

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Перельман М.И. Гражданин доктор, 2009. [Perel'man M.I. Grazhdanin doktor, 2009 (In Russ.)]
2. Андреев А.А., Остроушко А.П. Михаил Израилевич Перельман – советский и российский хирург, академик АМН СССР – РАМН. К 95-летию со дня рождения // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. – 2019. – №12(4): 292.
3. Константинов Б.А, Соколов В.И. Тридцать лет вместе с Научным центром хирургии Российской академии медицинских наук. – М., 1997. – С.103-104. [Konstantinov BA, Sokolov VI. Tridcat' let vmeste s Nauchnym centrom hirurgii Rossijskoj akademii medicinskih nauk. M., 1997. P.103-104. (In Russ.)]
4. Колодин Н.Н. Отличник [Перельман М.И.] // Ярославские эскулапы. Т.3. Корифеи и академики. – Ярославль: Канцлер, 2009. – С.265-282. [Kolodin NN. Otlichnik [Perel'man M.I.]. YAroslavskie eskulapy. V.3. Korifei i akademiki. YAroslavl': Kancler, 2009. P.265-282. (In Russ.)]
5. 60 лет Российской Академии медицинских наук. – М.: Медицинская энциклопедия, 2004. – 492 с. [60 let Rossijskoj Akademii medicinskih nauk. M.: Medicinskaya enciklopediya, 2004. 492 p. (In Russ.)]

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА: ОТ ПРОСТОГО К СЛОЖНОМУ

Епифанов С.А.*, Штемпель М.С.,
Миронюк Ю.Д.

ФГБУ «Национальный медико-хирургический
Центр им. Н.И. Пирогова», Москва

DOI: 10.25881/20728255_2025_20_1_166

Резюме. Тотальное эндопротезирование височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) является важным направлением в лечении пациентов с тяжелой патологией сустава, включая анкилозы, артриты, артрозы, травмы и врожденные аномалии. Рассмотрены исторические аспекты развития данной методики, начиная с первых упоминаний патологий ВНЧС в древности и заканчивая современными технологиями протезирования, такими как CAD/CAM.

Описана эволюция подходов к лечению пациентов с заболеваниями сустава, включая использование различных материалов, таких как металлы, силикон, тефлон и полимеры. Отдельное внимание уделено их преимуществам и недостаткам, включая биосовместимость, прочность и побочные эффекты.

Приведены ключевые этапы развития методов эндопротезирования: от удаления пораженного сустава до разработки модульных имплантатов. Рассмотрены результаты использования материалов, таких как Silastic, Proplast и тефлон, а также влияние этих технологий на состояние костных структур и общую функцию сустава.

Особо выделена роль междисциплинарного подхода в диагностике и лечении патологий ВНЧС, что позволило значительно улучшить результаты лечения и повысить качество жизни пациентов. Подчеркнута важность дальнейшего совершенствования материалов и технологий для обеспечения долговечности и функциональности имплантатов.

Ключевые слова: височно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС), анкилоз, имплантат, тотальное эндопротезирование, CAD/CAM.

Тотальное эндопротезирование височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) является важным этапом в лечении ряда заболеваний, связанных с нарушениями его функции и дегенеративными изменениями. Развитие хирургических мето-

дов и имплантационных технологий позволило значительно улучшить качество жизни пациентов с тяжелыми заболеваниями ВНЧС, такими как артриты, артрозы, анкилозы, травмы и врожденные аномалии. Несмотря на значительные

достижения в области медицины, актуальность исследования исторического развития методов тотального эндопротезирования остается высока, поскольку оно помогает понять эволюцию подходов, выявить ключевые этапы и опреде-

HISTORICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF TOTAL TEMPOROMANDIBULAR JOINT REPLACEMENT: FROM SIMPLE TO COMPLEX

Yepifanov S.A.*, Shtempel M.S., Mironyuk Yu.D.

Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. Total endoprosthesis of the temporomandibular joint (TMJ) is an important area in the treatment of patients with severe joint pathologies, including ankylosis, arthritis, arthrosis, injuries and congenital anomalies. The article examines the historical aspects of the development of this technique, starting with the first mentions of TMJ pathologies in ancient times and ending with modern prosthetics technologies such as CAD/CAM.

The authors describe the evolution of approaches to the treatment of joint dysfunctions, including the use of various materials such as metals, silicone, Teflon and polymers. Special attention is paid to their advantages and disadvantages, including biocompatibility, durability and side effects.

The paper presents the key stages of the development of endoprosthesis methods: from the removal of the affected joint to the development of modular implants. The results of using materials such as Silastic, Proplast and Teflon, as well as the impact of these technologies on the state of bone structures and the overall function of the joint are considered.

Keywords: temporomandibular joint (TMJ), ankylosis, implant, total arthroplasty, CAD/CAM.

* e-mail: cfm Surg@gmail.com

лить перспективы для дальнейшего совершенствования технологий.

