

УДК 616.28-77

DOI: 10.17816/pmj37491-100

БИОНИЧЕСКИЙ ПРОТЕЗ УХА: НАСТУПИВШЕЕ БУДУЩЕЕ

*С.Д. Арутюнов¹, А.Г. Степанов¹, А.М. Еловиков²,
А.С. Арутюнов³, А.А. Южаков⁴, В.И. Фрейман⁴,
Д.И. Поляков¹, Н.Б. Асташина^{2*}*

¹Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова,

²Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера,

³Национальный медицинский исследовательский центр стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, г. Москва,

⁴Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

BIONIC EAR PROSTHESIS: THE COMING FUTURE

*S.D. Arutyunov¹, A.G. Stepanov¹, A.M. Elovikov²,
A.S. Arutyunov³, A.A. Yuzhanov⁴, V.I. Freiman⁴,
D.I. Polyakov¹, N.B. Astashina^{2*}*

¹A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry,

²E.A. Vagner Perm State Medical University,

³National Medical Research Center of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Moscow,

⁴Perm National Research Polytechnic University, Russian Federation

Цель. Разработка конструкции бионического протеза уха и способа его изготовления на основе интеллектуальных и медицинских 3D-технологий.

Материалы и методы. При реализации проекта использовано цифровое оборудование и современное программное обеспечение.

© Арутюнов С.Д., Степанов А.Г., Еловиков А.М., Арутюнов А.С., Южаков А.А., Фрейман В.И., Поляков Д.И., Асташина Н.Б., 2020
тел. +7 912 886 04 20
e-mail: astashina.nb@mail.ru

[Арутюнов С.Д. – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтики стоматологических заболеваний; Степанов А.Г. – доктор медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний; Еловиков А.М. – доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой оториноларингологии; Арутюнов А.С. – доктор медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник; Южаков А.А. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и телемеханики; Фрейман В.И. – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и телемеханики; Поляков Д.И. – ассистент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний; Асташина Н.Б. (*контактное лицо) – доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой ортопедической стоматологии].

© Arutyunov S.D., Stepanov A.G., Elovikov A.M., Arutyunov A.S., Yuzhakov A.A., Freiman V.I., Polyakov D.I., Astashina N.B., 2020
tel. +7 912 886 04 20
e-mail: astashina.nb@mail.ru

[Arutyunov S.D. – MD, PhD, Professor, Head of Department of Propaedeutics of Dental Diseases; Stepanov A.G. – MD, PhD, Associate Professor, Department of Propaedeutic of Dental Diseases; Elovikov A.M. – MD, PhD, Associate Professor, Head of Department of Otorhinolaryngology; Arutyunov A.S. – MD, PhD, leading researcher; Yuzhakov A.A. – Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Automatics and Telemechanics; Freiman V.I. – Doctor of Technical Science, Professor, Department of Automatics and Telemechanics; Polyakov D.I. – Lecturer, Department of Propaedeutics of Dental Diseases, Astashina N.B. (*contact person) – MD, PhD, Associate Professor, Head of Department of Orthopedic Dentistry].

Разработанная конструкция бионического протеза уха состоит из нескольких компонентов, включающих в себя протез ушной раковины и введенный в него звуковой процессор. При этом обеспечивается функционал дистанционного управления, настройки и беспроводной зарядки. Работа системы основывается на принципе костной проводимости. Протез ушной раковины представляет собой внешнее накладное устройство, отличающееся высокими эстетическими характеристиками, изготавливается из биологически совместимых материалов с применением современных цифровых технологий. Встроенный слуховой аппарат, включает в себя микрофон; звуковой процессор, построенный на основе цифрового сигнального компонента со встроенными аналого-цифровыми и цифроаналоговыми преобразователями; модуль радиоканала Bluetooth для связи с устройством управления настройками (смартфоном на Android); и излучатель звуковых колебаний.

Результаты. Предполагаемый положительный эффект заключается в повышении эффективности лечения, реабилитации и социализации глухих и слабослышащих пациентов за счет уменьшения объема оперативного вмешательства; применения рациональной эстетичной конструкции эпитеза ушной раковины, выполненного из биологически совместимых материалов, с инклинированным высокофункциональным электронным слуховым аппаратом, интегрированным со слуховой средой пациента.

