

Научная статья  
УДК 617-089.844  
doi: 10.17223/7783494/1/5

## Хирургическая реабилитация больных с нижнечелюстными дефектами с использованием материалов с памятью формы

Андрей Анатольевич Радкевич<sup>1</sup>, Екатерина Сергеевна Марченко<sup>2</sup>, Арина Андреевна Шишелова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия

<sup>2,3</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>1</sup> radkevich.andrey@yandex.ru

<sup>2</sup> 89138641814@mail.ru

<sup>3</sup> arina.sh9906@gmail.com

**Аннотация.** Представлено применение эндопротезов на основе никелида титана в хирургическом устранении нижнечелюстных дефектов различного размера, конфигурации и этиологии на 72 больных от 7 до 76 лет. У 88,9% больных удалось достичь первичного заживления ран без повторного эндопротезирования. Установлено, что индивидуальные нижнечелюстные эндопротезы на основе никелида титана после помещения в зону дефекта длительно функционируют в организме, обеспечивая полноценное восстановление функциональных возможностей зубочелюстного аппарата.

**Ключевые слова:** никелид титана, сплавы с памятью формы, эндопротезирование нижней челюсти, челюстно-лицевая хирургия

**Благодарности:** работа выполнена в рамках проекта Госзадание Минобрнауки России проект № FSWM-2022-0022.

**Для цитирования:** Радкевич А.А., Марченко Е.С., Шишелова А.А. Хирургическая реабилитация больных с нижнечелюстными дефектами с использованием материалов с памятью формы // Технологии безопасности жизнедеятельности. 2023. № 1. С. 24–33. doi: 10.17223/7783494/1/5

Original article  
doi: 10.17223/7783494/1/5

## Surgical rehabilitation of patients with mandibular defects using shape memory materials

Andrey A. Radkevich<sup>1</sup>, Ekaterina S. Marchenko<sup>2</sup>, Arina A. Shishelova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Krasnoyarsk State Medical University named after prof. V.F. Voyno-Yasenetsky, Krasnoyarsk, Russian Federation

<sup>2,3</sup> National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

<sup>1</sup> radkevich.andrey@yandex.ru

<sup>2</sup> 89138641814@mail.ru

<sup>3</sup> arina.sh9906@gmail.com

**Abstract.** To compensate for the missing parts of the mandibular bone, endoprostheses are widely used, made mainly of titanium of various grades or other metallic and non-metallic materials that do not have viscoelastic properties. The elastic properties of such materials are at least 20 times lower than compact bone tissue. Such structures in the body are either rejected or behave like foreign bodies with negative consequences. Alloys based on titanium nickelide can solve this problem. Due to their unique properties, they are able to deform and restore their original shape during loading and unloading, like living bone and soft tissues. The aim of the study is to improve the effectiveness of surgical rehabilitation of patients with mandibular defects of various etiologies based on the development and application of new medical technologies using shape memory materials. With the use of medical materials developed at the Research Institute and implants with shape memory of mandibular endoprostheses made with the consideration of the individual characteristics of defects, on the basis of porous, nonporous and textile titanium nickelide, surgical treatment was performed in 72 patients, persons of both sexes, aged 7 to 76 years, with pathology of the temporomandibular joint, inflammatory changes, traumatic injuries, tumor and tumor-like conditions, anomalies of the mandibular bone from intraoral or extraoral accesses without immobilization of the lower jaw with the use of fixing structures in the form of titanium nickelide staples with shape memory effect. The use of titanium nickelide-based endoprostheses in the surgical removal of mandibular defects of various sizes, configurations and etiology helped to obtain satisfactory results in all operated patients. 64 (88.9%) patients received primary wound healing, in 6 cases the wounds healed a second time, in 3 cases repeated endoprosthetics were required. **Conclusion.** Due to the biocompatibility of titanium nickelide with body tissues, individual mandibular endoprostheses based on it, after being placed in the defect zone, function for a long time in the body, ensuring full restoration of the functional capabilities of the dental apparatus and minimizing all types of complications inherent in this type of intervention.

**Keywords:** titanium nickelide, shape memory alloys, mandibular arthroplasty, maxillofacial surgery

**Acknowledgments:** This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project No. FSWM-2020-0022.

**For citation:** Radkevich, A.A., Marchenko, E.S. & Shishelova, A.A. (2023) Surgical rehabilitation of patients with mandibular defects using shape memory materials. *Tekhnologii bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti – Life Safety / Security Technologies*. 1. pp. 24–33. doi: 10.17223/7783494/1/5 (In Russian).

### Введение

Дефекты нижнечелюстной кости, характеризующиеся нарушением ее непрерывности, возникают в результате воспалительных изменений, переломов неогнестрельного и огнестрельного происхождения и их осложнений, опухолевых и опухолеподобных состояний, деструктивных и продуктивных изменений нижнечелюстной головки при патологии височно-нижнечелюстного сочленения, в том числе и после оперативного извлечения последней, а также могут иметь врожденный генез. Неустранение таких дефектов ведет к нарушениям конфигурации вплоть до обезображивания лица, расстройствам функции жевания, глотания, дыхания и речи, возникновению деформаций зубных рядов и других костей лицевого скелета.

В целях устранения нижнечелюстных дефектов в практической челюстно-лицевой хирургии используют трансплантационные и имплантационные конструкции и материалы. Ксеногенные и аллогенные нижнечелюстные трансплантаты в настоящее время, за редким исключением [21, 25, 28], не применяются, несмотря на преимущество последних перед аутоотрансплантатами в виде близости формы и размеров в соответствии с изъяном, отсутствие необходимости операционной травмы, в силу их резорбции после помещения в зону дефекта или отторжения, связанного с пересадкой трупного материала, необходимостью консервации, а также химической и температурной обработки, зачастую нарушающих их внутреннюю структуру. Недостатками аутоотрансплантации, помимо сложности придания необходимых размеров и конфигурации, следует считать необходимость нанесения дополнительной операционной травмы, связанной с забором материала. Кроме того, после свободной пересадки такие трансплантаты подвергаются остеокластической резорбции, так как через 2 ч после их обескровливания наступает гибель остецитов в их толще, что, несомненно, отрицательно сказывается на конечном результате операции.

