

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-168-174

УДК: 616.288.7 – 007.2 – 08:616.28-76

## БИОНИЧЕСКОЕ УХО — НОВАЯ СИСТЕМА РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С МИКРОТИЕЙ

Арутюнов С. Д.<sup>1</sup>, Асташина Н. Б.<sup>2</sup>, Еловигов А. М.<sup>2</sup>, Южаков А. А.<sup>3</sup>,  
Безукладников И. И.<sup>3</sup>, Байдаров А. А.<sup>2</sup>, Валиахметова К. Р.<sup>2</sup>, Майорова Л. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский университет медицины, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия

<sup>3</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

### Аннотация

**Предмет исследования** — технология протезирования пациентов с микротией (анотией) с помощью разработанной конструкции бионического протеза ушной раковины, применение которой направлено на замещение дефекта лица и восстановления слуха по кондуктивному и смешанному типу. **Цель** — разработка конструкции бионического протеза уха и способа его фиксации на основе применения биосовместимых материалов и современных технологий. **Методология.** Изготовление эпитеза производится на основе компьютерного моделирования с использованием в качестве исходных данных компьютерной томограммы пациента. Основные конструктивные элементы (каркас внешнего накладного устройства и элементы фиксации) получены методом 3D-печати. Электронные компоненты слухового аппарата, включающие звуковой виброизлучатель (трансдьюсер) и аккумулятор, располагают внутри конструкции протеза. **Результаты.** Бионический протез уха состоит из нескольких структур, включающих в себя силиконовую ушную раковину с введенным звуковым процессором. Эпитез ушной раковины в структуре бионического протеза уха может быть комбинированным — состоящим из полимерного каркаса с покрытием силиконом или полностью выполненным из силиконового материала. Конструкция может быть зафиксирована как с помощью титановых остеointegrативных имплантатов, так и комбинированных имплантационных систем, включающих в себя втулку из углерод-углеродного композиционного материала компактной структуры и титанового стержня, применяющихся в зависимости от имеющихся клинических условий. Бионический протез уха интегрирован в цифровую среду пациента на основе современных инженерных и медицинских 3D-технологий.

**Выводы.** Предложенный подход к аурикулярному протезированию позволит достичь естественности замещающей конструкции при введении в ее структуру слухового аппарата костного звукопроводения.

**Ключевые слова:** бионический протез уха, эпитез наружного уха, слуховой аппарат, микротия, врожденная аномалия уха, фиксирующие системы, углерод-углеродные материалы

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке НОЦ Пермского края в рамках научного проекта «Химические, медицинские и фармацевтические технологии».

**Сергей Дарчович АРУТЮНОВ** ORCID ID 0000-0001-6512-8724

д.м.н., профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии и цифровых технологий, Российский университет медицины, г. Москва, Россия  
sd.arutyunov@mail.ru

**Наталья Борисовна АСТАШИНА** ORCID ID 0000-0003-1135-7833

д.м.н., доцент, заведующая кафедрой ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
astashina.nb@gmail.com

**Алексей Михайлович ЕЛОВИГОВ** ORCID ID 0000-0002-5838-0996

к.м.н., заведующий кафедрой оториноларингологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
aleks.elovikov@yandex.ru

**Александр Анатольевич ЮЖАКОВ** ORCID ID 0000-0003-1865-2448

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия  
uz@at.pstu.ru

**Игорь Игоревич БЕЗУКЛАДНИКОВ** ORCID ID 0000-0003-1120-1425

к.т.н., доцент кафедры «Автоматика и телемеханика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия  
corrector@at.pstu.ru

**Андрей Александрович БАЙДАРОВ** ORCID ID 0000-0003-3888-3358

к.т.н., проректор по информационным технологиям и инновационному развитию, заведующий кафедрой медицинской информатики и управления в медицинских системах, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
cchr@bk.ru

**Камилла Руслановна ВАЛИАХМЕТОВА** ORCID ID 0009-0008-1459-2066

аспирант кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
Valiakhmetovak1998@gmail.com