Выводы. Сочетание указанных факторов способно обеспечить сокращение сроков медицинской и социальной реабилитации больных разного возраста. Помимо вышеуказанного, существенным преимуществом разрабатываемой конструкции бионического протеза и способа его изготовления является простота использования и экономическая доступность.

Ключевые слова. Бионический протез, эпитез наружного уха, слуховой аппарат, атрезия, анотия, микроотия.

Objective. To develop the bionic ear prosthesis design and a method for its manufacture based on intellectual and medical 3D technologies.

Materials and methods. Taking into account the analysis of data from domestic and foreign literature, a bionic ear prosthesis and a device for its manufacture have been developed. During the implementation of the project, digital equipment and software were used.

The developed design of a bionic ear prosthesis consists of several components, including an auricle prosthesis and a sound processor inserted into it. This provides the functionality of remote control, configuration and wireless charging. The system is based on the principle of bone conduction. The auricle prosthesis is an external attachment device with high aesthetic characteristics, made of biocompatible materials using modern digital technologies. Built-in hearing aid, includes a microphone; a sound processor based on a digital signal component with built-in analog-to-digital and digital-to-analog converters; Bluetooth radio channel module for communication with the settings control device (Android smartphone); and an emitter of sound vibrations.

Results. The expected positive effect is to increase the effectiveness of treatment, rehabilitation and socialization of deaf and hard of hearing patients by reducing the volume of surgical intervention; prevention of postoperative complications; the use of a rational aesthetic design of the auricle epithesis made of biologically compatible materials, with an inclined highly functional electronic hearing aid integrated with the patient's auditory environment.

Conclusions. The combination of these factors can provide a significant reduction in the terms of medical and social rehabilitation of patients of different ages. In addition to the above, a significant advantage of the developed design of a bionic prosthesis and the method of its manufacture is ease of use and economic availability.

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

ВВЕДЕНИЕ

Применение цифровых систем для устранения физиологических проблем по восприятию аудиоинформации является перспективным направлением, поскольку информационные технологии открывают новые горизонты для компенсации потери слуха.

Человек воспринимает информацию с помощью органов чувств, и 20 % этой информации приходится на звуковые сигналы. Информация – это вся совокупность сведений об окружающем мире, о всевозможных протекающих в нем процессах, которые могут быть восприняты живыми организмами, электронными машинами и другими информационными сис-

темами [1]. Решение задачи восстановления слуха у пациентов с патологией наружного уха является важной, поскольку роль информации в жизни человека является определяющей – чем большим количеством знаний и навыков он владеет, тем выше его социализация. По данным Всемирной организации здравоохранения, около 10 % населения имеют нарушения слуха. Достаточно большое количество страдающих тугоухостью и аномалиями развития наружного и среднего уха выбирают слухопротезирование. При кондуктивной и смешанной тугоухости в сочетании с аномалиями развития уха большое распространение получили аппараты костного звукопроведения, например Alfa, Baha, Pronto, состоящие из процессора, который обнаруживает, очищает и усиливает звуковые волны, а также преобразует их в вибрации. Далее усиленные вибрации передаются через опору на остеоинтегрированный имплантат. Ограничением применения данных слуховых аппаратов при отсутствии ушной раковины, является их дезинтегрированность с протезом наружного уха и высокая стоимость.

Среди различных врожденных и приобретенных аномалий уха наиболее часто встречается патология наружного уха [2], ее распространенность составляет один случай на 5–10 тыс. новорожденных [3, 4]. По статистике от 2 до 6 новорожденных детей из тысячи страдают врожденной тугоухостью, на территориях Пермского края отмечают близкие к указанным статистические показатели. Аномалии развития наружного уха, микротия и атрезия слуховых проходов встречается с частотой 1:10 000 и 1: 20 000 населения соответственно. Далеко не все пациенты по тем или иным причинам предпочитают хирургическую реконструкцию [5, 6].

