© 2026 коллектив авторов.
Работа находится под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 International License

© 2026 by the authors.
This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0 International Licens

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ **CASE REPORT**

DOI: 10.66269/2414-0252-2026-16-2-298-305
УДК: 617.3 617-089.844

Стоматология
Dentistry

И.М. Байриков[1], А.И. Байриков[2], Г.Г. Ашуров[3], Х.С. Шарипов[4]

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫХ ЧЕЛЮСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ ДЛЯ БОЛЬНЫХ С ОБШИРНЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

[1]Кафедра челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава Российской Федерации, г. Самара
[2]Кафедра ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава Российской Федерации, г. Самара
[3]Кафедра терапевтической стоматологии ГОУ «Институт последипломного образования в сфере здравоохранения Республики Таджикистан»
[4]Кафедра ортопедической стоматологии ГОУ «Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино»

Совершенствование высокоточного металлообрабатывающего оборудования, снижение стоимости аддитивного производства, повышение разрешающей способности моделей, создаваемых по данным МРТ, и развитие программ для трёхмерного проектирования заметно расширили возможности изготовления биомеханических конструкций. Эти технические изменения сделали хирургическую реконструкцию при онкологических поражениях челюстно-лицевой области более выполнимой даже у пациентов с крупными костными дефектами, когда утраченный участок превышает 50% объёма костной ткани. В таких клинических ситуациях индивидуально изготовленные имплантаты позволяют не только заместить утраченные фрагменты кости, но и восстановить анатомические контуры, обеспечить приемлемый эстетический результат и вернуть функциональную состоятельность повреждённого сегмента. Достижение такого эффекта требует персонализированного проектирования челюстных имплантатов, которые воспроизводят форму резецированных участков костной структуры и обладают прочностными характеристиками, сопоставимыми с костной тканью либо превосходящими её. Процесс разработки подобных индивидуальных конструкций рассматривается в настоящей работе.

Ключевые слова: *персонифицированная медицина, индивидуальные челюстные имплантаты, трехмерное моделирование медицинских имплантатов*

Для цитирования: *Байриков ИМ, Байриков АИ, Ашуров ГГ, Шарипов ХС. Проектирование и изготовление персонифицированных челюстных имплантатов для больных с обширным поражением костных тканей нижней челюсти. Вестник последипломного образования в сфере здравоохранения. 2026;16(2): 298–305. https://doi.org/10.66269/2414-0252-2026-16-2-298-305*

I.M. Bayrikov[1], A.I. Bayrikov[2], G.G. Ashurov[3], Kh.S. Sharipov[4]

DESIGN AND MANUFACTURING OF PERSONALIZED JAW IMPLANTS FOR PATIENTS WITH EXTENSIVE DAMAGE OF THE BONES OF THE LOWER JAW

[1]Department of Maxillofacial Surgery and Dentistry FSBEI Higher Education «Samara State Medical University» of the Ministry of Health of Russian Federation, Samara
[2]Department of Orthopedic Dentistry FSBEI Higher Education «Samara State Medical University» of the Ministry of Health of Russian Federation, Samara
[3]Department of Therapeutic Dentistry of the State Educational Establishment «Institute of Postgraduate Education in Health Sphere of the Republic of Tajikistan», Dushanbe, Republic of Tajikistan
[4]Department of Orthopedic dentistry State Educational Establishment «Avicenna Tajik State Medical University», Dushanbe, Republic of Tajikistan

The development of modern high-precision metalworking equipment, reducing the cost of using additive technologies in production, increasing the accuracy of models obtained as a result of MRI, as well as improving and widely using 3D modeling software packages provide a wide range of tools for the development and production of biomechanical structures. This makes it possible to provide prompt medical care to patients with oncological diseases of the maxillofacial region, even with extensive lesions of the bone tissue (more than 50%). At the same time, the result of the operation ensures high aesthetics and restoration of the functions of the lost fragments of the bone structure. Such a result is possible only with a personalized design of individual jaw implants that repeat the shape of the lost bone sections that equivalent to them in strength (or exceed bone strength), the design process of which is presented in this paper.