**Лилия Владимировна МАЙОРОВА** ORCID ID 0009-0001-6562-6499

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
majorova.liliya@yandex.ru

**Адрес для переписки: Наталья Борисовна АСТАШИНА**

614990, Пермский край, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 26, кафедра ортопедической стоматологии  
+7 (912) 8860420  
astashina.nb@gmail.com

### Образец цитирования:

Арутюнов С. Д., Асташина Н. Б., Еловигов А. М., Южаков А. А., Безукладников И. И., Байдаров А. А., Валиахметова К. Р., Майорова Л. В.  
БИОНИЧЕСКОЕ УХО — НОВАЯ СИСТЕМА РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С МИКРОТИЕЙ. Проблемы стоматологии. 2024; 4: 168-174.

© Арутюнов С. Д. и др., 2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-168-174

Поступила 15.12.2024. Принята к печати 09.01.2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-168-174

## BIONIC EAR AS A NEW SYSTEM FOR REHABILITATION OF PATIENTS WITH MICROTIA

Arutyunov S.D.<sup>1</sup>, Elovikov A.M.<sup>2</sup>, Yuzhakov A.A.<sup>3</sup>, Bezukladnikov I.I.<sup>3</sup>,  
Baidarov A.A.<sup>2</sup>, Valiakhmetova K.R.<sup>2</sup>, Astashina N.B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian University of Medicine, Moscow, Russia

<sup>2</sup> E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia

<sup>3</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

### Annotation

**Subject** – the technology for prosthetics of patients with microtia (anotia) using the developed design of a bionic auricular prosthesis, the use of which is aimed at replacing facial defects and restoring conductive and mixed hearing.

**Objectives.** To develop a design of a bionic ear prosthesis and a method for its fixation based on the use of biocompatible materials and modern technologies.

**Methodology.** The epithesis is manufactured using computer modeling, using the patient's CT scan as the initial data. The main structural elements (the frame of the external overhead device and the fixation elements) are obtained using 3D printing. The electronic components of the hearing aid, including the sound vibration emitter (transducer) and battery, are located inside the prosthesis structure.

**Results.** The bionic ear prosthesis consists of several structures, including a silicone auricle with an inserted sound processor. The epithesis of the auricle in the structure of the bionic ear prosthesis can be combined — consisting of a polymer frame coated with silicone or completely made of silicone material. The structure can be fixed both with titanium osseointegrative implants and combined implantation systems, including a sleeve made of carbon-carbon composite material of compact structure and a titanium rod, used depending on the existing clinical conditions. The bionic ear prosthesis is integrated into the patient's digital environment based on modern engineering and medical 3D technologies.

**Conclusion.** The proposed approach to auricular prosthetics will allow achieving the naturalness of the replacement structure by introducing bone conduction into its structure of the hearing apparatus.

**Keywords:** Bionic prosthesis, outer ear epithesis, hearing aid, atresia, anotia, microtia

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Financial support.** The study was carried out with the financial support of the Scientific and Educational Center of Perm Krai within the framework of the scientific project "Chemical, Medical and Pharmaceutical Technologies".

**Sergey D. ARUTYUNOV** ORCID ID 0000-0001-6512-872

Grand PhD in Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Prosthetic Dentistry and Digital Technologies, Russian University of Medicine, Moscow, Russia  
sd.arutyunov@mail.ru

**Natalia B. ASTASHINA** ORCID ID 0000-0003-1135-7833

Grand PhD in Medical Sciences, Head of the Department of Prosthetic Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia  
astashina.nb@gmail.com

**Alexey M. ELOVIKOV** ORCID ID 0000-0002-5838-0996

Grand PhD in Medical Sciences, Head of the Department of Otorhinolaryngology, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia  
aleks.elovikov@yandex.ru

**Alexander A. YUZHAKOV** ORCID ID 0000-0003-1865-2448

Grand PhD in Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Automation and telemechanics", Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia  
uz@at.pstu.ru

**Igor I. BEZUKLADNIKOV** ORCID ID 0000-0003-1120-1425

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation and telemechanics", Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia  
corrector@at.pstu.ru