Пороки развития наружного уха в большинстве случаев (70–90 %) являются односторонними, в основном затрагивают правую сторону (58–61 %) [7]. Пациенты этой категории страдают не только от выраженной кондуктивной тугоухости, но и от грубого дефекта, нарушающего эстетику лица. Дефекты лица в виде отсутствия ушной раковины нередко сопровождаются воспалительными изменениями мягких тканей, что вызывает тяжелые функциональные нарушения, ухудшает психоэмоциональное состояние и ведет к социальной дезадаптации пациентов [8, 9].

Реконструктивно-пластические операции, направленные на формирование ушной раковины и наружного слухового прохода, являются технически сложными и далеко не всегда приносят ожидаемый эстетический и функциональный результат, особенно при отокранеостенозе [10, 11]. Кроме того, они сопряжены с высоким риском развития послеоперационных осложнений. Наиболее часто возникают рестеноз наружного слухового прохода и латерализация неотимпанальной мембраны, что требует повторных вмешательств в 30–46 % случаев [12]. Костная облитерация слухового прохода создает дополнительные трудности при оперативном вмешательстве, поскольку ее устранение с помощью фрез нередко приводит к развитию сенсоневральной тугоухости (СНТ) вследствие чрезмерного вибрационного воздействия на рецепторный аппарат внутреннего уха, передающегося от атретической пластинки через цепь слуховых косточек [13]. Случаи врожденной патологии наружного слухового прохода также часто сопровождаются аномальным ходом канала лицевого нерва: тимпанальный сегмент нерва обычно смещен книзу, а мастоидальный расположен более впереди, что повышает риск его травматизации [14, 15].

Помимо прочего, при микротии III типа по классификации H. Weerda, когда у пациента отсутствуют нормальные структуры ушной раковины, для комплексных реконструктивных вмешательств требуется использование дополнительных фрагментов кожи или хряща в большом объеме. 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 онкологической потери органа является единственным возможным способом [16]. В отохирургии КОИ нашли широкое применение при слухопротезировании аппаратами костного звукопроведения [17]. Основными показаниями для эктопротезирования являются недостаточная развитость местных тканей для аутогенной реконструкции, неудовлетворительные результаты предыдущих реконструктивных вмешательств и выбор этой методики пациентом. Черепно-лицевая реабилитация на краниальных имплантатах является безопасным, надежным и предсказуемым способом восстановления нормального внешнего вида пациента, поскольку приживаемость имплантатов для фиксации эпитезов уха составляет приблизительно 95,7 %, а частота осложнений со стороны мягких тканей в большинстве случаев не превышает II степень по шкале Холгера [18, 19]. Учитывая наличие функционального и эстетического дефекта при врожденной и приобретенной патологии наружного слухового прохода и высокую вероятность получения неудовлетворительных функциональных и эстетических результатов и осложнений при реконструктивно-пластической хирургии, во-

прос о комплексном подходе к реабилитации таких пациентов является актуальным. Основными преимуществами эктопротезирования по сравнению с традиционными хирургическими методами реконструкции являются простота хирургической техники, предсказуемость полученного результата, минимальный срок реабилитации пациента и долгосрочная стабильность результатов протезирования.

Таким образом, изучаемая проблема требует решения в связи с тем, что дефекты и деформации лица, сопряженные с тяжелыми функциональными нарушениями, связанными с глухотой или тугоухостью, крайне болезненно воспринимаются больными, что диктует необходимость совершенствования новых методов лечения, поиска материалов и разработки новых высокофункциональных эстетичных и комфортных в использовании конструкций эпитезов ушной раковины, с введенным бионическим компонентом, применение которых позволит как эффективно устранить дефекты лица, так и восстановить слух.