В настоящее время большая часть зарубежных и отечественных специалистов использует в качестве трансплантатов комбинации лопаточных, подвздошных или берцовых костных материалов с окружающим их мягкотканым компонентом в сочетании с микрохирургической техникой, а также титановыми небюсовместимыми фиксирующими конструкциями [15, 17, 23, 24]. Данные методики являются дорогостоящими, требуют больших временных затрат, не лишены вышеописанных недостатков, высокотрав-

матичны, оставляют значительные неизгладимые изъязвы на теле пациентов, ведущие к функциональным нарушениям организма, не исключены и некротические изменения пересаженных тканей, обусловленные тромбозом (особенно венозных сосудов) в ближайшем послеоперационном периоде.

Исходя из изложенного, многие хирурги для возмещения отсутствующих частей нижнечелюстной кости стали применять эндопротезы, изготовленные в основном из титана различных марок или других металлических и неметаллических материалов, не обладающих свойствами вязкоупругости, обусловленными мартенситными превращениями в условиях знакопеременной деформации в процессе функционирования зубочелюстного аппарата [16, 18–20, 22, 26, 27]. Известно, что такие имплантационные материалы не являются биосовместимыми с тканями организма, так как их эластические свойства как минимум в 20 раз ниже компактной костной ткани [12]. Подобные конструкции в организме либо отторгаются, либо ведут себя как инородные тела со всеми вытекающими негативными последствиями.

В течение последних двух десятилетий в нашей стране в медицине широкое распространение получили биосовместимые пористые и непористые сверхэластичные материалы и имплантаты с памятью формы на основе никелида титана [12]. Эти имплантаты после помещения в тканевые дефекты не отторгаются, а биологические ткани врастают в их пористую структуру с образованием единого функционирующего с имплантационным материалом органотипичного регенерата, благодаря уникальным свойствам деформироваться и восстанавливать исходную форму при нагрузке и разгрузке подобно живым костным и мягким тканям. Данное обстоятельство позволило с высокой степенью эффективности применять указанные имплантаты для замещения утраченных тканей и органов в различных отраслях реконструктивной хирургии [1–5, 7–10], в том числе в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии [6, 11, 13].

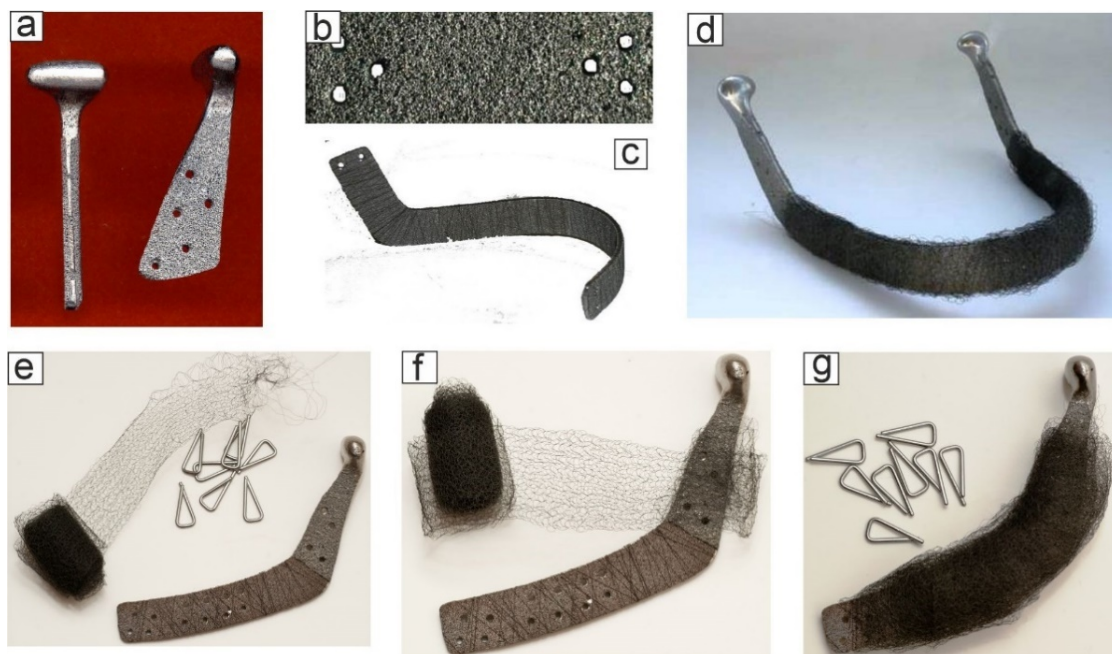
**Цель работы.** Повышение эффективности хирургической реабилитации больных с нижнечелюстными дефектами различной этиологии на основе разработки и применения новых медицинских технологий с использованием материалов с памятью формы.

### Материалы и методы исследования

Нижнечелюстные дефекты (ветви, включающие нижнечелюстную головку или без таковой, угла, тела, имеющие различные комбинации перечисленно-

го) замещали с помощью эндопротезов, разработанных в НИИ медицинских материалов и имплантатов с памятью формы (г. Томск) на основе пористого, непористого и текстильного никелида титана. Эндопротезы изготавливали с учетом индивидуальных особенностей конфигурации изъяна, используя литографические модели нижней челюсти и средней зоны лицевого черепа пациентов. Каркас эндопротеза состоит из никелид-титановой пластины марки ТН-10 длиной несколько большей протяженности дефекта с учетом фиксации к сохранившейся части нижнечелюстной кости, шириной 15–25 мм, толщиной 1,5 мм, с наружной и внутренней стороны которой фиксированы пластины никелида титана, толщиной 2,0 мм со сквозной пористостью 55–60%, коэффициентом проницаемости в интервале  $2 \times 10^{-13}$ – $3 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup> и следующим распределением пор по раз-

меру:  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  мкм – 2%,  $10^{-1}$ – $10^1$  мкм – 6%,  $10^1$ – $10^2$  мкм – 25%,  $10^2$ – $4 \times 10^2$  мкм – 45%, свыше  $4 \times 10^2$  мкм – остальное. В случаях необходимости замещения нижнечелюстной головки данный эндопротез изготавливают с соответствующим утолщением пористого материала на конце и поверхностной зашлифовкой пористости со всех сторон. В целях устранения острых краев и прорезывания эндопротеза после установки в зону дефекта в процессе функционирования зубочелюстного аппарата, а также обеспечения большей гармонии взаимодействия последнего с реципиентными тканями пористую часть конструкции покрывали тонкопрофильным текстильным никелидом титана, изготовленным из нити толщиной 40–50 мкм путем двойного или тройного плетения, ширина ячейки которого составляет  $1 \times 1$ – $3 \times 3$  мм [14] (рис. 1).