**Andrey A. BAYDAROV** ORCID ID 0000-0003-3888-3358

PhD in Technical Sciences, Deputy Rector in Information Technologies and Innovative Development, Head of the Department of Medical Informatics and Management in Medical Systems, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia  
cchp@bk.ru

**Kamilla R. VALIAKHMETOVA** ORCID ID 0009-0008-1459-2066

Postgraduate Student, Department of Prosthetic Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia  
Valiakhmetovak1998@gmail.com

**Liliya V. MAYOROVA** ORCID ID 0009-0001-6562-6499

PhD in Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Prosthetic Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia  
majorova.liliya@yandex.ru

**Correspondence address: Natalia B. ASTASHINA**

614990, Perm, Petropavlovskaya, 26 Str., Department of prosthetic dentistry

+7 (912) 8860420

astashina.nb@gmail.com

### For citation:

Arutyunov S.D., Elovikov A.M., Yuzhakov A.A., Bezukladnikov I.I., Baidarov A.A., Valiakhmetova K.R., Astashina N.B.

BIONIC EAR AS A NEW SYSTEM FOR REHABILITATION OF PATIENTS WITH MICROTIA. Actual problems in dentistry. 2024; 4: 168-174. (In Russ.)

© Arutyunov S.D. et al., 2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-168-174

Received 15.12.2024. Accepted 09.01.2025

## Введение

Разработка новых подходов к лечению и реабилитации пациентов с дефектами лица является важной задачей современной челюстно-лицевой ортопедии, приобретающей все большую актуальность. Одним из отдельных направлений анапластологии является протезирование пациентов при отсутствии естественной ушной раковины вследствие аномалии ее развития (микротия/анотия) или утраты, а также по причине травматических и иных повреждений. Микротия, как правило, сопряжена с нарушениями слуха. Отсутствие слуха само по себе оказывает влияние на психоэмоциональное и социальное благополучие, качество жизни и коммуникацию. Наряду с этим, пациенты с потерей слуха часто сталкиваются с социальной изоляцией и стигматизацией, профессиональным стрессом и относительно низкими заработками, на фоне этого недуга нередко развиваются депрессии и другие психические расстройства. Изолированная микротия/анотия имеет распространенность 2,25 до 3,06 на 10 000 рождений, тогда как среди неизолированных случаев распространенность составляет 0,81 на 10 000 рождений [1, 2], приводит к дефекту внешнего вида, нарушению слуха и развитию языкового барьера [3]. При этом необходимость улучшения качества жизни и возможностей для оптимального благополучия людей с отсутствием слуха является одной из целей устойчивого развития человечества [4].

Протетическая реконструкция ушной раковины является современной альтернативой реконструктивным хирургическим вмешательствам. Фиксация эпитезов ушной раковины на экстраоральных имплантатах — надежный способ крепления силиконовой ушной раковины, так как у пациентов с анотией в 96,2% случаев удается достичь остеоинтеграции [5].

Успешность же аурикулярного протезирования обеспечивается как за счет полноценной остеоинтеграции имплантатов, вводимых в краниофациальную область, что обеспечивает надежную фиксацию протеза, так и за счет максимальной имитации естественного вида замещающей конструкции, отвечающей всем требованиям эстетики [2, 6–8].

К бионическим протезам относятся изделия медицинского назначения, заменяющие утраченные органы и частично или полностью выполняющие их естественные функции. В отоларингологии к бионическим конструкциям относят кохлеарные импланты. Под термином «кохлеарная имплантация» подразумевается вживление электродных систем во внутреннее ухо с целью восстановления слухового ощущения путем непосредственной электрической стимуляции афферентных волокон слухового нерва. Все кохлеарные импланты представляют собой биомедицинские электронные устройства, обеспечивающие преобразование звуков в электрические импульсы с целью создания слухового ощущения путем непосредственной стимуляции сохранившихся волокон слухового нерва. Кохлеарный имплант предназначен для обеспечения

нефункционирующей слуховой периферии (патологический процесс локализован на уровне волосковых клеток) возможности воспринимать информацию об окружающих звуках, речевых сигналах и музыки наиболее физиологичным способом. Это означает, что пациенты после такой имплантации в идеале должны воспринимать звуки через сохранные функционирующие слуховые проводящие пути [9, 10].