Key words: personalized medicine, individual jaw implants, 3D modeling of medical implants

For citation: *Bayrikov IM, Bayrikov AI, Ashurov GG, Sharipov KhS. Proektirovanie i izgotovlenie personifitsirovannykh chelyustnykh implantatov dlya bol'nykh s obshirnym porazheniem kostnykh tkaney nizhney chelyusti [Design and manufacturing of personalized jaw implants for patients with extensive damage of the bones of the lower jaw]. Vestnik posledіplomnogo obrazovaniya v sfere zdravookhraneniya. 2026;16(2):298–305. https://doi.org/10.66269/2414-0252-2026-16-2-298-305*

И.М. Байриков[1], А.И. Байриков[2], Ғ.Ғ. Ашуров[3], Х.С. Шарипов[4]

ЛОИҲАКАШӢ ВА ТАЙЁР НАМУДАНИ ИМПЛАНТАТҲОИ ҶОҒИИ ИНФИРОДӢ БАРОИ БЕМОРОНИ ВАЙРОНИҲОИ ВАСЕЪИ БОФТАҲОИ УСТУХОНӢ ДАР ҶОҒИ ПОЁНДОШТА

[1]Кафедраи ҷарроҳии чоғу рӯй ва стоматологияи МБДТ ТО «Донишгоҳи давлатии тиббии Самара»-и ВТ Федератсияи Россия, ш. Самара
[2]Кафедраи стоматологияи ортопедии МБДТ ТО «Донишгоҳи давлатии тиббии Самара»-и ВТ Федератсияи Россия, ш. Самара
[3]Кафедраи стоматологияи муолиҷавии МДТ «Донишкадаи таҳсилоти баъдидипломии кормандони соҳаи тандурустии Ҷумҳурии Тоҷикистон»
[4]Кафедраи стоматологияи ортопедии МДТ «Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абуалӣ ибни Сино»

Такомули таҷҳизоти дақиқи металлкоркунии ҳозиразамон, пастгардонии арзиши аслии истифодаи технолгияи аддитивӣ дар истеҳсолот, афзоиши дақиқияти қолибҳои дар натиҷаи истифодаи ТРМ ба даст омада, инчунин такмил додан ва васеъ истифода намудани намунаи барномаҳои сеченакаи қолибсозӣ имконияти бо таври васеъ истифода бурдани асбобу анҷомҳоро бо мақсади коркард ва истеҳсоли конструксияҳои биомеханикӣ фароҳам меовард. Ин ҳолат имконият медиҳад, ки ба беморони мубталои касалиҳои омосии қисмати чоғу рӯйдошта ҳангоми вайронгардии барзиёди бофтаҳои устухонӣ (зиёда аз 50%) ёрии ҷарроҳии тиббӣ расонида шавад. Дар ин ҳангом натиҷаҳои ҷарроҳии истифодашуда зебоии нисбатан барзиёд ва барқарорсозии функсияҳои структураи устухонии аз байн рафтаро таъмин месозад. Чунин натиҷаҳо танҳо дар ҳолати лоиҳакашӣ ва тайёр намудани имплантатҳои ҷоғии инфиродӣ, ки намуди қисматҳои аз байн рафтаи устухонро такрор ва ҳамарзиши устуворӣ ба онҳо (ё аз устувории аз устухон ҳам зиёдро) фароҳам меовард, иконият дорад ва ҷараёни лоиҳакашии ин самт дар кори пешниҳодгардида оварда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *тибби инфиродӣ, имплантатҳои ҷоғии фардӣ, қолибсозии сеченакаи имплантатҳои тиббӣ.*

Актуальность

Лечение и реабилитация пациентов с обширным поражением костной ткани в области нижней челюсти на сегодняшний день представляет сбой актуальную задачу челюстно-лицевой хирургии и стоматологии [1-2]. Причиной подобных костных дефектов, в основном, являются онкологические заболевания лицевого отдела черепа, при лечении которых зачастую применяют хирургические операции с резекцией пораженных участков костной ткани. Персонифицированные имплантаты, анатомически соответствующие костным структурам конкретного пациента, позволяют заместить утраченные фрагменты кости, сократить продолжительность хирургического вмешательства и создать более благоприятные условия для раннего послеоперационного восстановления [1,3-5].