Анкилоз суставов и нарушения их подвижности беспокоят человечество на протяжении веков. Как отмечает Schwartz, первые упоминания о данной патологии встречаются в древних рукописях, датированных пятым тысячелетием до н.э. Свидетельства медицинской осведомленности врачей древнего Египта о многих заболеваниях, включая дисфункцию ВНЧС, были найдены при раскопках в устье реки Нил [1; 2].

Достоверные манускрипты, описывающие болезни суставов, появились в XVI веке и были написаны французским хирургом Ambrois Paret, который первым разработал метод удаления поражённого сустава. Это хирургическое вмешательство оставалось популярным в Европе до XIX века как единственный способ помощи при воспалительных заболеваниях суставов [15]. Barton предложил использовать материалы, которые могли бы служить для создания ложных суставов при разделении суставных поверхностей ВНЧС. В начале XVIII века он предложил идею создания «ложного сустава», и его предложения касались использования биологически несовместимых материалов для разделения суставных поверхностей. Хотя в это время ещё не существовало тех технологий, которые позволяют точно имитировать функции суставов, он предложил несколько материалов, среди которых были:

1. **Металлы.** Barton начал с идей о создании конструкций из металлов, которые могли бы быть использованы для установки в сустав, чтобы разъединить суставные поверхности. Однако имплантационные материалы из металла того времени часто имели проблемы с биосовместимостью и вызывали воспалительные процессы.
2. **Ксенотрансплантат (слоновья кость).** Также рассматривалась возможность использования костных пластинок для создания промежуточных слоев между суставными поверхностями, что позволяло бы ослабить трение между ними и улучшить подвижность сустава.
3. **Каменные материалы.** В качестве альтернативы использовались различные камни, но такие материалы часто ломались и не обеспечивали стабильности соединения суставных поверхностей.
4. **Растительные материалы.** В некоторых случаях также использовались

растительные или природные материалы для создания мягких прокладок между суставами, что могло временно помочь в облегчении боли или ограничении движения [1; 2].

Идея Barton стала отправной точкой для дальнейших исследований и разработки более эффективных методов замены суставов и использования имплантатов, однако, как показала практика, материалы того времени не обеспечивали достаточную долговечность и функциональность. С развитием медицины и технологий стали применяться более современные биосовместимые материалы, такие как силикон, тефлон и другие полимеры.

Значительный вклад в диагностику патологий ВНЧС внес американский ЛОР-хирург J. Costen, чьи исследования сыграли ключевую роль в развитии современных методов диагностики и понимания заболеваний этого сустава. В 1934 г. Costen впервые описал так называемый «синдром Костена», который представляет собой комплекс симптомов, связанных с нарушениями функционирования ВНЧС, таких как боль, шум в ушах, головные боли и трудности с открыванием рта, что позволило выделить дисфункцию ВНЧС в отдельную группу заболеваний. Он был одним из первых, кто начал систематически исследовать функциональные расстройства ВНЧС и их связь с различными заболеваниями, такими как воспаление, травмы и анкилозы. В отличие от предыдущих подходов Костен не рассматривал эти заболевания исключительно как зубные или стоматологические, а поднимал вопрос о комплексной природе патологии, в которой важную роль играют не только зубы, но и сам сустав, мышцы и нервные структуры, окружающие его [3].

Costen также обращал внимание на клинические симптомы, такие как щелчки в суставе, боли при движении челюсти, головные боли и ощущение заложенности уха, которые стали основой для диагностики синдрома ВНЧС и в дальнейшем позволили разработать методы его лечения и предотвращения. Он активно использовал рентгенографию для диагностики заболеваний ВНЧС, что позволило выявить изменения в суставных поверхностях и мягких тканях, его подходы стали основой для дальнейшего внедрения рентгенологического исследования в диагностическую практику. Кроме того, Costen первым подчеркнул необходимость междисциплинарного подхода к диагностике и лечению патологий ВНЧС,

отмечая важность взаимодействия разных специалистов – ЛОР-врачей, стоматологов, хирургов и терапевтов – для правильной оценки состояния сустава и назначения соответствующего лечения. Таким образом, работа J. Costen стала основой для дальнейших исследований в области диагностики и лечения заболеваний ВНЧС, систематизировав знания о функциональных нарушениях сустава и предложив методы диагностики, которые до сих пор используются в современной медицине [3].

Введение силиконовых полимеров, как материалов для имплантатов, в медицину стало важным шагом к достижению стабильных результатов лечения заболеваний ВНЧС. Silastic, запатентованный компанией «Dow Corning» в 1948 г., стал первым медицинским силиконом, использованным для разделения суставных поверхностей. Описание его применения в хирургии было дано в 1966 году в сборнике под редакцией Wesolowski S. и Martinez A. [4].

С вхождением силикона в медицинскую практику возникла ложная надежда, так как первоначальные результаты операции были многообещающими. Однако позже было установлено, что силикон, находящийся между суставными поверхностями, разрушался под действием трения, вызывая гиперчувствительность и формирование гигантских клеток в области поражения.