Кохлеарный имплант состоит из внутренней и внешней части. Внутренняя часть вводится хирургическим путем в мастоидную область и в плоскоклеточную часть височной кости, состоит из приемника-стимулятора, магнита и набора электродов. Электроды размещаются в улитке или, при отсутствии слухового нерва, в стволе мозга и способны электрически стимулировать волокна слухового нерва или слуховые области ствола мозга. Внешняя часть состоит из микрофона, который расположен за ушной раковиной, и небольшого компьютера для обработки звука, способного преобразовывать звуки в электронные импульсы [11].

На этапах лечения пациентов с микро- или анотией при атрезии наружного слухового прохода в сочетании с кондуктивными или смешанными нарушениями слуха традиционным является использование эпитеза ушной раковины для компенсации эстетических нарушений и слухового аппарата костного звукопроводения для компенсации слуховых потерь.

Поскольку дефекты и деформации лица, сопряженные с тяжелыми функциональными нарушениями, связанными с глухотой или тугоухостью, особенно болезненно воспринимаются больными, а известные методы лечения не во всех клинических ситуациях обеспечивают достаточную эффективность и результативность, существует необходимость совершенствования подходов, поиска материалов и разработки новых высокофункциональных эстетичных и комфортных в использовании конструкций силиконовых эпитезов ушной раковины, в том числе с введенным бионическим компонентом, применение которых позволит как эффективно устранить дефекты лица, так и восстановить слух [12, 13].

**Цель исследования:** разработка конструкции бионического протеза уха и способа его фиксации на основе применения биосовместимых материалов и современных технологий.

## Материалы и методы

Большинство исследователей констатируют, что восстановление уха, глаз, носа, орбиты, скулоглазничного комплекса с помощью эктопротезирования на краниальных остеоинтегрируемых имплантатах (КОИ) приводит к эстетически более удовлетворительному результату, чем применение аутогенной реконструкции, а в случаях утраты органа является достаточно эффективным методом лечения [14, 15].

Коллективом авторов [16] разработан бионический протез уха (бионическое ухо), позволяющий восстано-



Рис. 1. Структурная схема устройства системы «бионическое ухо»

Fig. 1. Structural diagram of the "bionic ear" system

вить как эстетику лица, так и слуховую функцию за счет объединения в единую конструкцию различных компонентов: эпитеза ушной раковины, системы его фиксации и слухового аппарата с функционалом дистанционного управления и настройки (рис. 1, 2). Работа системы основывается на принципе костной проводимости.

Конструкция бионического уха имеет модульное строение, основные электронные компоненты (рис. 1, 2) размещаются внутри эпитеза ушной раковины в зависимости от естественных морфологических особенностей строения зеркально сохранившейся ушной раковины пациента. Ключевыми для формирования внутренней композиции «бионического уха» были приняты следующие условия:

- аккумулятор устройства локализован в мочке уха (эпитеза ушной раковины), что позволяет легко извлекать и заменять его, а также, в перспективе, обеспечить возможность беспроводной зарядки устройства;
- три точки фиксации, две — для удержания протеза (экстраоральные имплантаты), третья — совмещена со звуковым вибратором. Таким образом, через одну фиксирующую опору устройства передается звуковая волна по принципу костного звукопроводения от виброизлучателя (трансдюсера) слухового аппарата (рис. 2).

При этом в ходе исследования было выявлено, что расположение точек крепления не влияет на звукопроизводящие характеристики, что облегчает индивидуализацию протеза под анатомические особенности конкретного пациента.