В мировой клинической практике для закрытия подобных костных дефектов традиционно широко используют аутотрансплантацию [3]. Однако этот вариант лечения связан с дополнительной операционной травмой. Кроме того, работа с пересаженной костной тканью затрудняет последующее ортопедическое восстановление зубных рядов, требует подбора специальных дентальных имплантатов с индивидуальными биосовместимыми характеристиками и усложняет реабилитационный этап [4]. Альтернативой данному методу является применение искусственных персонифицированных биоимплантов. Лишенные вышеобозначенных недостатков они получают все большую и большую популярность в медицинской практике во всем мире [5-10]. В качестве материалов для изготовления имплантатов чаще всего применяются различные металлы и сплавы. При удовлетворительных показателях биосовместимости, они обеспечивают высокую жесткость конструкции, приемлемы по массе, а также обеспечивают высокую коррозионную стойкость.

Introduction

Treatment and rehabilitation of patients with extensive damage of the bone tissue in the lower jaw area today is an actual task of maxillofacial surgery and dentistry [1-2]. The cause of such bone defects is mainly oncological diseases of the facial part of the skull, in the treatment of which surgical operations are often used with resection of the affected areas of the bone tissue. The use of personalized implants that repeat the shape of the patient's bone replenishes the lost areas of bone tissue, reduces the time required for the operation, and also contributes to a faster postoperative rehabilitation of the patient [1,3-5].

To date, to compensate for such bone defects, autotransplantation is considered to be widely used in world medical practice [3]. With such treatment, additional surgical trauma is inevitable, and also, due to functioning in conditions of transplanted bone tissue, this approach creates significant difficulties for orthopedic restoration of dentition, leads to the need for the use of special dental implants with individual biocompatibility characteristics, and significantly complicates the stages of rehabilitation [4]. An alternative to this method is the use of artificial personalized bioimplants. Deprived of the above disadvantages and very popular in medical practice around the world [5-10]. Various metals and alloys are most often used as materials for the manufacture of implants. With satisfactory indicators of biocompatibility, they provide high structural rigidity, are acceptable in terms of weight, and also provide high corrosion resistance.

Titanium alloy BT6 is widely used in the manufacture of medical implants. This alloy has a low specific gravity and high strength, low susceptibility to sudden temperature changes, corrosion resistance (including in aggressive environments). Titanium is non-toxic, and its high content in this alloy (more than 90%) allows it to be used as an implant material.

Among all the bones of the facial region, the lower jaw is

В производстве медицинских имплантатов широко используют титановый сплав ВТ6. Выбор этого материала связан с благоприятным сочетанием низкой удельной массы и высокой механической прочности, устойчивостью к резким перепадам температуры и выраженной сопротивляемостью коррозии, в том числе при контакте с агрессивными средами. Титан не обладает токсическим действием, а его доля в составе сплава превышает 90%, что делает ВТ6 пригодным материалом для изготовления имплантационных конструкций.

Нижняя челюсть среди костей лицевого отдела работает в особом режиме: как единственная свободноподвижная костная структура [1,5,11], она при жевательной нагрузке одновременно воспринимает растяжение, сжатие, изгиб и сдвиг; поэтому имплантат для её реконструкции должен не просто закрывать дефект, а выдерживать разнонаправленное напряжённое состояние. Нагрузка распределяется неравномерно. В участках, приближённых к височно-нижнечелюстным суставам, костная ткань способна воспринимать усилия до 400-500 кг/мм2, тогда как в зоне резцов и подбородка они ниже, и это различие необходимо закладывать в расчётную схему ещё на этапе проектирования. Следовательно, при создании биомеханической конструкции для челюстно-лицевой хирургии недостаточно рутинно воспроизвести анатомический контур: геометрию, толщину и зоны фиксации подбирают так, чтобы имплантат сохранял механическую устойчивость, надёжно фиксировался и не терял эксплуатационный ресурс при функциональной нагрузке (жевание, смыкание зубных рядов, кратковременные пиковые воздействия).

Рост числа опухолевых, одонтогенных, специфических и вирусных воспалительных поражений закономерно увеличивает долю пациентов с дефектами челюстных костей, поэтому в челюстно-лицевой хирургии всё чаще приходится не только закрывать костный дефект, но и восстанавливать непрерывность опорного сегмента [5]. В практической работе для этой цели нередко используют универсальные реконструктивные пластины (рис. 1).