**Рис. 1.** Варианты эндопротезов нижней челюсти на основе пористого никелида титана: *a* – задней части ветви, включающий головку; *b* – частичный тела; *c* – частичный ветви, угла и тела, включающий подбородочную часть; *d* – полный; *e*–*g* – частичный ветви, угла и тела в комбинации с текстильным никелидом титана

**Fig. 1.** Variants of mandibular endoprostheses made of porous titanium nickelide: *a* – the back of the branch, including the head; *b* – partial body; *c* – partial branch, angle and body, including the chin part; *d* – complete; *e*–*g* – partial branch, angle and body in combination with textile titanium nickelide

**Техника операции.** После доступа к очагу поражения со стороны ротовой полости или из зачелюстной, поднижнечелюстной, подподбородочной областей либо путем использования их комбинаций обнажали зону дефекта или патологически измененную часть нижней челюсти, последнюю резецировали. В случаях замещения нижнечелюстной головки у больных с патологией височно-нижнечелюстного сустава выполняли остеотомию ветви от вырезки по направлению к середине заднего края выше проекции нижнечелюстного

отверстия, затем извлекали задний остеотомированный фрагмент. Если в результате удаления патологических тканей образовывалась сквозная рана, то ее ушивали наглухо в 2–3 слоя. Далее образовывали декортицированную наружную поверхность со стороны остеотомированного края сохраненного/ых фрагментов челюсти, соответствующую наложению части замещающей конструкции, необходимой для ее фиксации, после чего устанавливали эндопротез в зону дефекта (при отсроченных вмешательствах выполняли предвари-

тельную репозицию фрагментов). Для восполнения нижнечелюстной головки аналогичную часть эндопротеза устанавливали в подвисочную позицию, культю латеральной крыловидной мышцы фиксировали к шейке искусственной головки. Фиксацию эндопротеза осуществляли при помощи фиксирующих устройств из никелида титана в виде скоб, обладающих эффектом памяти формы (рис. 2) [11]. Рану послойно ушивали с наружным дренированием.

Согласно разработанной технологии выполнено хирургическое лечение 72 больных в возрасте от 7 до 76 лет с различными патологическими состояниями нижней челюсти, приведшими к возникновению костных дефектов, включающими воспалительные процессы, травматические повреждения и их осложнения, опухолевые и опухолеподобные состояния, аномалии и патологию височно-нижнечелюстных суставов (таблица).



Рис. 2. Фиксирующие конструкции из никелида титана с памятью формы

Fig. 2. Fixing structures made of titanium nickelide with shape memory

**Количественное распределение больных с патологией нижней челюсти  
в зависимости от нозологии и возраста (n = 72)**

| Группа больных | Нозологическая форма                                                     | Возраст, лет | Количество больных |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|
| 1              | Височно-нижнечелюстные остеоартрозо-артриты                              | 25–76        | 12                 |
| 2              | Височно-нижнечелюстные деформирующие остеоартрозы                        | 34–75        | 6                  |
| 3              | Височно-нижнечелюстные анкилозы                                          | 7–18         | 9                  |
| 4              | Остеомиелиты различной этиологии                                         | 16–74        | 5                  |
| 5              | Травматические повреждения нижнечелюстной головки                        | 18–47        | 4                  |
| 6              | Опухолеподобные состояния                                                | 13–48        | 5                  |
| 7              | Доброкачественные новообразования                                        | 17–68        | 19                 |
| 8              | Злокачественные новообразования                                          | 56–73        | 10                 |
| 9              | Аномалии ветви и нижнечелюстной головки, включающие вторичные деформации | 16–25        | 3                  |
| Всего          |                                                                          | 7–76         | 73*                |

\* Несоответствие количественной характеристики больных итоговому значению связано с имеющейся в одном случае сочетанной патологией.

Из 34 больных 1–3, 5 и 9-й групп одностороннее замещение нижнечелюстной головки выполнено у 25, двустороннее, в основном с височно-нижнечелюстными анкилозами, – у 9. В 4-й группе в одном случае замещение ветви и угла, включая нижнечелюстную головку, осуществлено по поводу приобретенного дефекта в результате гематогенного

остеомиелита, перенесенного в раннем детском возрасте, угла и тела у одного пациента – в результате хронического одонтогенного, у остальных – травматического остеомиелита. 5-я группа больных характеризовалась наличием переломов собственно нижнечелюстной головки или оскольчатого перелома мышечкового отростка нижней челюсти, а также

функциональной несостоятельностью малого отломка после репозиции. Опухолеподобные состояния в основном были представлены фиброзной дисплазией, кистозными поражениями нижнечелюстной головки, радикулярными кистами, распространяющиеся в зоны ветви, угла и тела челюсти до подбородочного отдела, а также деструкцией вышеописанной локализации, обусловленной гиперпаратиреозом. Группа доброкачественных новообразований включала большую часть амелобластом, в меньшем количестве губчатые остеомы, гигантоклеточную опухоль, миксофибром. Злокачественные процессы выявлялись в виде первичного и вторичного рака и остеогенной саркомы. Замещение нижнечелюстной головки осуществляли непосредственно после извлечения остеотомированного фрагмента. У 20 больных 4, 7 и 8-й групп было выполнено непосредственное замещение изъёма, в остальных 14 случаях (8 пациентов со злокачественными и 4 с доброкачественными новообразованиями) проведено отсроченное эндопротезирование. Показаниями к отсроченному возмещению дефектов служили признаки нагноения и недостаточность временных резервов для индивидуального изготовления замещающей конструкции. Относительным противопоказанием к первичному эндопротезированию следует считать злокачественные опухолевые процессы.