Встроенный слуховой аппарат включает в себя: микрофон; звуковой процессор, построенный на основе цифрового сигнального процессора со встроенными аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями; модуль радиоканала Bluetooth для связи с устройством управления настройками (смартфоном на базе Android); излучатель звуковых колебаний. Технологическое решение направлено на возможность цифровой обработки звука на основе использования цифрового сигнального процессора, специализированного под задачи слухового протезирования; система

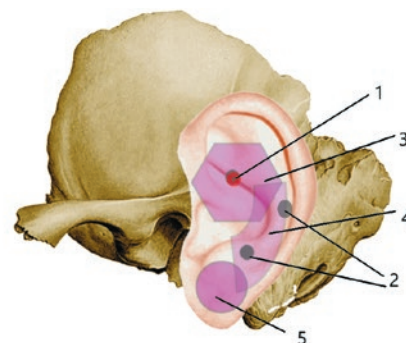


Рис. 2. Система «Бионическое ухо»: 1 — осеоинтегративный имплантат для фиксации звукового виброизлучателя (трансдюсера); 2 — осеоинтегративные имплантаты для фиксации протеза ушной раковины; 3 — звуковой виброизлучатель (трансдюсер); 4 — дополнительные электронные компоненты; 5 — аккумулятор

Fig. 2. The Bionic Ear System: 1 – osseointegrative implant for fixing a sound vibration emitter (transducer); 2 – osseointegrative implants for fixing an auricle prosthesis; 3 – sound vibration emitter (transducer); 4 – additional electronic components; 5 – battery

отличается простотой управления и настройкой, основанной на беспроводном интерфейсе, а также гибкостью и адаптивностью благодаря программной реализации многих специализированных функций.

### Результаты исследования и их обсуждение

Система «бионический протез уха» представляет собой внешнее накладное устройство, которое отличается высокими эстетическими параметрами, изготавливается из биологически совместимых материалов с применением современных технологий. Залогом эффективного функционирования системы является ее хорошая фиксация, что обеспечивает как стабильность, так и качество передачи звука с вибратора слухового аппарата на остеоинтегрированный имплантат.

При введении остеоинтегративного импланта в компактную кость происходит полноценная передача звуковой энергии, без потерь, и можно прогнозировать долговременную устойчивость имплантата в костной ткани. При установке титанового импланта в кость пневматического типа возникают неизбежные потери звуковой энергии, а также снижается степень устойчивости импланта в костной структуре, что может привести к его подвижности и вывихиванию. При установке слуховых аппаратов костного звукопроводения (Vacha, Pronto и т. п.) эта проблема решается переносом места установки имплантата назад и вверх от наружного слухового прохода в чешуйчатую часть височной кости, где отсутствуют воздухоносные ячейки.

В случае установки титанового остеоинтегративного имплантата в ячеистую структуру височной кости контакт его поверхности и костных балок ячеистой кости является небольшим по площади, что, во-первых, снижает качество соединения и может провоцировать дезинтеграцию имплантата в отдаленном периоде; во-вторых, возможны значительные потери звука и возникновение звуковых помех, мешающих восприятию звука пациентом (рис. 3).

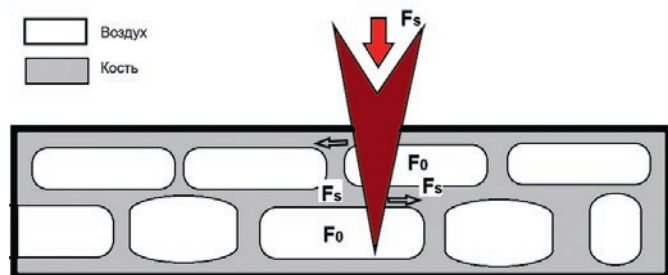


Рис. 3. Схема установки титанового остеоинтегративного имплантата в кость пневматического строения с крупными воздухоносными ячейками.

$F_s$  — сила звука от вибратора слухового аппарата костного звукопроводения

Fig. 3. The scheme of installation of titanium osseointegrative implant in bone of pneumatic

structure with large air cells.  $F_s$  – sound power from vibrator of bone conduction hearing aid

Для обеспечения качественной фиксации остеоинтегративного имплантата в ячеистой кости (височная кость пневматического типа) разработана имплантационная система (рис. 4), состоящая из титанового стержня с резьбовой головкой для фиксации абатмента слухового аппарата (1) и втулки цилиндрической формы из компактного углерод-углеродного композиционного материала «Углекон-М». Титановый стержень погружается в углеродную втулку в слепое отверстие. Соединение титанового стержня и втулки из углерод-углеродного композиционного материала производится методом спекания деталей при высоких температурах (1500 °С) в атмосфере метана. На стержневой части титанового стержня нанесена резьба П-образного профиля для обеспечения более прочного соединения деталей. На боковой поверхности углеродной втулки также наносится резьба П-образного профиля (3) для обеспечения соединения внахлест с краями костной раны. На верхней поверхности углеродной втулки имеется прямоугольная канавка (4) для установки устройства в костное отверстие.