Brown J. и Fryer M. предложили удалять силикон через год после имплантации, когда формируется грубая фиброзная капсула. Однако, в долгосрочной перспективе, это приводит лишь к отсроченному реанкилозированию. С 1983 г. появляется множество публикаций о выраженном воспалительном ответе на имплантаты Silastic как у людей, так и у животных. Силиконовые фрагменты обнаруживаются в лимфатических узлах на стороне имплантации вместе с гигантскими клетками инородных тел. Eriksson L. и Westesson P. в 1992 г. зафиксировали неудовлетворительные результаты у пациентов, перенёвших операцию дискэктомии с использованием силиконовых вкладышей, что поставило под сомнение использование этого материала в хирургии ВНЧС [7].

В 1993 г. компания «Dow Corning» прекратила производство полимера Silastic для хирургического применения, но многие хирурги продолжают использовать его в дискэктомиях. Однако его фиксация в области ВНЧС остаётся проблемной: методы, включающие подшива-

ние к суставной впадине, могут нарушать целостность материала.

Другим полимером, применяемым в хирургии ВНЧС, является тефлон. В 1972 г. Cook опубликовал исследования, показывающие, что использование тефлона между резецированным мышечковым отростком и телом челюсти приводит к минимальным воспалительным изменениям и устойчивому формированию ложного сустава без реанкилозирования. Несмотря на критику, утверждающую, что тефлон может фрагментироваться, Cook сохранял устойчивость к данным аргументам, отмечая меньшую функциональную нагрузку в ВНЧС [5].

В конце 70-х компания «Vitek» предложила пропласт – пористый тефлон, стимулирующий врастание мягких тканей. Разработан двухкомпонентный протез ВНЧС, который стал важным шагом в создании модульных имплантатов. Несмотря на сообщения о повышенной активности макрофагов вокруг имплантатов, ряд авторов отмечает положительные отзывы о данном материале.

В 1989 г. Ryan делится опытом применения пропласта и тефлона. Хотя пациенты выражали удовлетворение, 20% случаев завершались развитием открытого прикуса из-за увеличения остеокластической активности. При использовании таких имплантатов, как пропласт, происходит увеличение резорбции костной ткани в области установки имплантата. Это может привести к укорочению ветви нижней челюсти, так как активность остеокластов вызывает потерю костной массы и нарушение нормальной структуры костей. Вследствие этого могут развиваться остеолит и другие костные изменения, что, в свою очередь, ухудшает функциональное состояние суставов и приводит к изменению их анатомической конфигурации. Bronstein в 1987 г. указывает на более значительные костные изменения, связанные с пропластом по сравнению с Silastic, тогда как Morgan в 1988 г. подчеркивает отсутствие данных по отдалённым результатам использования тефлона в ВНЧС [6].

Flogine и соавт. заметили у пациентов с аллопластическими имплантатами значительные деструктивные изменения костных структур сустава в течение 2–4 лет. Они пришли к выводу, что фрагменты тефлона слишком велики для резорбции лимфатической системой.

В 1990 г. на заседании FDA (Food and Drug Administration – Агентство Министерства здравоохранения США) было решено провести повторные осмотры

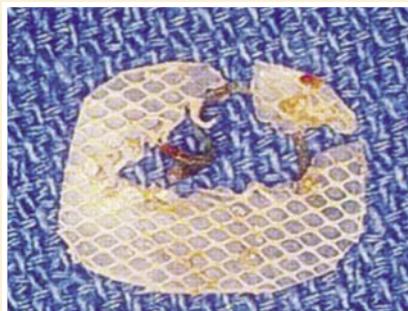


Рис. 1. Височно-нижнечелюстной имплантат Silastic, армированный полиэтилен-рефталатными волокнами, который был имплантирован пациенту на 3 недели.

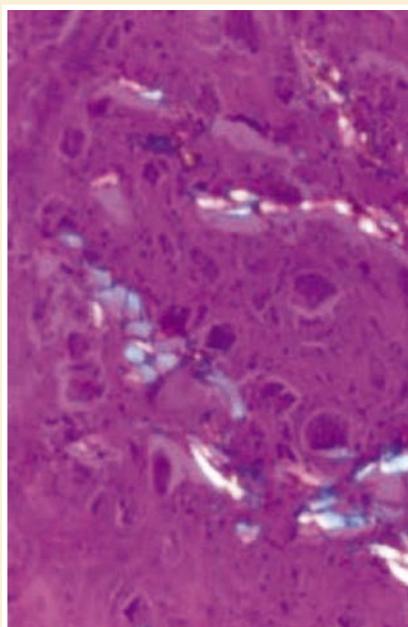


Рис. 2. Частицы силикона, обнаруженные в резецированных тканях.

всех пациентов с тефлоновыми/Proplast имплантатами. Многочисленные сообщения хирургов указывают на ухудшение состояния суставов и обострение артроза у более чем половины пациентов. Одновременно обнаруживаются атипичные очаги костной пролиферации, что говорит об аномальной остеогенной активности.