Названные пластины можно установить без этапа индивидуального проектирования, а значит, вмешательство выполняют одномоментно и не откладывают из-за изготовления пациент-специфического имплантата. Однако такое решение не следует считать полноценной заменой индивидуальной конструкции; стандартная пластина ускоряет операцию, но не всегда точно повторяет анатомическую геометрию дефекта и распределяет нагрузку так же предсказуемо, как имплантат, рассчитанный под конкретную клиническую ситуацию.

При выборе стандартной титановой пластины хирург заранее учитывает её конструктивные слабые места.

Отверстия под винты, насечки, выкрутки и участки моделирования облегчают адаптацию к нерезецированной кости и позволяют зафиксировать пластину по анатомическому контуру, но одновременно формируют зоны концентрации напряжений. Это критично. Если после резекции остаётся протяжённый дефект или ожидается высокая функциональная нагрузка, такие элементы могут снижать общую жёсткость системы; локальные пики напряжения возникают именно в местах перфораций и изгибов (особенно при многократном интраоперационном моделировании). Поэтому стандартную пластину не следует рутинно рассматривать как универсальное решение для крупных дефектов нижней челюсти: перед её применением необходимо оценить длину резецированного сегмента, число точек фиксации, направление жевательной нагрузки и прочностный ресурс конструкции.

Универсальный характер формы и типоразмеров таких пластин требует дополнительной оценки их поведения под нагрузкой. Поэтому перед применением конструкции

the only freely movable bone [1,5,11], under chewing load simultaneously perceives the sprain, compression, bending and shift; so имплантат for its reconstructions must not simply close the defect, but bear the different-direction tense condition. Load is distributed unevenly. In area, drawn near of tempo-mandible joint, the bone tissues capable to perceive the efforts up to 400-500 kg/мм2 then in zone of incisor and chin they below and this difference necessary to pawn in accounting scheme in step of designing else. Consequently, when making of biomechanical designs for maxillofacial surgery it is not enough stale to reproduce the anatomical sidebar: geometry, thickness and zones of fixation select so that implant saved mechanical stability, was safely fixed and did not lose the working resource under functional load (chewing, closing teeth rows, short peak influences).

Due to the growth in the number of oncological diseases, as well as odontogenic specific and viral inflammatory processes, the number of patients with jaw defects is also growing, so in maxilla-facial surgery all more often happen to not only to close the bone defect, but also restore continuity of the supporting segment. Universal reconstruction plates to this effect quite often use in practical work (figure 1 Figure 1. - Universal plate made of VT6 material showing fatigue violation. Computed tomography data).

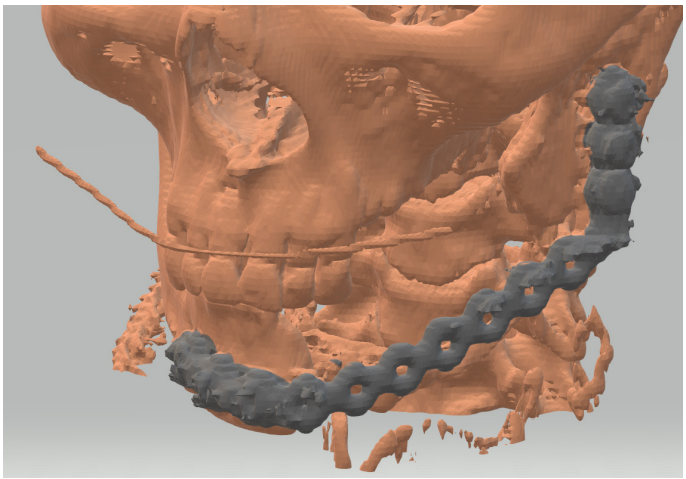


Рисунок 1. - Универсальная пластина из материала ВТ6 с признаками усталостного разрушения (данные компьютерной томографии)

Figure 1. - Universal plate made of VT6 material showing fatigue violation. Computed tomography data

The named plates possible to install without stage of the individual designing, but signifies, interference execute at one moment and do not postpone because of fabrication patient-specific implant. However, such decision does not follow to consider full-fledged change to individual design; the standard plate accelerates the operation, but not always exactly repeats the anatomical geometry of the defect and distributes the load in the same way predictable, as implant, calculated under concrete clinical situation.