Особенностью послеоперационного ведения больных являлось отсутствие необходимости иммобилизации нижней челюсти, что способствовало ранней функциональной нагрузке.

После заживления ран и устранения явлений отека мягких тканей челюстно-лицевой области в зависимости от показаний в целях замещения дефектов зубных рядов больным изготавливали зубочелюстные протезы, опирающиеся на эндопротез, ткани протезного ложа, прилегающие к верхнему краю последнего и оставшуюся часть челюсти и нижнего зубного ряда. Базисы таких протезов формировали из литейного стоматологического сплава «Титанид», обладающего свойствами биосовместимости и сверхэластичности, что предупреждало атрофию опорных тканей в процессе пользования [6].

Результаты хирургических лечебных мероприятий оценивали в ближайшем послеоперационном периоде и в отдаленные сроки от 12 до 60 мес на основании клиники, рентгенодиагностики в виде ортопантограмм, прямых и боковых рентгенограмм лицевого черепа, компьютерных томограмм лицевого скелета.

### **Результаты исследования**

Наблюдения за больными показали высокую эффективность разработанной технологии. У пациентов после замещения нижнечелюстной головки в связи с

патологией височно-нижнечелюстного сустава во всех случаях выявлялось первичное заживление ран. Спустя 3–4 нед больные могли принимать жесткую пищу. Благодаря устранению отека явлений в подвисочной области к этому сроку восстанавливалось пространственное положение нижней челюсти, о чем свидетельствовало удовлетворительное смыкание зубных рядов, полноценное открывание рта и нормализация боковых движений челюсти.

В других группах (пациенты после восполнения дефектов, включающих угол и тело нижней челюсти,  $n = 38$ ) у 30 человек раны зажили первично. У остальных определялось частичное расхождение швов в проекции замещаемой части тела челюсти. В 2 случаях заживление происходило вторично, вдоль имплантационного материала, в 3 – потребовалась частичная замена текстильной оболочки эндопротеза в проекции разобщения, в 3 – осложнение устранили повторным эндопротезированием.

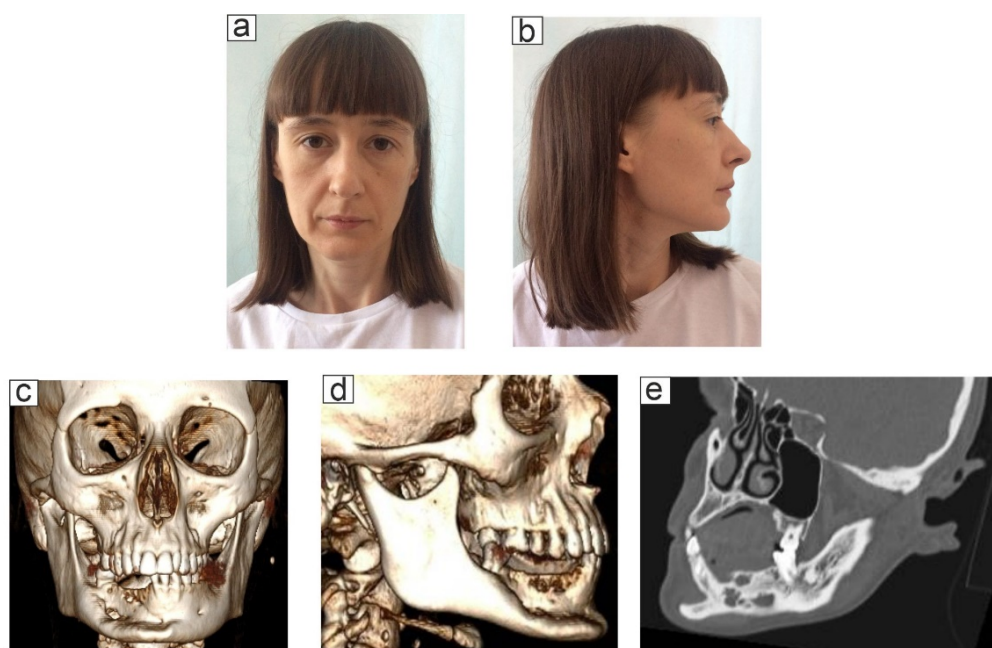
В отдаленные сроки больные жалоб не предъявляли. Во всех случаях удалось достичь нормализации конфигурации лица, удовлетворительного восстановления анатомо-функциональных возможностей зубочелюстного аппарата.

Рентгенологически отмечали отсутствие рецидивов (процедивов) заболеваний, полноценное соединение эндопротезов с реципиентными зонами нижнечелюстных костей. Явлений резорбции костной ткани в зонах фиксации и прилегания установленных конструкций, а также их неудовлетворительного состояния не наблюдали.

В качестве иллюстрации приводим наблюдение.