По данным Henry и Wolford, спустя более 5 лет только 12% суставов не имели радиографических изменений. В исследованиях рассматривались как традиционные вмешательства на ВНЧС, так и инновационные методы, например, CAD/CAM протезирование, которое продемонстрировало отличные результаты без морбидности донорской зоны [8].



Рис. 3. А – конструкция шарнира Christensen изготовлена из литого кобальт-хромомолибденового сплава, обеспечивающего соединение металла с металлом. Существует одна форма мышцелка и на выбор предлагается 44 различных формы компонента ямки. Эти компоненты ямки также используются для гемияртропластики. Б – тотальный височно-нижнечелюстной протез, изготовленный по индивидуальному заказу, состоит из ковального титанового вкладыша для ямки, покрытого титановой сеткой для роста кости в ямке и крепления к суставной поверхности из сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Специально подобранный элемент нижней челюсти состоит из стержня и мышцелковой головки из ковального кобальт-хромомолибденового сплава.

Подходы к уменьшению травматичности, такие как гемияртропластика, предполагают замену одной из суставных поверхностей аллопластическим имплантатом. Гибридные протезы появились в 1970-х. Исследования Kent и соавт. показали успешность гемияртропластики на уровне 87,3% по субъективным и объективным критериям [8].

Долговременные наблюдения показывают, что функциональная нагрузка может приводить к необратимым изменениям и ухудшению качества жизни пациентов. Вклад Christensen в тотальное протезирование ВНЧС остается значимым, несмотря на неудачное долговременное применение его материалов. Важно использовать износостойкие материалы, чтобы обеспечить функциональность и комфорт. Kent в начале 1980х при поддержке компании «Vitek» разрабатывает тотальный протез ВНЧС отвечающий требованиям износостойкости. Компонент суставной впадины изготавливается

из Proplas/Teflon или политетрафторэтилена. Мыщелковый отросток был выполнен из никель-хрома или стандартного титанового имплантата фирмы «Synthes». Процент успеха при использовании данных протезов составил 91,5%, из осложнений автор отмечал раннюю инфекцию в области протеза, эрозию суставной ямки, переднюю дислокацию суставной головки [13].

Schonnenburg с соавт. в 1985 г. и 1990 г. опубликовали опыт использования тотального протеза ВНЧС состоящего из мыщелка, изготовленного из сплава хром-кобальт-молибден и суставной впадины из полиэтилена ультравысокой плотности. Данный химический состав был аналогичен протезам, используемым травматологами-ортопедами в хирургии тазобедренного и коленного сустава [15].

В 1995 г. Mercury с соавт. сообщили о первых результатах использования индивидуально-изготовленного тотального протеза ВНЧС по CAD/CAM технологии. Основываясь на исследованиях Mercury компания «TMJ Concepts» получила одобрение FDA на выпуск индивидуально изготовленных протезов ВНЧС с 1999 г. [8].

В 2000 г. Quinn J. представили вниманию хирургической общественности свои исследования с использованием стандартного тотального протеза ВНЧС производства «Biomet Microfixation». Данный тип протеза так же одобрен FDA. Последние два приведенных эндопротеза остаются актуальными и по сей день [10].

Современные подходы к тотальному эндопротезированию ВНЧС значительно изменились благодаря внедрению компьютерных технологий. Исследования Klein, T. et al. и Turner, J. et al. подчеркивают роль 3D-моделирования и 3D-печати, которые позволяют разрабатывать индивидуальные имплантаты, идеально подходящие анатомии пациента. Это помогает значительно снизить количество послеоперационных осложнений и повысить успешность операций [10; 15].

Также активно развиваются компьютерная навигация и роботизированные технологии. Lewis, D. et al. (2017) описывают использование роботизированной системы Мако, которая позволяет хирургам точнее выполнять операции и уменьшить время восстановления пациентов [12]. Эти технологии становятся стандартом в некоторых хирургических центрах.

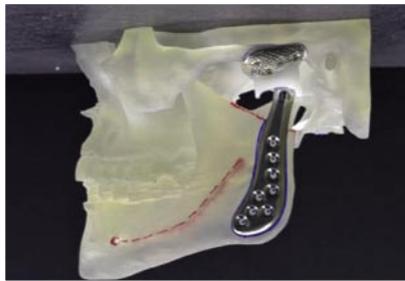


Рис. 4. Стереолитографическая модель и полный титановый имплантат ВНЧС, одобренный FDA.

Вклад отечественных ученых в разработку эндопротезирования ВНЧС представляет собой важный этап в совершенствовании хирургического лечения заболеваний ВНЧС, с которым связано множество исследований, как в области создания имплантатов, так и разработки методов хирургического вмешательства.