At choice of the standard titanium plate the surgeon beforehand takes into account its constructive weak places

1) the presence of a large number of stress concentrators, such as holes, notches, fillets. There are also elements necessary to facilitate the shaping and fitting of the element into the composition of the biomechanical structure (combination with the contours of the bones that are not subject to resection, the implementation of fastening to the bone tissue, etc.), which are also stress concentrators, or are elements that reduce the overall rigidity of the structure. In some cases, this factor makes it impossible to use a standard titanium plate as part of a biomechanical structure, such as in cases where relatively large areas of bone are removed, or when there is a high probability of loads exceeding the strength of the plate;

необходимо анализировать напряжённо-деформированное состояние имплантата и выполнять расчёты прочности, жёсткости и усталостной долговечности.

При установке универсальной пластины практически неизбежна её механическая доработка, сопровождающаяся пластической деформацией имплантата. Это связано с необходимостью придать стандартному изделию индивидуальную конфигурацию, соответствующую контурам резецируемого участка челюсти и зонам последующей фиксации к костной ткани. В результате часть прочностного ресурса материала расходуется ещё до начала функциональной нагрузки, а в участках концентрации напряжений могут формироваться микродефекты. В дальнейшем такие изменения повышают риск статического или усталостного разрушения пластины во время её эксплуатации. Клинически это может сопровождаться повреждением мягких тканей, развитием воспалительных осложнений и последующим отторжением имплантата, что показано на примере пациента, компьютерная томограмма которого представлена на рисунке 1.

Минимизировать влияние указанных ограничений возможно при использовании персонифицированных биоимплантатов, созданных для конкретного пациента на основе данных компьютерной томографии. Такой подход позволяет заранее воспроизвести индивидуальную анатомию дефекта и снизить необходимость интраоперационной механической доработки конструкции. Главное ограничение индивидуальных челюстных имплантатов связано не с их клинической логикой, а со временем изготовления: чем дольше длится проектирование и производство, тем сложнее сохранить одноэтапную тактику лечения. Поэтому в НИИ бионики и персонифицированной медицины Самарского государственного медицинского университета разработали процесс оперативного проектирования таких конструкций; он позволяет быстро воссоздать исходные контуры лица за счёт точного повторения формы резецированного костного фрагмента, рассчитать достаточный прочностный ресурс и подготовить имплантат к установке без перехода к аутотрансплантации. Это принципиально. Если индивидуальную конструкцию удаётся изготовить в клинически приемлемые сроки, хирург получает возможность закрыть дефект и восстановить непрерывность челюсти в один этап, а пациент - избежать дополнительной донорской травмы (забор аутокости), сократить объём вмешательства и пройти послеоперационную реабилитацию быстрее.

Персонифицированный челюстной имплантат нельзя рассматривать как простую замену стандартной пластины и его проектируют поэтапно.

Этап 1. Подготовка модели.

На начальном этапе инженеры-проектировщики отдела биомеханических конструкций выполняют анализ КТ-данных пациента. По серии томографических изображений создают трёхмерную компьютерную модель костных структур при протяжённом поражении нижней челюсти и несостоятельности стандартной пластины (рисунок 2).

После импорта данных модель предварительно очищают от посторонних артефактов, в том числе от случайных пикселей, расположенных рядом с костными структурами. Далее из общей трёхмерной реконструкции последовательно выделяют нижнюю челюсть, титановую пластину и элементы фиксации.

В процессе жизнедеятельности пациента со стандартным имплантатом произошло изменение прикуса. Оставшиеся участки кости нижней челюсти приняли не естественное положение. После обработки и подготовки 3D модели в тесном сотрудничестве с врачом хирургом из модели был удален участок со старым имплантатом, оставшиеся участки кости были спозиционированы, как если бы они

2) types and sizes of plates are universal. This necessitates an analysis of the loaded state of the implant and calculations for strength, stiffness, and fatigue.

3) when installing universal plates, mechanical action is inevitable, leading to plastic deformation of the implant. This is due to the need to give the standard plate a unique shape that repeats the contours of the jaw area to be removed, as well as the places where the plate is attached to the bone tissue. This means partial exhaustion of the strength properties of the material from which the plate is made, and also leads to the initiation of microdefects in the above stress concentrators. Often this leads to the destruction of the plate (fatigue or static) during its operation by the patient and complications in the form of injury to soft tissues, subsequent inflammatory processes, and, ultimately, rejection of the implant (as, for example, in the case of a patient whose CT scan is shown in figure 1).