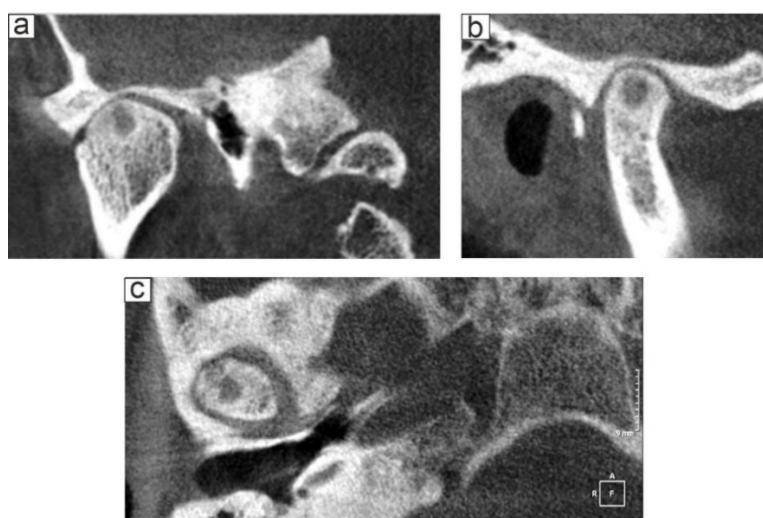
Больная И., 34 года, обратилась по поводу процедуры амелобластомы тела нижней челюсти справа. Из анамнеза: больна в течение 10 лет, ранее трижды оперирована путем выскабливания патологических тканей со стороны полости рта, эффекта не наступило, всякий раз отмечала продолженный рост опухоли (рис. 3). После рентгенологического обследования выявлены деструктивные изменения правой головки нижней челюсти (рис. 4). Выполнена операция – правосторонняя резекция задней части правой ветви, включая нижнечелюстную головку, тела нижней челюсти с сохранением части ветви и угла, эндопротезирование с применением индивидуальных ортотопических конструкций, изготовленных из сплавов на основе никелида титана, согласно разработанной технологии (рис. 5). Послеоперационный период протекал без осложнений, заживление ран – первичное. Через 2 мес был изготовлен зубочелюстной протез с базисом из никелида титана. При осмотре через 3 года больная жалоб не предъявляла, рот открывает в полном объеме, состояние зубочелюстного аппарата удовлетворительное, функциональных нарушений, связанных с выполненной операцией, не определялось. Рентгенологически деструктивных изменений оставшихся частей нижнечелюстной кости не выявлено, состояние эндопротезов удовлетворительное (рис. 6).





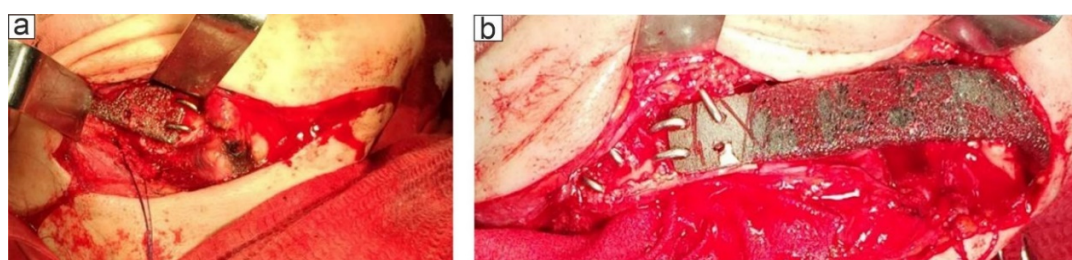
**Рис. 3.** Больная И. до оперативного лечения: *a, d* – внешний вид; *c-e* – рентгенологическая картина

**Fig. 3.** Patient I. before surgical treatment: *a, d* – appearance; *c-e* – X-ray picture



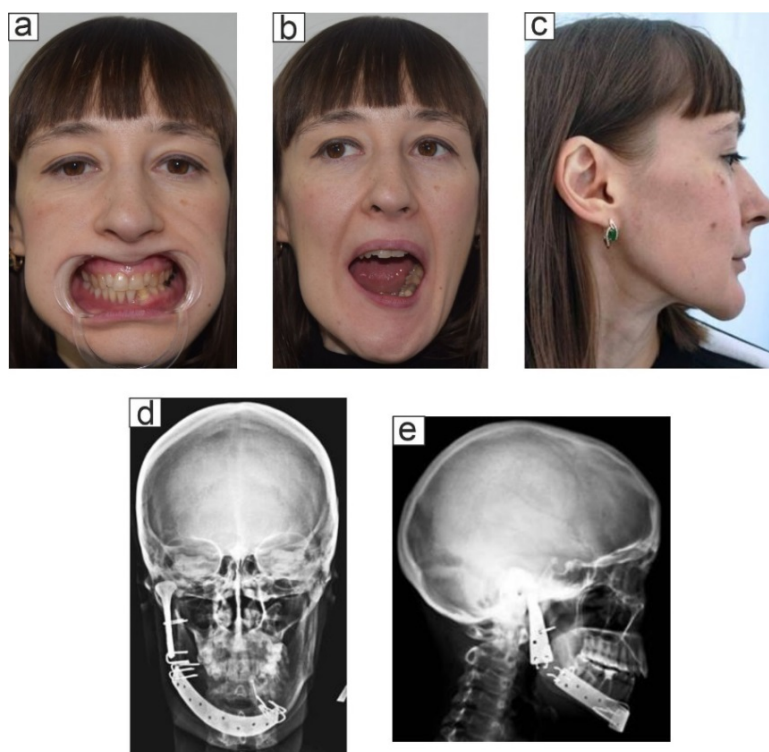
**Рис. 4.** Рентгенологическая картина состояния правой нижнечелюстной головки больной И.:  
*a* – прямая проекция, *b* – латеральная проекция, *c* – фронтальная проекция

**Fig. 4.** X-ray picture of the state of the right mandibular head of patient I.:  
*a* – direct projection, *b* – lateral projection, *c* – frontal projection



**Рис. 5.** Больная И.: *a* – состояние операционной раны после замещения нижнечелюстной головки;  
*b* – состояние операционной раны после замещения тела нижней челюсти

**Fig. 5.** Patient I.: *a* – condition of the surgical wound after replacement of the mandibular head;  
*b* – the state of the surgical wound after replacing the body of the lower jaw