Отечественные ученые активно занимались созданием имплантатов для замены поврежденных суставных поверхностей, что позволило значительно улучшить результаты лечения и повысить качество жизни пациентов. В числе пионеров в этой области следует отметить работы таких специалистов, как Н.А. Плотников и П.Г. Сысолятин, А.А. Никитин. Они занимались разработкой модульных эндопротезов ВНЧС, которые включали компоненты как суставной впадины, так и мыщелкового отростка. Преимущества таких имплантатов заключаются в их долговечности, биосовместимости и способности восстанавливать не только анатомическую форму сустава, но и его функциональные возможности [14].

Кроме того, значительные усилия были направлены на создание имплантатов из инновационных материалов. Например, титановые сплавы, обладающие высокой прочностью и устойчивостью к износу, были использованы для создания компонентов, подвергающихся наибольшей нагрузке. В свою очередь, высококачественные пластики и полимеры применялись для создания более гибких и биосовместимых элементов, что снижало риск отторжения имплантатов и улучшало их интеграцию с окружающими тканями.

Однако, создание самих имплантатов – это лишь часть работы. Важным направлением также было совершенствование хирургических техник, которые позволяли минимизировать травматизм при установке имплантатов. Хирурги,



Рис. 5. Роботизированная система Мако для операций по замене суставов от компании Stryker.

такие как А.А. Лимберг, В.М. Мыш, и П.И. Тихов предложили новые методы установки, которые способствовали снижению риска осложнений и более быстрому восстановлению пациентов после операции. Они внедрили улучшенные методы фиксации имплантатов, что обеспечивало долгосрочную стабильность и предотвращало повторное повреждение сустава. Операции становились более точными, а приживаемость имплантатов – стабильной. [14]

В 1966 г. Н.А. Плотников и А.М. Ткаченко предложили для восстановления подвижности нижней челюсти и ее удлинения использовать ортотопический аллотрансплантат ветви с головкой нижней челюсти, консервированной методом лиофилизации. После остеотомии ветви челюсти и удаления костного конгломерата проводилось формирование ямки в верхнем отделе костного конгломерата на уровне ее естественного расположения. Пересадка суставного конца осуществлялась вместе с частью ветви или тела в зависимости от степени выраженности микрогении. Этот метод позволял сформировать сустав на месте его естественного расположения, обеспечивал устранение микрогении, и снижал долю рецидива анкилоза. Позже А.А. Никитин предложил при фиброзных анкилозах использовать лиофилизированный аллогенный полусустав с включением нижнего отдела сустава с суставным диском. Для устранения костных и особенно рецидивирующих анкилозов он рекомендовал производить пересадку полного сустава, содержащего суставную ямку с частью височной кости и суставным покрытием, головку нижней челюсти, суставной диск, капсулу и интракапсулярные связки [14]. В 1981 г. за разработку и внедрение в клиническую практику метода ортотопической аллотрансплантации при дефектах и деформациях нижней челюсти и ВНЧС А.А. Никитин в составе

авторского коллектива удостоен звания лауреата Государственной премии СССР, отмечен серебряной и бронзовой медалями ВДНХ, почетным знаком «Изобретатель СССР».

Важным этапом стало использование инновационных технологий, таких как CAD/CAM системы и 3D-печать, которые значительно улучшили точность разработки и изготовления индивидуальных имплантатов для пациентов. Эти технологии позволяют создавать имплантаты, которые идеально соответствуют анатомическим особенностям конкретного пациента, что в свою очередь снижает количество послеоперационных осложнений и ускоряет процесс восстановления. Современные методы 3D-моделирования позволяют точно воспроизводить форму и размеры суставов пациента, что повышает эффективность лечения и снижает риск отторжения имплантатов [10].

Что касается диагностики заболеваний ВНЧС, отечественные ученые также внесли значительный вклад в совершенствование диагностических технологий. Ведущие специалисты разработали новые методики, такие как улучшенные рентгенологические исследования и методы магнитно-резонансной томографии (МРТ), которые позволяли точно оценивать состояние сустава и проводить более точное планирование операции. Эти достижения сделали возможным более точное и своевременное вмешательство, что сыграло важную роль в повышении эффективности лечения и предотвращении осложнений [14].

Вклад отечественных ученых также заключался в разработке комбинированных подходов к лечению заболеваний ВНЧС, включающих как консервативные методы (медикаментозное лечение, физиотерапия), так и более радикальные способы вмешательства, такие как эндопротезирование. Эта многогранная работа позволила создать комплексный подход к лечению заболеваний ВНЧС, обеспечивая лучший прогноз для пациентов и минимизацию рисков.