Цель исследования – разработка конструкции бионического протеза уха и способа его изготовления на основе интеллектуальных и медицинских 3D-технологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе анализа данных отечественной и зарубежной литературы разработан бионический протез уха и устройство для его изготовления. В ходе работы использовано цифровое оборудование и программное обеспечение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная конструкция бионического протеза уха состоит из нескольких компонентов, включающих в себя протез ушной раковины и введенный в него звуковой процессор. При этом обеспечивается

функционал дистанционного управления, настройки и беспроводной зарядки. Работа системы основывается на принципе костной проводимости. Протез ушной раковины представляет собой внешнее накладное устройство, отличающееся высокими эстетическими характеристиками, изготавливается из биологически совместимых материалов с применением современных цифровых технологий. Встроенный слуховой аппарат, включает в себя микрофон; звуковой процессор, построенный на основе цифрового сигнального компонента со встроенными аналого-цифровыми и цифроаналоговыми преобразователями; модуль радиоканала Bluetooth для связи с устройством управления настройками (смартфоном на Android); и излучатель звуковых колебаний.

Технологическое решение направлено: на возможность цифровой обработки звука на основе использования цифрового сигнального процессора, специализированного под задачи слухового протезирования; система отличается простотой управления и настройкой, основанной на беспроводном интерфейсе, а также гибкостью и адаптивностью благодаря программной реализации функций.

Специализированный звуковой процессор для слуховых аппаратов и модуль связи представляют собой единую микросхему (чип), размеры которой позволяют разместить ее в объеме протеза. Принцип работы слухового аппарата основан на костной проводимости звука. Механические колебания с частотой звука от электромагнитного излучателя-вибратора через кожные покровы передаются на металлический компонент с магнитными свойствами, имплантированный под кожу в кость черепа, через который звуковые колебания передаются в кость и достигают внутреннего уха пациента, создавая альтернативный путь прохождения звука.

Предлагаемое решение отличается отсутствием дополнительных внешних носимых устройств, как открытых, так и скрытых; дистанционным управлением настройками и функциями звукового процессора по низкоэнергетическому радиоканалу Bluetooth LE; возможностью бесконтактной зарядки источника питания слухового аппарата благодаря съемной конструкции и магнитному креплению эпитеза ушной раковины.

Одной из перспективных задач является интеграция слухового аппарата с цифровой средой пациента, в частности с мобильным устройством (смартфоном), что обеспечивает управление и регулировку громкости с помощью смартфона; возможность ответа на входящие звонки и использования других функций внешних мобильных устройств; возможность дистанционного контроля и настройки; аудиозапись информации; переключение режимов работы, включая автоматизацию настройки в зависимости от акустического состояния окружающей среды.

Разные режимы настройки позволяют достичь максимального комфорта в процессе применения слухового аппарата. Например, один из них будет для повседневного использования, в котором усиления на разных частотных интервалах настроены индивидуально для каждого пациента, исходя из данных, полученных в результате обследования врача-аудиолога. А второй режим – для применения в шумных местах. Он предназначен для шумоподавления и выделения речи. Также возможно наличие и других режимов в зависимости от нужд и пожеланий пациента.

В настоящее время в аналогичных устройствах, как правило, используют дополнительные носимые устройства, являющиеся посредником между слуховым аппаратом и мобильным устройством. Однако задача

интеграции всех перечисленных функций в единую связку слуховой системы и мобильного приложения не решена. Объединение в одном устройстве нескольких информационных технологий и подходов, интегрирование его с окружающими устройствами позволит создать аппаратную платформу как для развития существующих методов лечения и реабилитации глухих и слабослышащих, так и для создания на их основе новых подходов в области интеллектуальных информационных технологий.

Для решения поставленных задач нами разработано устройство для изготовления бионического протеза уха [20], полученное аддитивной технологией 3D-печати из термостойчивого полимера. Устройство (рисунок) представляет собой полую форму ушной раковины пациента, увеличенную в объеме на собственную толщину (1,5 мм), разделенную продольно и состоящую из двух половин (1), сопоставляемых по направляющим (2) одной половины устройства, при этом внутренняя поверхность одной из половин содержит поддержки высотой в 2 мм для элементов слухового аппарата, по форме соответствующие негативной форме указанных элементов, и пазы (3). В соединенном состоянии устройства в ее верхней и нижней части имеются отверстия (4) диаметром в 3 мм, одно для внесения конструкционного материала второе для выхода воздуха при нагнетании конструкционного материала. В устройстве имеется система поддержек, с помощью которых формируется ложе для электронных компонентов, в частности – в часть, проецирующую противокозелок, вводится поддержка в форме гибридного микрочипа (5); в углублении для ножки завитка – магнитно-вибрационного трансдюсера костной проводимости (6); в зоне завитка располагается поддержка конденсатора (7); в дарвинском бугорке – поддержка в виде резистора (8); в

мочке уха – для источника питания (9) с функцией беспроводного заряда; а в проекции козелка – поддержка для микрофона (10). Указанные поддержки для элементов слухового аппарата в конструкции бионического протеза уха представляют собой площадки, соответствующие размерам элементов, которые возвышаются на двухмиллиметровых конусовидных шипах.