**Рис. 6.** Больная И. через 3 года после оперативного лечения:  
a–c – внешний вид; d, e – рентгенологическая картина

**Fig. 6.** Patient I. 3 years after surgical treatment: a–c – appearance; d, e – X-ray picture

### Заключение

Применение комбинированных эндопротезов из никелида титана позволяет с высокой степенью эффективности устранять дефекты нижнечелюстной кости различной этиологии, размеров и конфигурации. Благодаря биосовместимости никелида титана с тканями организма такие эндопротезы не отторгаются, а соединительные ткани со стороны реципиентных областей прорастают сквозь их пористую и сетчатую структуру, образуя единый с имплантационным материалом соединительнотканый регенерат, что способствует гармоничному взаимодействию имплантируемой системы в процессе функционирования. Внутренняя монолитная часть обеспечивает прочностные свойства конструкции. Текстильное никелид-титановое покрытие основной части конструкции, за исключением нижнечелюстной головки, предотвращает прорезывание эндопротеза сквозь слизистую оболочку ротовой полости и кожные покровы зачелюстной, поднижнечелюстной, подбородочной и подподбородочной областей, толщина данного покрытия (т.е. количество слоев) определяется необходимостью компенсации объема потерянного мягкотканного компонента для нормализации конфигурации лица. Гистерезисное поведение данных эндопротезов в процессе нагрузки и разгрузки подобное биологическим тканям (т.е. много-

кратная подверженность знакопеременной деформации), предотвращает разрушение поверхностных оксидных слоев, препятствующих высвобождению оксидов титана в толщу окружающих тканей.

Фиксирующие никелид-титановые конструкции дают возможность эластической надежной фиксации имплантируемой конструкции, что обеспечивает раннюю функциональную нагрузку, т.е. без иммобилизации нижней челюсти.

Эластическая фиксация в пределах 2% деформации, в отличие от жесткой фиксации, не препятствует капиллярному движению биологических жидкостей в костных структурах и в толще имплантационного материала, тем самым оптимизируя репаративные процессы в зоне вмешательства. Отсутствие пластической деформации фиксирующих элементов в вышеуказанных пределах нагрузки предотвращает последующее смещение эндопротезов за счет мышечной тяги.

Зашлифованная поверхность искусственной нижнечелюстной головки, в совокупности с ранней функциональной нагрузкой, исключает ее сращение с тканями подвисочной области, чем достигается полноценное открывание рта, а удовлетворительное функционирование латеральной крыловидной мышцы, фиксированной к шейке эндопротеза, обеспечивает боковые движения нижней челюсти.

# Список источников

1. Бахаев В.В., Гюнтер В.Э., Дамбаев Г.Ц. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в гинекологии. Т. 6. Томск : МИЦ, 2010. 220 с.
2. Чойнзонов Е.Л., Гюнтер В.Э., Мухаммедов М.Р. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в онкологии. Т. 13. Томск : МИЦ, 2013. 336 с.
3. Запускалов И.В., Гюнтер В.Э., Стеблюк А.Н. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в офтальмологии. Т. 14. Томск : МИЦ, 2012. 192 с.
4. Штофин С.Г., Гюнтер В.Э., Анищенко В.В. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в панкреатобилиарной хирургии. Т. 12. Томск : МИЦ, 2013. 126 с.
5. Ивченко О.А., Гюнтер В.Э., Дамбаев Г.Ц. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в сосудистой хирургии. Т. 10. Томск : МИЦ, 2012. 178 с.
6. Миргазизов М.З., Гюнтер В.Э., Галонский В.Г. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Материалы и имплантаты с памятью формы в стоматологии. Т. 5. Томск : МИЦ, 2011. 220 с.
7. Ланишаков В.А., Гюнтер В.Э., Плоткин Г.Л. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в травматологии и ортопедии. Т. 2. Томск : МИЦ, 2010. 282 с.
8. Шкуратов С.И., Гюнтер В.Э., Дамбаев Г.Ц. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в урологии. Т. 7. Томск : МИЦ, 2009. 248 с.
9. Дамбаев Г.Ц., Гюнтер В.Э., Зиганьшин Р.В. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в хирургии. Т. 11. Томск : МИЦ, 2012. 398 с.
10. Фомичев Н.Г., Гюнтер В.Э., Луцки А.А. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в хирургии позвоночника. Т. 3. Томск : МИЦ, 2011. 374 с.
11. Сысолятин П.Г., Гюнтер В.Э., Сысолятин С.П. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в челюстно-лицевой хирургии. Т. 4. Томск : МИЦ, 2012. 384 с.
12. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Чекалкин Т.Л. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Медицинские материалы с памятью формы. Т. 1. Томск : МИЦ, 2011. 534 с.
13. Звигинцев М.А., Гюнтер В.Э., Старосветский С.И. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Медицинские материалы с памятью формы при стоматологическом лечении больных сахарным диабетом. Т. 8. Томск : МИЦ, 2010. 168 с.
14. Гюнтер С.В., Дамбаев Г.Ц., Гюнтер В.Э. и др. Новые технологии создания медицинских материалов, имплантатов и аппаратов на основе никелида титана с использованием инфракрасного излучения. Томск : МИЦ, 2017. 234 с.
15. Семенов М.Г., Голяна С.И., Михайлов В.В., Афоничев К.А., Филиппова О.В., Степанова Ю.В. Реконструкция нижней челюсти с использованием васкуляризированного костного трансплантата – основной этап комплексной реабилитации ребенка с остеобластокластомой нижней челюсти // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2021. Т. 9, № 4. С. 456–464. DOI: 10.17816/PTORS73184
16. Gorrela H., Alwala A.M., Ramesh K., Tunkimella S., Prakash R., Zainuddinelyashkan Y. Arthroplasty Followed by Distraction Osteogenesis Versus Distraction Osteogenesis Followed by Arthroplasty in the Management of TMJ Ankylosis: A Comparative Study // Journal of Maxillofacial and Oral Surgery. 2021. V. 20. P. 674–679. DOI: 10.1007/s12663-020-01463-3
17. Che W.L., Ye J.T., Yang Z.H., Huang Z.Q., Zhang D.M., Wang K. Reverse facial artery-submental artery mandibular osteomuscular flap for the reconstruction of maxillary defects following the removal of benign tumors // Head & Neck: Journal for the Sciences and Specialties of the Head and Neck. 2009. V. 31(6). P. 725–731. DOI: 10.1002/hed.21025
18. Oldhoff M.G.E., Mirzaali M.J., Tümer N., Zhou J., Zadpoor A.A. Comparison in clinical performance of surgical guides for mandibular surgery and temporomandibular joint implants fabricated by additive manufacturing techniques // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2021. V. 119. P. 104512. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104512
19. Teschke M., Christensen A., Far F., Reich R.H., Naujokat H. Digitally designed, personalized bone cement spacer for staged TMJ and mandibular reconstruction – introduction of a new technique // Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2022. V. 49(10). P. 935–942. DOI: 10.1016/j.jcms.2021.05.002
20. Aquino V.M., Rock J.P., Perry K.D., Barbetta B.T. Functional reconstruction of the glenoid fossa utilizing a pedicled temporal osteomuscular flap // Oral and Maxillofacial Surgery Cases. 2022. V. 8(1). P. 100243. DOI: 10.1016/j.omsc.2022.100243
21. Alfi D.M., Hassan A., East S.M., Gianulis E.C. Immediate Mandibular Reconstruction Using a Cellular Bone Allograft Following Tumor Resection in a Pediatric Patient // Face. 2021. V. 2(4). P. 490–495. DOI: 10.1177/27325016211057287
22. Likhтеров I., Roche A.M., Urken M.L. Contemporary Osseous Reconstruction of the Mandible and the Maxilla // Oral and Maxillofacial Surgery Clinics. 2019. V. 31(1). P. 101–116. DOI: 10.1016/j.coms.2018.08.005
23. Zanine R., Mizouni H., El Korbi A., Beltaief N., Sahtout S., Besbes G. Maxillary bone myxoma // European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases. 2014. V. 131(4). P. 257–259. DOI: 10.1016/j.anorl.2013.04.004
24. Bianchi B., Ferri A., Ferrari S., Copelli C., Sesenna E. Maxillary reconstruction using anterolateral thigh flap and bone grafts // Microsurgery: Official Journal of the International Microsurgical Society and the European Federation of Societies for Microsurgery. 2009. V. 29(6). P. 430–436. DOI: 10.1002/micr.20619
25. Pogrel M.A. The Concept of Stress Shielding in Nonvascularized Bone Grafts of the Mandible – Review of 2 Cases // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2020. V. 79(1). P. 266e1–266e5. DOI: 10.1016/j.joms.2020.09.024
26. Atef M., Mounir M., Shawky M., Mounir S., Gibaly A. Polyetheretherketone patient-specific implants (PPSI) for the reconstruction of two different mandibular contour deformities // Oral and Maxillofacial Surgery. 2022. V. 26(10). P. 299–309. DOI: 10.1007/s10006-021-00984-6
27. Farajpour H., Bastami F., Bohlouli M., Khojasteh A. Reconstruction of bilateral ramus-condyle unit defect using custom titanium prosthesis with preservation of both condyles // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2021. V. 124. P. 104765. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104765