По данным наших исследований (Епифанов С.А. и соавт., 2014), наиболее оптимально обособленным является использование тотального эндопротеза ВНЧС с металлическим компонентом в области мышечкового отростка нижней челюсти, созданным из титана высокой степени очистки, в сочетании с ответной частью из полиэтилена ультравысокой плотности, которая фиксируется в области суставной ямки и суставного бугорка височной кости. Указанные

компоненты могут быть стандартными или изготовленными индивидуально [13;16]. Преимущества индивидуально изготовленных имплантатов заключаются в индивидуальной адаптации, где каждый имплантат разрабатывается с учетом анатомических особенностей пациента, что позволяет достичь лучшей совместимости и функциональности. Это, в свою очередь, обеспечивает функциональную эффективность, поскольку точное соответствие анатомии пациента может улучшить жевательную функцию и снизить нагрузку на соседние зубы и суставы. Также следует отметить снижение боли и дискомфорта, так как правильно подобранный и изготовленный имплантат значительно уменьшает болевые ощущения и дискомфорт, связанные с этиологической причиной проведения тотального эндопротезирования ВНЧС. Кроме того, индивидуальные имплантаты способствуют снижению риска осложнений, поскольку точные измерения и учет индивидуальных особенностей минимизируют вероятность развития осложнений и отторжения имплантата в послеоперационном периоде. Наконец, исследования показывают, что индивидуальные имплантаты обеспечивают более долгосрочные результаты по сравнению со стандартными решениями, что, в свою очередь, уменьшает необходимость в повторных операциях.

Таким образом, разработки отечественных ученых в области эндопротезирования ВНЧС, начиная от создания имплантатов и инновационных материалов до внедрения новых хирургических методик и технологий, сыграли ключевую роль в улучшении лечения заболеваний ВНЧС в России и в мире. Разработки отечественных ученых в области тотального эндопротезирования ВНЧС активно используются в международной практике.

Будущее эндопротезирования ВНЧС связано с развитием новых биосовместимых материалов, инновационными технологиями 3D-печати и роботизированных систем. Исследования, проведенные Smith, L. et al., предсказывают, что в ближайшие десятилетия технологии, использующие искусственный интеллект и биопринтинг, смогут значительно повысить точность и успешность операций. Это откроет новые возможности для применения эндопротезирования в лечении более широкого спектра заболеваний, включая ранние стадии дегенеративных заболеваний и травм [11].

Биопринтинг – это одна из самых перспективных технологий в совре-

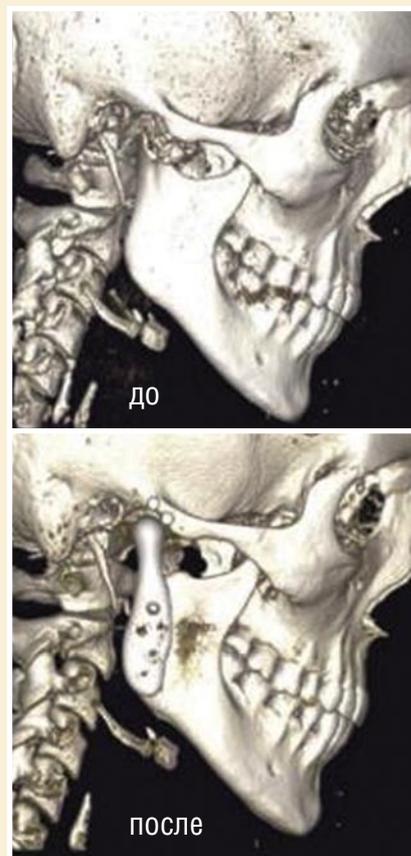


Рис. 6. КТ пациента до и через 36 месяцев после тотального эндопротезирования правого ВНЧС.

менной медицине, которая активно используется в области регенеративной медицины и ортопедической хирургии, включая эндопротезирование суставов, таких как ВНЧС.

Эта технология позволяет создавать трехмерные структуры, которые могут быть использованы для замены поврежденных тканей или для создания полностью функциональных имплантатов. Биопринтинг включает в себя использование живых клеток и биосовместимых материалов, что позволяет создавать имплантаты, которые не только обладают высокими механическими свойствами, но и интегрируются с тканями пациента, минимизируя риск отторжения.

Процесс биопринтинга включает создание трехмерных моделей анатомических структур на основе данных, полученных с помощью высокоточных методов визуализации. Затем с помощью специальных принтеров слои биоматериалов, содержащих клетки, наносятся друг на друга, создавая структуру, которая идеально соответствует анатомии пациента.