Конструкция для фиксации в пористой кости эктопротезов (эпитезов) ушной раковины и слуховых аппаратов может иметь несколько размеров для применения в различных анатомических условиях.

Процесс имплантации разработанной системы состоит из следующих этапов:

- Проведение компьютерного томографического исследования и выбор участков для расположения имплантата;
- Формирование локута из мягких тканей и надкостницы;
- Подготовка ложа диаметром  $d_1$ , глубиной, равной высоте втулки из углерод-углеродного композиционного материала;
- Введение втулки в сформированное ложе.

Наличие на внешней поверхности втулки ретенционных элементов в виде выступов позволит фикси-

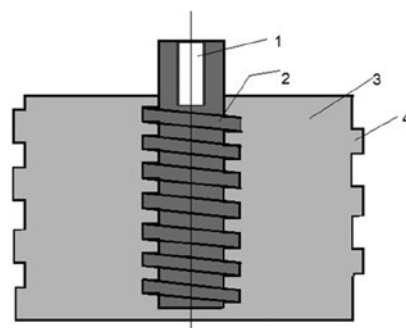


Рис. 4. Схема устройства для фиксации в ячеистой кости эктопротезов (эпитезов) ушной раковины и слуховых аппаратов

Fig. 4. The scheme of a device for fixing ectoprostheses (epitheses) of the auricle and hearing aids in the cellular bone

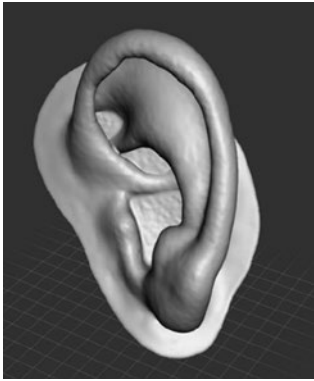


Рис. 5. Внешний вид исходной модели в формате STL  
Fig. 5. Appearance of the original model in STL format



Рис. 6. Размещение крепежных элементов на плоскости протеза  
Fig. 6. Placement of fasteners on the plane of the prosthesis

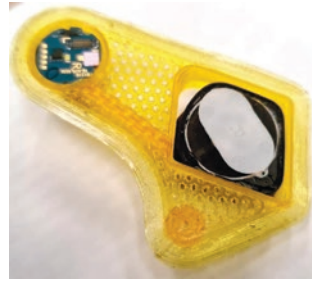


Рис. 7. Электроника и излучатель в напечатанном методом FDM  
Fig. 7. Electronics and emitter in FDM printed part



Рис. 8. Эпитез ушной раковины, выполненный из силиконового материала  
Fig. 8. Epithesis of the auricle made of silicone material

ровать устройство внатяг, за счет сминания костных балок в височной кости. Затем мягкотканый лоскут возвращается на место. Остеоинтеграция углеродного компонента обеспечивается за счет врастания в поры углерод-углеродного композиционного материала соединительной и костной ткани. Для установки всей системы «бионическое ухо» требуется введение трех фиксирующих устройств: одно — для звукового вибратора слухового аппарата и два — для удержания собственно эктопротеза ушной раковины.

Далее проводится повторный анализ компьютерной томограммы головы пациента. Исходными данными для создания протеза является облако трехмерных точек, полученное в результате трехмерного сканирования и сохраненное в формате STL. Для последующей обработки в CAD/CAM системах твердотельного моделирования (размещение отсеков/компарментов электроники и излучателя, выделение точек крепления протеза) производится предварительное редактирование в 3D-редакторах, поддерживающих высокополигональные модели, после чего делается сохранение упрощенной модели в полигональном (STL) формате и в формате систем твердотельного проектирования (STEP).