При раскрытии устройства после полимеризации протеза площадки остаются в толще конструкции эпитеза уха, а конусовидные шипы выходят из силикона и остаются монолитными с половиной устройства.

Предлагаемое устройство и способ его изготовления, а именно применение современных систем компьютерного моделирования, позволяют значительно сократить число как лабораторных, так и клинических этапов изготовления протеза, а также удешевляют себестоимость протезирования, что, несомненно, имеет выраженный медико-социальный эффект. Аддитивная технология 3D-печати и материал – термостойчивый полимер, из которого изготовлено предлагаемое устройство, дает возможность использовать его многократно, а наличие подобного устройства у техника позволяет пациенту заранее и дистанционно, без личного присутствия, заказывать протез уха при необходимости.

Процесс изготовления бионического протеза уха начинается с получения компьютерной томограммы головы пациента, с последующей конвертацией файла dicom, в объемное изображение формата stl. Затем цифровую модель имеющегося уха переносят зеркально в область отсутствующего и проводят коррекцию цифровой репродукции протеза в зоне его прилегания к тканям протезного ложа. Увеличивают общий объем изображения на 1,5 мм. В программе компьютерного моделирования удаляют внутреннюю поверхность цифровой модели уха, тем

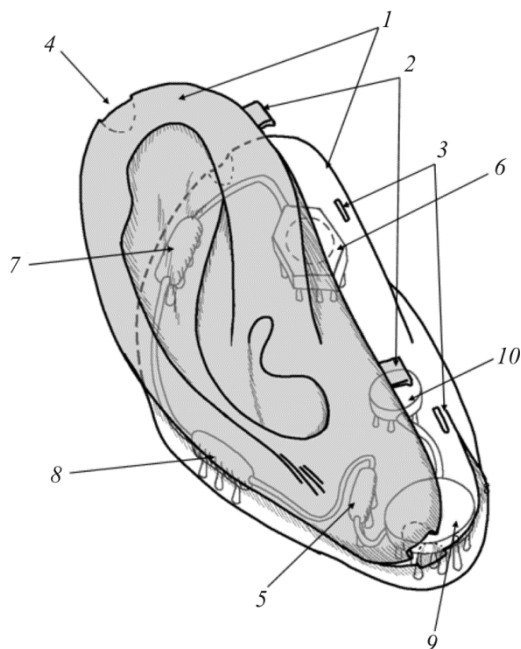


Рис. Устройство для изготовления бионического протеза уха: 1 – составляющая половина устройства; 2 – направляющие для фиксации устройства; 3 – пазы для фиксации устройства; 4 – отверстия для внесения и выведения излишек конструкционного материала (силикона); 5 – поддержка для гибридного микрочипа; 6 – поддержка для магнитно-вибрационного трансдюсера; 7 – поддержка для конденсатора; 8 – поддержка для резистора; 9 – поддержка для источника питания; 10 – поддержка для микрофона

самым формируя устройство для получения бионического протеза уха. Разделяют цифровую увеличенную модель устройства вдоль на две равные половины (1). На одной из половин с наружной поверхности моделируют направляющие (2) для соединения половин (1). На второй половине устройства (1) в проекции направляющих (2), моделируют пазы (3) для фиксации половин. На внутренней поверхности моделируются поддержки для элементов слухового аппарата. Цифровые модели устройства для изготовления бионического протеза уха, со-

стоящие из двух половин (1), печатаются на 3D-принтере из термостойкого полимера. В соответствующие пазы половины устройства (1) укладываются элементы слухового аппарата. Половины устройства (1) сопоставляют по направляющим (2) в пазы (3). Через отверстие (4) в верхней части устройства нагнетается покрашенный до телесного цвета силикон медицинского назначения до выхода из отверстия с противоположной стороны (4). Далее устройство укладывают в сухожаровой шкаф при температуре 40 °С в течение 2 ч для вулканизации. Полученный силиконовый бионический протез уха извлекают из устройства, удаляют поддержки для компонентов слухового аппарата, конструкцию обрабатывают и фиксируют пациенту.