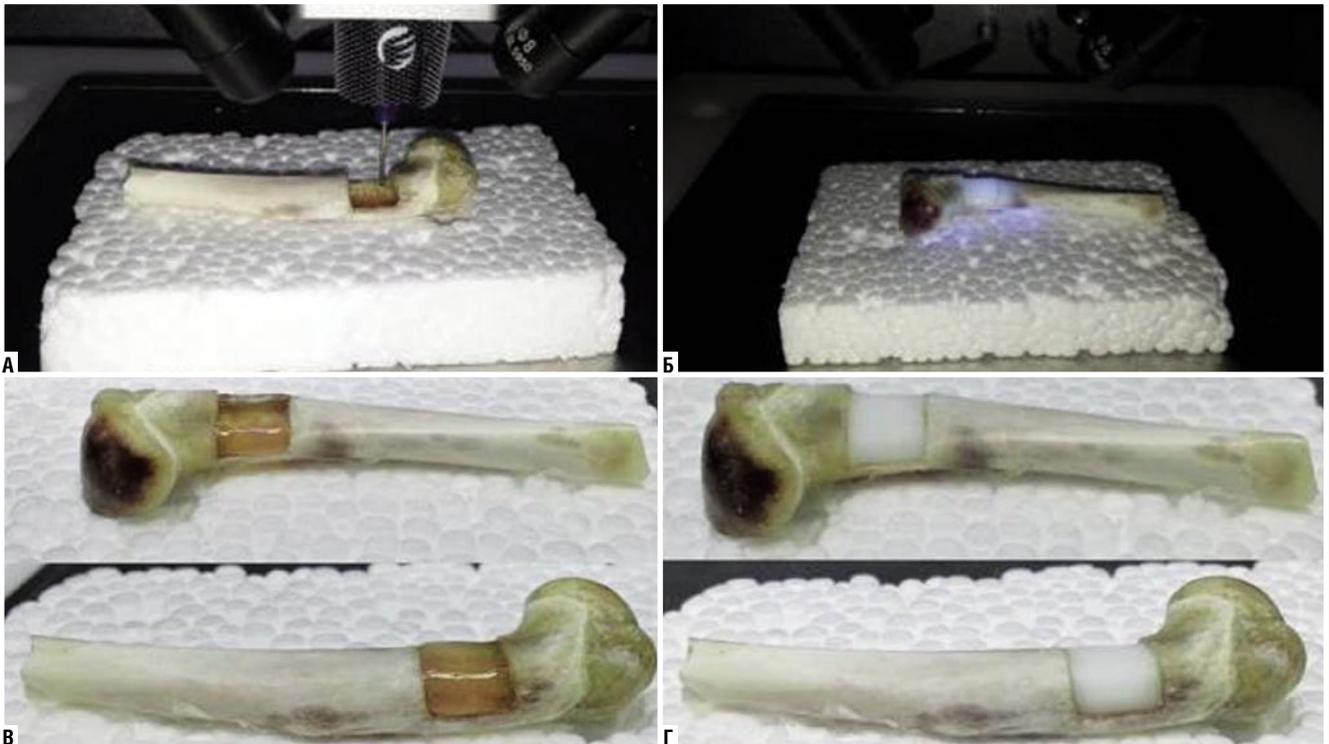


Рис. 7. Процесс 3D-биопечати и фотополимеризации на дефекте кости. А – восстановление дефекта кости с помощью 3D-биопечати *in situ* с альгинатным гидрогелем. Б – воздействие УФ-излучения. В – альгинатный гидрогель, который был напечатан для восстановления дефекта кости, был прозрачным до фотополимеризации. Г – цвет альгинатного гидрогеля стал молочно-белым после воздействия УФ-излучения в течение нескольких секунд. Дефект кости был восстановлен идеально [9; 11].

Одним из основных преимуществ биопринтинга является возможность использования аутологических клеток. Это значительно снижает вероятность иммунного ответа и отторжения имплантата. В отличие от традиционных металлических или пластиковых имплантатов, биопринтированные структуры могут быть интегрированы в ткани, что ускоряет процесс восстановления и уменьшает количество осложнений [11].

Современные исследования в области биопринтинга для ВНЧС сосредоточены на создании хрящевых и костных компонентов сустава, а также на разработке функциональных материалов, которые могли бы имитировать механические свойства естественного сустава. Основные направления включают:

1. Хрящевые имплантаты/ Разработка хрящевых имплантатов, способных заменять поврежденные участки ВНЧС, является важным шагом в биопринтинге. Хрящ – это ткань, которая не имеет собственной способности к регенерации, поэтому биопринтинг позволяет создавать имплантаты, которые могут восполнять дефицит ткани и восстанавливать суставную поверхность.

Отечественными специалистами (Епифанов С.А. и соавт.) предложена методика создания аутогенных носителей тканевых микрографтов или скаффолдов, основанная на взаимодействии фибрина и структур аутоклеточного хрящевого имплантируемого материала. Данная методика позволяет получить стабильный ступок клеток необходимой прочности и объема для его использования в качестве аутоотрансплантата, а так же моделировать его в процессе имплантации. Уплотнение матричного геля значительно стимулирует прикрепление тканевых микрографтов к поверхности скаффолда и способствует формообразованию, моделируемому непосредственно на операционном столе [17].

2. Костные имплантаты. Совсем недавно ученые начали разрабатывать костные имплантаты, которые могут восстанавливать поврежденные кости сустава. Материалы для таких имплантатов включают биоразлагаемые полимеры и керамические материалы, которые обладают хорошими механическими свойствами и могут взаимодействовать с костной

тканью. Принтинг таких имплантатов с клеточными структурами позволяет ускорить процесс заживления и интеграции с тканями пациента.

3. Многоуровневые структуры. В некоторых случаях для более сложных случаев требуется создание многоуровневых имплантатов, которые включают различные типы тканей. Например, для восстановления полностью функционирующего ВНЧС могут потребоваться как костные, так и хрящевые компоненты. Биопринтинг позволяет создавать такие многоуровневые структуры, что дает возможность восстановить все компоненты сустава одновременно.