Далее цифровую модель имеющейся естественной ушной раковины переносят зеркально в область отсутствующего уха и проводят коррекцию цифровой репродукции протеза в зоне его прилегания к тканям протезного ложа. Формируют и редактируют модель с размещением базовых точек крепления протеза и утолщения соответствующих элементов модели (рис. 5, 6). При помощи FDM-технологии 3D-печати формируется каркас отсека электроники из материала

Flex. Плоскости отсека для улучшения сцепления с конструкционным материалом протеза выполняются в виде сетчатых структур, после чего производится примерка электроники и виброизлучателя (рис. 7).

На внутренней поверхности моделируются подержки для элементов слухового аппарата. Цифровые модели устройства для изготовления бионического протеза уха, состоящие из двух половин, производятся на 3D-принтере из термостойкого полимера. В соответствующие пазы укладываются элементы слухового аппарата.

Таким образом, эпитез ушной раковины в структуре бионического протеза уха может быть комбинированным — состоящим из полимерного каркаса с покрытием силиконом или полностью выполненным из силиконового материала (рис. 8).

Бионический протез уха может быть зафиксирован как с помощью титановых остеointegrативных имплантатов, так и комбинированных имплантационных систем, включающих в себя втулку из углерод-углеродного композиционного материала компактной структуры и титанового стержня. Выбор фиксирующих систем зависит от имеющихся клинических условий, в частности, от состояния реципиентного костного ложа.

### Заключение

Объединение возможностей современных цифровых технологий и подходов позволило создать конструкцию бионического протеза и сформировать предпосылки для разработки новой аппаратурной платформы для усовершенствования существующих методов лечения пациентов с микроотией.

### Литература/References

1. Deng K., Dai L., Yi L., Deng C., Li X., Zhu J. Epidemiologic characteristics and time trend in the prevalence of anotia and microtia in China. Birth defects research. Part A, Clinical and molecular teratology. 2016;106 (2):88–94. <https://doi.org/10.1002/bdra.23462>
2. Милешина Н. А., Осипенков С. С., Бахшинян В. В., Таварткиладзе Г. А. Новые возможности реабилитации пациентов с врожденными пороками развития наружного и среднего уха. Вестник оториноларингологии. 2014; (2):33–36. [Mileshina N. A., Osipenkov S. S., Bakhshinian V. V., Tavartkiladze G. A. The novel possibilities for the rehabilitation of the patients presenting with congenital external and middle ear malformations. Russian Bulletin of Otorhinolaryngology. 2014; (2):33–36. (In Russ.)]. <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-otorinolaringologii/2014/2/030042-4668201428>