Фиксация бионического протеза уха осуществляется за счет дополнительных ретенционных элементов, которые играют роль звукопроводящего имплантата, установленного в височную кость пациента, с фиксированным трансдюсером костной проводимости, размещенном в протезе ушной раковины.

Таким образом, разработка бионического протеза уха является конкурентноспособной, не имеющей российских прототипов и в таком идейном воплощении – зарубежных аналогов. Перспективы дальнейших исследований состоят в разработке алгоритмического и программного инструментария для расчета и сравнительного анализа характеристик беспроводных коммуникационных технологий для выбора эффективной платформы передачи данных для систем управления.

Выводы

Целью проводимых исследований является разработка конструкции бионического протеза уха и способа его изготовления на основе интеллектуальных и медицинских 3D-технологий.

Предполагаемый положительный эффект заключается в повышении эффективности лечения, реабилитации и социализации глухих и слабослышащих пациентов за счет уменьшения объема оперативного вмешательства; профилактики послеоперационных осложнений; применения рациональной эстетичной конструкции эпитеза ушной раковины, выполненного из биологически совместимых материалов, с инclinированным высокофункциональным электронным слуховым аппаратом, интегрированным со слуховой средой пациента. Сочетание указанных факторов способно обеспечить сокращение сроков медицинской и социальной реабилитации больных разного возраста. Помимо вышеуказанного существенным преимуществом разрабатываемой конструкции бionического протеза и способа его изготовления являются простота использования и экономическая доступность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куянцева Л.М. Роль информации в современном обществе. 2010, available at: http://infdeyatchel.narod.ru/rol_inf.htm.
2. Swartz J., Faerber E. Congenital malformations of the external and middle ear: high-resolution CT findings of surgical import. American journal of roentgenology. 1985; 144 (3): 501–506.
3. Ishimoto S., Ito K., Yamasoba T., Kondo K., Karino S., Takegoshi H., Kaga K. Correlation between microtia and temporal bone malformation evaluated using grading system. J Archives of otolaryngology – head and neck surgery 2005; 131 (4): 326–329.
4. Диаб Х.М., Назарян Д.Н., Дайхес Н.А., Харазян А.Э., Кондратчиков Д.С., Яранцев С.В., Черненко М.М. Междисциплинарный подход к реабилитации пациентов с врожденной атрезией наружного слухового прохода и микротией. Вестник оториноларингологии 2018; 83 (2): 17–21.
5. Диаб Х.М. О классификации аномалий развития уха. Российская оториноларингология 2012; 2 (57): 154–161.
6. Zhao S., Han D., Wang Z., Li J., Qian Y., Ren Y., Dong J. An imaging study of the facial nerve canal in congenital aural atresia. J Ear Nose Throat 2015; 94 (10–11): 6–13.
7. Siegert R., Weerda H., Remmert S. Embryology and surgical anatomy of the auricle. J Facial Plast Surg 1994; 10 (3): 232–243.
8. Unkovskiy A., Spintzyk S., Axmann D., Engel E.M., Weber H., Huetti F. Additive manufacturing: A comparative analysis of dimensional accuracy and skin texture reproduction of auricular prostheses replicas. Journal of Prosthodontics 2019; 28 (2): 460–468
9. Унковский А.С., Хюттиг Ф., Вебер Г., Каутел К., Бром Й., Спринчуж С., Лебеденко, И.Ю. Современные подходы в применении CAD/CAM технологий для изготовления лицевых протезов. Цифровая стоматология 2017; 7 (2): 50–54.
10. Назарян Д.Н., Харазян А.Э., Караян А.С., Чаушева С.И., Яранцев С.В. Анапластология как раздел пластической и челюстно-лицевой хирургии. Head and Neck. Голова и шея. Российское издание. Журнал Общероссийской общественной организации «Федерация специалистов по лечению заболеваний головы и шеи» 2014; 4: 28–34.
11. Диаб Х.М. Способ хирургического лечения атрезии наружного слухового прохода, сочетающейся с аномалией развития среднего уха. Российская оториноларингология 2011; 5 (54): 41–46.
12. Крюков А.И., Карякина И.А., Милешина Н.А. Каналоластика в реабилитации больных с микротией. Вестник оториноларингологии 2011; 4: 49–52.