Несмотря на существующие проблемы, биопринтинг имеет огромный потенциал в будущем. Прогнозируется, что с развитием технологий и улучшением методов печати биопринтинг станет неотъемлемой частью медицинской практики, позволяя создавать не только имплантаты для ВНЧС, но и для других суставов, а также для лечения повреждений мягких тканей и хрящей. Ученые надеются, что в ближайшие десятилетия технология биопринтинга позволит создать имплантаты, которые не только

будут иметь высокие механические характеристики, но и смогут активно взаимодействовать с организмом пациента, восстанавливая не только функциональность сустава, но и его биологическую активность.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Schwartz L. Historical references to TMJ pathologies in ancient manuscripts. *Journal of Maxillofacial Research*. 1998; 32(3): 215-222.
- Holmes C. Description of joint diseases and treatment methods. Paris: Medical Heritage Press, 1597. P.45-60.
- Perry HT. Temporomandibular joint dysfunction: from Costen to the present. *Ann Acad Med Singap*. 1995; 24(1): 163-7.
- Wesolowski SA, Martinez A. The use of silicone in TMJ surgery: materials and results. Dow Corning Medical Publication, 1966. P.50-72.
- Cook J. Polymers in TMJ arthroplasty: advantages and limitations. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1972; 30(2): 178-190.
- Bronstein HE. Proplasty and TMJ reconstruction: a critical analysis. *Oral Health Journal*. 1987; 15(4): 88-95.
- Eriksson L., Westesson PL. TMJ disc implants and Results: 5-year X-ray follow-up. *Journal of Oral Surgery*. 1992; 50(5): 312-319.
- Henry S, Wolford L. Radiological changes in TMJ implants after 5 years of use. *Journal of Maxillofacial Surgery*. 1992; 51(1): 12-18.
- Li, Lan Y, Fei S, Jianping S, et al. In situ repair of bone and cartilage defects using 3D scanning and 3D printing. *Scientific Reports*. 2017; 7. doi: 10.1038/s41598-017-10060-3.
- Epifanov S, Ruidel D. Total temporomandibular joint replacement with use of custom 3-D printed TMJ prosthetics. *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction*. 2020; 13(3): 19.
- Smith L, Robinson P. Bioprinting in medicine: The future of temporomandibular joint prosthetics. *Journal of Medical Innovations*. 2022; 37(2): 45-51.
- Lewis D, Turner M, Clark J. Robotic-assisted temporomandibular joint replacement surgery: A review of the latest innovations. *Journal of Robotic Surgery*. 2017; 11(2): 67-73.
- Епифанов С.А., Поляков А.П., Скуредин В.Д. Протезирование височно-нижнечелюстного сустава // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. – 2014. – Т.9. – №4 – С.17-22. [Epifanov SA, Poliakov AP, Skuredin VD. Tmj prosthesis. *Vestnik Natsionalnogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*. 2014; 9(4): 17-22. (In Russ.)]
- Сысолятин П.Г., Сысолятин С.П., Байдик О.Д., Ильенок О.В. История развития хирургии височно-нижнечелюстного сустава // Бюллетень сибирской медицины. – 2016. – №15(2). – С.98-111. [Sysolyatin PG, Sysolyatin SP, Baidik OD, Ilyenok OV. History of the development of temporomandibular joint surgery. *Bulletin of Siberian medicine*. 2016; 5(2): 98-111. (In Russ.)]
- Епифанов С.А., Скуредин В.Д. Эволюция тотального эндопротезирования височно-нижнечелюстного сустава // Вестник На-
- ционального медикохирургического центра им. Н.И. Пирогова. – 2018. – Т.13. – №2. – С.141-145. [Epifanov SA, Skuredin VD. The evolution of total endoprosthesis of the temporomandibular joint. *Vestnik Natsionalnogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*. 2018; 13(2): 141-145. (In Russ.)]
- Епифанов С.А. Заболевания височно-нижнечелюстного сустава – междисциплинарная проблема: переосмысление устоявшихся понятий в практике врача – челюстно-лицевого хирурга // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. – 2020. – Т.15. – №3. – Ч.2. – С.102-105. [Epifanov SA. Disorders of the temporomandibular joint – it's an interdisciplinary problem: rethinking established concepts in the practice of a maxillofacial surgeon. *Vestnik Natsionalnogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*. 2020; 15(3 part 2): 102-105. (In Russ.)]
- Епифанов С.А., Матвеев С.А., Крайнюков П.Е. и др. Аутогенные фибриновые матрицы: перспективы использования в хирургии // Гены и клетки. – 2021. – Т.16. – №2. – С.71-74. [Epifanov SA, Matveev SA, Kraynyukov PE, et al. Autogenic fibrin matrices: prospects for use in surgery. *Genes and cells*. 2021; 16(2): 71-74. (In Russ.)]