28. Ryu B., Abraham III C., Polido W.D. Treatment of Mandibular Non-union Using Patient Specific Crib Cage Plates and Cellular Bone Allograft: A Case Report // *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction Open*. 2021. V. 6. DOI: 10.1177/247275122111005949

## References

1. Bakhaev, V.V., Gunter, V.E., Dambaev, E.Ts., et al. (2010) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v ginekologii. T. 6* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in gynecology. V. 6]. Tomsk: MIC.
2. Choinzonov, E.L., Gunter, V.E., Mukhammedov, M.R., et al. (2013) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v onkologii. T. 13* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in oncology. V. 13]. Tomsk: MIC.
3. Zapuskalov, I.V., Gunter, V.E., Steblyuk, A.N., et al. (2012) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v oftal'mologii. T. 14* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in ophthalmology. V. 14]. Tomsk: MIC.
4. Shtofin, S.G., Gunter, V.E., Anishchenko, V.V., et al. (2013) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v pankreatobiliarnoy hirurgii. T. 12* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in pancreatobiliary surgery. V. 12]. Tomsk: MIC.
5. Ivchenko, O.A., Gunter, V.E., Dambaev, G.Ts., et al. (2012) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v sosudistoy hirurgii. T. 10* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in vascular surgery. V. 10]. Tomsk: MIC.
6. Mirgazitov, M.Z., Gunter, V.E., Galonsky, V.G., et al. (2011) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Materialy i implantaty s pamyat'yu formy v stomatologii. T. 5* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory materials and implants in dentistry. V. 5]. Tomsk: MIC.
7. Lanshakov, V.A., Gunter, V.E., Plotkin, G.L., et al. (2010) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v travmatologii i ortopedii. T. 2* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in traumatology and orthopedics. V. 2]. Tomsk: MIC.
8. Shkuratov, S.I., Gunter, V.E., Dambaev, G.Ts., et al. (2009) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v urologii. T. 7* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in urology. V. 7]. Tomsk: MIC.
9. Dambaev, G.Ts., Gunter, V.E., Ziganshin, R.V., et al. (2012) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v hirurgii. T. 11* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in surgery. V. 11]. Tomsk: MIC.
10. Fomichev, N.G., Gunter, V.E., Lutsik, A.A., et al. (2011) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v hirurgii pozvonochnika. T. 3* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in spinal surgery. V. 3]. Tomsk: MIC.
11. Sysolyatin, P.G., Gunter, V.E., Sysolyatin, S.P., et al. (2012) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v chelyustno-litsevoj hirurgii. T. 4* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory implants in maxillofacial surgery. V. 4]. Tomsk: MIC.
12. Gunter, V.E., Khodorenko, V.N., Chekalkin, T.L., et al. (2011) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Medicinskie materialy s pamyat'yu formy. T. 1* [Medical materials and shape memory implants. Shape memory medical materials. V. 1]. Tomsk: MIC.
13. Zvigintsev, M.A., Gunter, V.E., Starosvetsky, S.I., et al. (2010) *Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Medicinskie materialy s pamyat'yu formy pri stomatologicheskoy lechenii bol'nykh sakharnym diabetom. T. 8* [Medical materials and shape memory implants. Medical materials with shape memory in the dental treatment of patients with diabetes mellitus. V. 8]. Tomsk: MIC.
14. Gunter, S.V., Dambaev, G.Ts., Gunter, V.E., et al. (2017) *Novye tekhnologii sozdaniya medicinskih materialov, implantatov i apparatov na osnove nikelida titana s ispol'zovaniem infrakrasnogo izlucheniya* [New technologies for creating medical materials, implants and devices based on titanium nickelide using infrared radiation]. Tomsk: MIC.
15. Semenov, M.G., Golyana, S.I., Mikhailov, V.V., Afonichev, K.A., Filippova, O.V. & Stepanova, Yu.V. (2021) Lower jaw reconstruction using a vascularized bone graft is the main stage of complex rehabilitation of a child with lower jaw osteoblastoclastoma. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 9(4) pp. 456–464. DOI: 10.17816/PTORS73184.
16. Gorrela, H., Alwala, A.M., Ramesh, K., Tunkimetla, S., Prakash, R. & Zainuddinlyaskhan, Y. (2021) Arthroplasty Followed by Distraction Osteogenesis Versus Distraction Osteogenesis Followed by Arthroplasty in the Management of TMJ Ankylosis: A Comparative Study. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*. 20. pp. 674–679. DOI: 10.1007/s12663-020-01463-3
17. Che, W.L., Ye, J.T., Yang, Z.H., Huang, Z.Q., Zhang, D.M. & Wang, K. (2009) Reverse facial artery-submental artery mandibular osteomuscular flap for the reconstruction of maxillary defects following the removal of benign tumors. *Head & Neck: Journal for the Sciences and Specialties of the Head and Neck*. 31(6). pp. 725–731. DOI: 10.1002/hed.21025
18. Oldhoff, M.G.E., Mirzaali, M.J., Tumer, N., Zhou, J. & Zadpoor, A.A. (2021) Comparison in clinical performance of surgical guides for mandibular surgery and temporomandibular joint implants fabricated by additive manufacturing techniques. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 119. p. 104512. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104512
19. Teschke, M., Christensen, A., Far, F., Reich, R.H., Naujokat, H. (2022) Digitally designed, personalized bone cement spacer for staged TMJ and mandibular reconstruction – introduction of a new technique. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 49(10). pp. 935–942. DOI: 10.1016/j.jcms.2021.05.002
20. Aquino, V.M., Rock, J.P., Perry, K.D., Barbetta, B.T. (2022) Functional reconstruction of the glenoid fossa utilizing a pedicled temporal osteomuscular flap. *Oral and Maxillofacial Surgery Cases*. 8(1). p. 100243. DOI: 10.1016/j.omsc.2022.100243
21. Alfí, D.M., Hassan, A., East, S.M., Gianulis, E.C. (2021) Immediate Mandibular Reconstruction Using a Cellular Bone Allograft Following Tumor Resection in a Pediatric Patient. *Face*. 2(4). pp. 490–495. DOI: 10.1177/27325016211057287