13. Диаб Х.М., Аникин И.А., Еремин С.А. Способ профилактики вибротравмы внутреннего уха при одномоментном устранении атрезии наружного слухового прохода с тимпанопластикой и оссиклопластикой. Российская оториноларингология 2011; 6 (55): 36–39.

14. Zhao S., Han D., Wang Z., Li J., Qian Y., Ren Y., Dong J. An imaging study of the facial nerve canal in congenital aural atresia. *J Ear Nose Throat* 2015; 94 (10–11): 6–13.

15. Qin F., Zhang T., Dai P., Yang L. Anatomic variants on Computed Tomography in Congenital Aural Atresia and Stenosis. *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology* 2015; 8 (4): 320–328.

16. Харязян А.Э., Назарян Д.Н., Чаушева С.И., Яранцев С.В., Черненко М.М., Кялов Г.Г. Комплексная реабилитация пациентов с комбинированными дефектами средней зоны лица на краниальных имплантатах с немедленной нагрузкой. *Пластическая хирургия и косметология* 2015; 3: 260–267

17. Милешина Н.А., Осипенков С.С., Бахшиян В.В., Таварткиладзе Г.А. Новые возможности реабилитации пациентов с врожденными пороками развития наружного и среднего уха. *Вестник оториноларингологии* 2014; 2: 33–36.

18. Curi M., Oliveira M., Molina G., Cardoso C., Oliveira Lde G., Branemark P., Ribeiro Kde C. Extraoral implants in the rehabilitation of craniofacial defects: implant and prosthesis survival rates and peri-implant soft tissue evaluation. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2012; 70 (7): 1551–1557.

19. Holgers K.M., Tjellström A, Bjursten L.M., Erlandsson B.E. Soft tissue reactions around percutaneous implants: a clinical study of soft tissue conditions around skin-penetrating titanium implants for bone-anchored hearing aids. *The American Journal of Otology* 1988 9 (1): 56–59.

20. Арутюнов С.Д., Степанов А.Г., Арутюнов А.С., Асташина Н.Б., Кузнецов Н.А. Устройство для изготовления бионического протеза уха. Патент на изобретение RUS 2724391 от 23.06.2020.

REFERENCES

1. Kuyantseva L.M. The role of information in modern society. 2010, available at: http://infdeyat-chel.narod.ru/rol_inf.htm (in Russian).

2. Swartz J., Faerber E. Congenital malformations of the external and middle ear: high-resolution CT findings of surgical import. *American journal of roentgenology* 1985; 144 (3): 501–506.

3. Ishimoto S., Ito K, Yamasoba T., Kondo K., Karino S., Takegoshi H., Kaga K. Correlation between microtia and temporal bone malformation evaluated using grading system. *J Archives of otolaryngology – head and neck surgery* 2005; 131 (4): 326–329.

4. Diab H.M., Nazaryan D.N., Daykbes N.A., Kharazyan A.E., Kondratchikov D.S., Yaransev S.V., Chernenkiy M.M. An interdisciplinary approach to the rehabilitation of patients with congenital atresia of the external auditory canal and microtia. *Vestnik otorinolaringologii* 2018; 83 (2): 17–21 (in Russian).

5. Diab H.M. About classification of ear anomalies. *Rossiyskaya otorinolaringologiya*. 2012; 2 (57): 154–161 (in Russian).

6. Zhao S., Han D., Wang Z., Li J., Qian Y., Ren Y., Dong J. An imaging study of the facial nerve canal in congenital aural atresia. *J Ear Nose Throat* 2015; 94 (10–11): 6–13.

