей у всех пациентов являются травмы (87%), далее следуют врожденные аномалии развития и заболевания (6,9% и 6,1% соответственно) [4].

В настоящее время достижения современной науки и техники в протезировании позволяют преодолевать все эти трудности и вести полноценную жизнь.

**Целью настоящего исследования** является конструктивный анализ литературных источников, посвященных современному состоянию разработок в области биоинженерных конструкций протезов верхних конечностей.

**Результаты.** Проблема реабилитации пациентов после ампутационного протезирования конечности была актуальной еще на заре цивилизации [1]. Первое документально подтвержденное сообщение о создании искусственной руки датируется 1504 г. Искусственная рука позволяла сгибать пальцы во всех фалангах и фиксировать их в любом положении, обеспечивалось сгибание кисти. Все движения осуществлялись здоровой рукой, обеспечивая необходимое положение звеньев. Следующий принципиальный шаг вперед был сделан только к 1812 г., когда впервые был создан протез с искусственной кистью, которая раскрывалась движением культи, а закрывалась посредством пружин [5]. Дальнейший прогресс в протезировании произошел в середине 20 в. Создание новых классов биопротезов напрямую связано с развитием микроэлектроники, медицины, нейрофизиологии. В СССР биопротезы получили распространение в 60-х гг. 20 в. В 2013 г. в результате совместной работы «Cleveland Veterans Affairs Medical Center» (США) и «Case Western Reserve University» (США) разработан протез, сенсоры которого напрямую были «подключены» к нервным окончаниям культи, что позволило осуществить принцип тактильной обратной связи.

Существующие конструкции протезов верхних конечностей можно разделить на 4 основные группы: косметические, функционально-косметические, активные и рабочие (рис. 1).



Рисунок 1 – Виды конструкции протезов верхних конечностей, их достоинства и недостатки

На данный момент многофункциональными являются активные - бионические протезы. Активный протез руки изначально предназначен для выполнения сложных и нетиповых рабочих операций, связанных с жизнедеятельностью и самообслуживанием инвалида, и должен удовлетворять двум основным требованиям: косметичности и функциональной эффективности. В настоящее время решение первой задачи достигнуто в удовлетворительных пределах, вторая же задача требует решения в соответствии с современным уровнем техники [5]. Современные разработки также позволили носителям бионических рук получать тактильную обратную связь. Общая стратегия обеспечения сенсорной обратной связи включает встраивание датчиков в протез для измерения положения суставов, тактильного давления и силы захвата, а также для передачи информации пользователю путем выявления ощущений в остальных структурах тела [6].

Сегмент рынка бионических протезов верхних конечностей представлен относительно небольшим количеством основных лидеров. Один из самых известных – компания «RSL Steeper» (Великобритания), производитель самых высокотехнологичных протезов рук (bebionic). Благодаря отдельным электродвигателям для каждого пальца руки, протез позволяет выполнять скоординированные движения, максимально приближенные к естественным обычной человеческой руки. Для достижения такого результата используются микропроцессоры и датчики, отслеживающие положение кисти и пальцев рук и координирующие последовательность их движений. Бионическая рука повторяет моторику обычной руки и оснащена 14 сенсорами захвата для точных движений и ощущений. Однако рассмотренные протезы не предоставляют пациенту возможности тактильной обратной связи.

Одной из коммерческих бионических рук, предлагающих сенсорную обратную связь, является «Vincent Evolution» (Германия). Устройство реализует до 15 различных моделей

захвата, также оно имеет встроенную 4-канальную систему управления, которая позволяет подключать к руке до 4 датчиков электромиографии.

Существует еще один пример высокотехнологичной разработки, направленной на ощущение протеза. В 2013 г. группа римских ученых в рамках различных совместных итальянских и европейских проектов представила разработку «LifeHand 2», главная цель которой реализация двунаправленной биологической системы управления протезами. Это означает, что одни и те же электроды должны считывать управляющие сигналы с периферических нервов культи, к которым подключены, а также передавать обратное воздействие от датчиков, расположенных в кисти. Особенностью используемых электродов является то, что они «подключаются» не к мышечной ткани, как обычные миоэлектроды, а напрямую к нервным волокнам, которые и передают управляющий сигнал к мышцам.