22. Likhterov, I., Roche, A.M. & Urken, M.L. (2014) Contemporary Osseous Reconstruction of the Mandible and the Maxilla. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*. 31(1). pp. 101–116. DOI: 10.1016/j.coms.2018.08.005
23. Zainine, R., Mizouni, H., El Korbi, A., Beltaief, N., Sahtout, S. & Besbes, G. (2014) Maxillary bone myxoma. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*. 131(4). pp. 257–259. DOI: 10.1016/j.anorl.2013.04.004
24. Bianchi, B., Ferri, A., Ferrari, S., Copelli, C. & Sesenna, E. (2020) Maxillary reconstruction using anterolateral thigh flap and bone grafts. *Microsurgery: Official Journal of the International Microsurgical Society and the European Federation of Societies for Microsurgery*. 29(6). pp. 430–436. DOI: 10.1002/micr.20619
25. Pogrel, M.A. (2020) The Concept of Stress Shielding in Nonvascularized Bone Grafts of the Mandible – Review of 2 Cases. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 79(1). pp. 266e1–266e5. DOI: 10.1016/j.joms.2020.09.024
26. Atef, M., Mounir, M., Shawky, M., Mounir, S. & Gibaly, A. (2022) Polyetheretherketone patient-specific implants (PPSI) for the reconstruction of two different mandibular contour deformities. *Oral and Maxillofacial Surgery*. 26(10). pp. 299–309. DOI: 10.1007/s10006-021-00984-6
27. Farajpour, H., Bastami, F., Bohloul, M., Khojasteh, A. (2021) Reconstruction of bilateral ramus-condyle unit defect using custom titanium prosthesis with preservation of both condyles. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 124. p. 104765. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104765
28. Ryu, B., Abraham III, C. & Polido, W.D. (2021) Treatment of Mandibular Non-union Using Patient Specific Crib Cage Plates and Cellular Bone Allograft: A Case Report. *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction Open*. 6. DOI: 10.1177/24727512211005949

#### Информация об авторах:

**Радкевич Андрей Анатольевич** – доктор медицинских наук, профессор кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии Красноярского государственного медицинского университета им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого (Красноярск, Россия). E-mail: radkevich.andrey@yandex.ru

**Марченко Екатерина Сергеевна** – доктор физико-математических наук, заведующая лабораторией сверхэластичных биоинтерфейсов Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия). E-mail: 89138641814@mail.ru

**Шишелова Арина Андреевна** – студентка Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия). E-mail: arina.sh9906@gmail.com

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

#### Information about the authors:

**Radkevich Andrey A.**, Dr.Sc. (Medicine), professor, Krasnoyarsk State Medical University named after prof. V.F. Voino-Yasenetsky (Krasnoyarsk, Russian Federation). E-mail: radkevich.andrey@yandex.ru

**Marchenko Ekaterina S.**, Dr.Sc. (Physics and Mathematics), head of the laboratory, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: 89138641814@mail.ru

**Shishelova Arina A.**, student, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: arina.sh9906@gmail.com

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 30.11.2022; одобрена после рецензирования 16.12.2022; принята к публикации 23.01.2023*

*The article was submitted 30.11.2022; approved after reviewing 16.12.2022; accepted for publication 23.01.2023*