7. Siegert R., Weerda H., Remmert S. Embryology and surgical anatomy of the auricle. *J Facial Plast Surg* 1994; 10 (3): 232–243.

8. Unkovskiy A., Spintzyk S., Axmann D., Engel E.M., Weber H., Huetti F. Additive manufacturing: A comparative analysis of dimensional

accuracy and skin texture reproduction of auricular prostheses replicas. *Journal of Prosthodontics* 2019; 28 (2): 460–468.

9. *Unkovskiy A.S., Khyuttig F., Veber G., Kautel K., Brom Y., Sprinchuk S., Lebedenko I.Yu.* Modern approaches to the application of CAD / CAM technologies for the manufacture of facial prostheses. *Tsifrovaya stomatologiya* 2017; 7 (2): 50–54 (in Russian).

10. *Nazaryan D.N., Kharazyan A.E., Karayan A.S., Chausbeva S.I., Yarantsev S.V.* Anaplastology as a branch of plastic and maxillofacial surgery. Head and Neck. Golova i sheya. Rossiyskoye izdaniye. *Zhurnal Obschberossiyskoy obschbestvennoy organizatsii «Federatsiya spetsialistov po lecheniyu zabolevaniy golovy i sbei»* 2014; 4: 28–34 (in Russian).

11. *Diab H.M.* A method of surgical treatment of atresia of the external auditory canal, combined with an anomaly in the development of the middle ear. *Rossiyskaya otorinolaringologiya* 2011; 5 (54): 41–46 (in Russian).

12. *Kryukov A.I., Karyakina I.A., Milesbina N.A.* Canaloplasty in the rehabilitation of patients with microtia. *Vestnik otorinolaringologii* 2011; 4: 49–52 (in Russian).

13. *Diab H.M., Anikin I.A., Yeregin S.A.* A method of preventing vibration trauma of inner ear with simultaneous elimination of external auditory canal atresia with tympanoplasty and ossiculoplasty. *Rossiyskaya otorinolaringologiya* 2011; 6 (55): 36–39 (in Russian).

14. *Zhao S., Han D., Wang Z., Li J., Qian Y., Ren Y., Dong J.* An imaging study of the facial nerve canal in congenital aural atresia. *J Ear Nose Throat* 2015; 94 (10–11): 6–13.

15. *Qin F., Zhang T., Dai P., Yang L.* Anatomic variants on Computed Tomography in Congenital Aural Atresia and Stenosis. *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology*. 2015; 8 (4): 320–328.

16. *Kharazyan A.E., Nazaryan D.N., Chausbeva S.I., Yarantsev S.V., Chernenkiy M.M., Kyalov G.G.* Complex rehabilitation of patients with combined defects of the midface zone on cranial implants with immediate loading. *Plasticheskaya khirurgiya i kosmetologiya* 2015; 3: 260–267 (in Russian).

17. *Milesbina N.A., Osipenkov S.S., Bakhsbinyan V.V., Tavartkiladze G.A.* New possibilities for the rehabilitation of patients with congenital malformations of the outer and middle ear. *Vestnik otorinolaringologii* 2014; 2: 33–36 (in Russian).

18. *Curi M., Oliveira M., Molina G., Cardoso C., Oliveira Lde G., Branemark P., Ribeiro Kde C.* Extraoral implants in the rehabilitation of craniofacial defects: implant and prosthesis survival rates and peri-implant soft tissue evaluation. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2012; 70(7): 1551–1557.

19. *Holgers K.M., Tjellström A, Bjursten L.M., Erlandsson B.E.* Soft tissue reactions around percutaneous implants: a clinical study of soft tissue conditions around skin-penetrating titanium implants for bone-anchored hearing aids. *The American Journal of Otology* 1988; 9 (1): 56–59.

20. *Arutyunov S.D., Stepanov A.G., Arutyunov A.S., Astashina N.B., Kuznetsov N.A.* Device for making a bionic ear prosthesis. Patent for invention RUS 2724391 23.06.2020 (in Russian).

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта «Разработка бионического протеза уха на основе интеллектуальных и медицинских 3D-технологий».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Материал поступил в редакцию 22.05.2020