3. Wang Y, Xing W, Liu T, Zhou X, Qian J, Wang B, et al. Simultaneous auricular reconstruction combined with bone bridge implantation-optimal surgical techniques in bilateral microtia with severe hearing impairment. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2018;113:82–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.07.004>
4. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015: 70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Available from: [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf)
5. Лежнев Д. А., Арутюнов С. Д., Лазаренко Е. Ю., Магомедбекова М. В. Определение анатомических особенностей височных костей на этапе планирования внеоральной имплантации при эктопротезировании ушной раковины. *Радиология — практика*. 2021; (2):12–24. [Lezhnev D. A., Arutyunov S. D., Lazarenko E. Yu., Magomedbekova M. V. Determination of the Anatomical Features of the Temporal Bones at the Stage of Planning Extraoral Implantation in Ectoprosthesis of the Auricle. *Radiology — Practice*. 2021; (2):12–24. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2021-2-12-24>
6. Frias V. Craniofacial implants in a failed autologous reconstruction of microtia: a case report. *International journal of implant dentistry*. 2021;7 (1):55. <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00337-8>
7. Wilkes G. H., Wong J., Guilfoyle R. Microtia reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery*. 2014;134 (3):464e — 479e. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000000526>
8. Лебедево И. Ю., Арутюнов С. Д., Ряховский А. Н. ред. Ортопедическая стоматология: национальное руководство в 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2022. [Lebedenko I. Yu., Arutyunov S. D., Ryakhovskiy A. N. eds. *Orthopedic dentistry: national guidelines in 2 volumes*. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: GEOTAR-Media; 2022. (In Russ.)].
9. Таварткиладзе Г. А. Современное состояние и перспективы развития кохлеарной имплантации. *Вестник оториноларингологии*. 2015;80 (3):4–9. [Tavartkiladze G. A. The current state and prospects of the development of cochlear implantation. *Russian Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2015;80 (3):4–9. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/otorino20158034-9>
10. Кузовков В. Е., Пудов В. И., Клячко Д. С. История многоканальной кохлеарной имплантации. *ПМЖ*. 2017;25 (23):1720–1724. [Kuzovkov V. E., Pudov V. I., Kliachko D. S. The history of multichannel cochlear implantation. *PMJ*. 2017;25 (23):1720–1724. (In Russ.)]. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_32244032\\_31469705.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_32244032_31469705.pdf)
11. Colletti V., Miorelli V., Orsi A., Sacchetto L., Carner M. Deafness and the bionic ear. Artificial cells, blood substitutes, and immobilization biotechnology. 2003;31 (2):139–143. <https://doi.org/10.1081/bio-120020170>
12. Арутюнов С. Д., Южаков А. А., Безукладников И. И., Асташина Н. Б., Еловиков А. М., Байдаров А. А. и др. Доклиническое изучение акустической эффективности бионического уха. *Пермский медицинский журнал*. 2022;39 (3):143–153. [Arutyunov S. D., Yuzhakov A. A., Bezukladnikov I. I., Astashina N. B., Elovikov A. M., Baydarov A. A., et al. Preclinical acoustic efficiency evaluation of bionic ear. *Perm Medical Journal*. 2022;39 (3):143–153. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/pmj393143-153>
13. Арутюнов С. Д., Степанов А. Г., Еловиков А. М., Арутюнов А. С., Южаков А. А., Фрейман В. И. и др. Бионический протез уха: наступившее будущее. *Пермский медицинский журнал*. 2020;37 (4):91–100. [Arutyunov S. D., Stepanov A. G., Elovikov A. M., Arutyunov A. S., Yuzhakov A. A., Freiman V. I., et al. Bionical Ear Prosthesis: the Coming Future. *Perm Medical Journal*. 2020;37 (4):91–100. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/pmj37491-100>
14. Назарян Д. Н., Харазян А. Э., Чаушева С. И., Яранцев С. В., Черненький М. М. Комплексная реабилитация пациентов с комбинированными дефектами средней зоны лица на краниальных имплантатах с немедленной нагрузкой. *Пластическая хирургия и косметология* 2015; (3):260–267. [Nazaryan D. N., Kharazyan A. E., Chausheva S. I., Yarrantsev S. V., Chernen'kiy M. M. Complex rehabilitation of patients with combined defects of the midface zone on cranial implants with immediate loading. *Plastic surgery and cosmetology*. 2015; (3):260–267. (In Russ.)].
15. Сельский Н. Е., Коротик И. О. Выбор экстраорального имплантата при тотальном дефекте лица. *Проблемы стоматологии*. 2017;13 (4):65–69. [Sel'skiy N. E., Korotik I. O. The choice of an extraoral implant with a total facial defect. *Actual problems in dentistry*. 2017;13 (4):65–69. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-2017-13-4-65-69>
16. Арутюнов С. Д., Степанов А. Г., Арутюнов А. С., Асташина Н. Б., Южаков А. А., Еловиков А. М. авторы; Арутюнов С. Д. патентообладатель. Бионический протез уха. Российская Федерация патент RU 2729723. Опубл. 11.08.2020. [Arutyunov S. D., Stepanov A. G., Arutyunov A. S., Astashina N. B., Yuzhakov A. A., Elovikov A. M. inventors; Arutyunov S. D. assignee. Bionic ear prosthesis. Russian Federation patent RU 2729723. Date of publication: 11.08.2020. (In Russ.)].