В ходе проведенных экспериментов пациент смог: управлять общей силой ладони, различать консистенции твердых, средних и мягких объектов (с точностью более 80 %), распознать основную форму и размер объектов, таких как цилиндр бутылки, сфера бейсбольного мяча и овал мандарина (с точность 88%), понять расположение объекта по отношению к руке так, чтобы сформировать наилучший захват (точность 97 %), исправить себя при неправильном давлении на объект, управлять в режиме реального времени различными уровнями прилагаемой силы для двух различных сенсорных областей нерва (указательный палец-большой палец, мизинец), удерживая объект в ладони (с точностью 93%).

К сожалению, в России область протезирования не так хорошо развита, как за рубежом. Однако наши ученые продолжают совершенствовать технологии протезирования. Представители компании «Моторика» из Дальневосточного федерального университета (ДВФУ), Сколковского института науки и технологий (Сколтех) приступили к активной фазе исследования фантомных болей и реализации функции ощущения бионических протезов. Этому предшествовал длительный период подготовки проекта: первые работы начались еще в 2017 г. В ноябре 2021 г. во Владивостоке была успешно произведена первая операция по вживлению электродов двум пациентам. Целью исследования было проверка дееспособности гипотезы о том, что стимуляция поможет «очувствовать» протез и снять фантомные боли. Исследователями были получены следующие результаты: протез позволил различать пациентам формы предметов и их размеры, а также они смогли испытать большой спектр ощущений (сдавливание, прикосновение, вибрацию, электрический ток, онемение и др.).

В дальнейшем планируются исследования с большей испытуемой группой, кроме того, команда настроена на разработку собственных стимулятора и электродов и обещает представить первый прототип в течение 2022 г.

**Заключение.** Таким образом, отрасль протезирования верхних конечностей имеет огромные перспективы развития. Несмотря на существенный прогресс в этой области, значительная часть протезов неспособна и на половину заменить функции руки здорового человека. Связано это как со значительной задержкой сигнала от электрода к сервоприводам, с ограниченным числом хватов и малым количеством протезов с тактильной обратной связью. Также имеются проблемы с доступностью современных бионических протезов, поскольку их стоимость достаточно высока. На наш взгляд, рассматриваемая отрасль очень остро нуждается в государственной поддержке и финансировании научных разработок с тем, чтобы качественные и многофункциональные бионические протезы были доступны каждому нуждающемуся, чтобы люди, столкнувшиеся с такой проблемой, смогли вновь вести полноценную жизнь.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Коробенков, Н.О. Бионическое протезирование конечности [Текст] / Н. О. Коробенков, С. С. Кочетов, П. А. Григоров // Сибирский медицинский журнал. - 2019. - №3. С. 22-27.

2 Гринин, В.М. О качестве жизни инвалидов-ампутантов в Российской Федерации [Текст] / В. М. Гринин, Е. И. Шестемирова // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. - №3. – 2020. – С. 380-384.

3 Тимербулатов, М.В. Реплантация пальца кисти после механизма отчленения «отрыв» [Текст] / М. В. Тимербулатов [и др.] // Медицинский вестник Башкортостана. №1. – 2014. С. 29-31.

4 Щербина К.К. Перспективы использования цифровых технологий при импортозамещении в протезной отрасли на основе анализа обеспечения протезами инвалидов с дефектами верхних конечностей [Текст] / К. К. Щербина [и др.] // Физическая и реабилитационная медицина. - №3. – 2020. - С. 65-76.

5 Буров, Г.Н. К вопросу развития технических средств протезирования верхних конечностей [Текст] / Г. Н. Буров // Вестник гильдии протезистов-ортопедов. - №4. – 2003. - С. 7-14.

6 Toward higher-performance bionic limbs for wider clinical use [Electronic resource] / D. Farina [et all.] // *Nat Biomed.* - 2021. – Electronic text data. – DOI: 10.1038/s41551-021-00732-x, limited access (29.01.2022). – Title from screen.