It is possible to exclude the influence of these factors only when using personalized bioimplants made for a particular patient, according to the data of computed tomography. However, this requires significant time costs, and in connection with this, a process for the operational design of individual implants has been developed at the Research Institute of Bionics and Personalized Medicine of the Samara State Medical University. The developed process solves the following tasks: reconstruction of the original facial features of the patient by repeating the contour of the removed sections of the bone; efficiency of creating individual jaw implants; ensuring the durability and strength of implants; reducing the time of operations; exclusion of the need for autotransplantation, which ensures a single-stage surgical intervention, as well as minimizing the time of postoperative rehabilitation of the patient.

A personalized jaw implant is a product that is difficult to manufacture and design, the development of which is carried out in several stages.

Stage 1. Model preparation.

The design engineers of the Biomechanical Constructions Design Department analyze the patient's computed tomogram data. According to the images, a computer three-dimensional model of the patient's bone tissue is built with an extensive lesion of the lower jaw and a defect in the standard plate (figure 2).

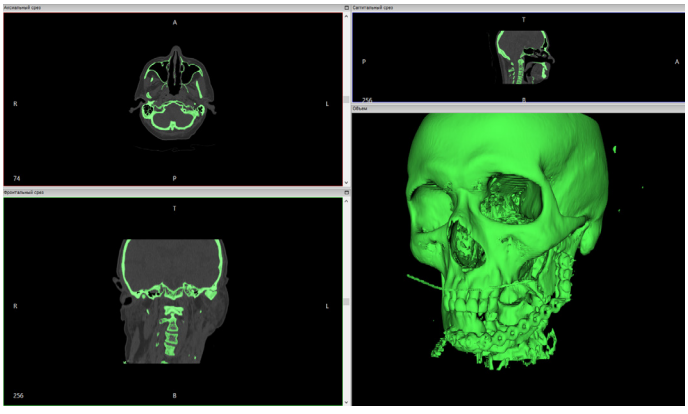


Figure 2. - CT data: fatigue violation of a titanium plate
Рисунок 2. - Данные КТ: усталостное разрушение титановой пластины

After receiving the data, it is necessary to remove various “information garbage” from the model (random pixels near the bone), select the elements of the lower jaw and the elements of the plate and fasteners from the general model.

During the life of a patient with a standard implant, a change in occlusion occurred. The remaining sections of the lower jaw bone took an unnatural position. After processing and preparation of the 3D model, in close cooperation with the surgeon, the area with the old implant was removed from the model, the remaining sections of the bone were positioned as

представляли из себя цельную кость, без утраченного фрагмента челюсти. На рисунке 3 показана подготовленная к проектированию персонифицированного имплантата трехмерная модель.

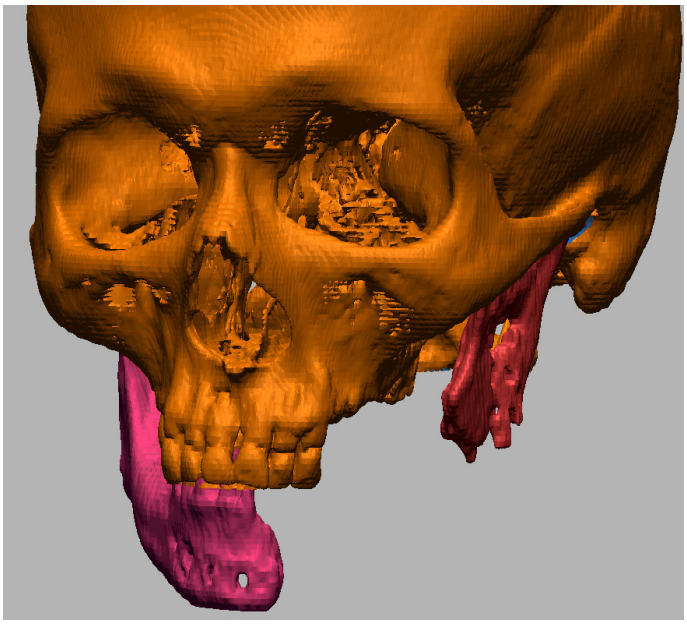


Рисунок 3. - Трёхмерная модель, полученная после обработки модели, полученной с КТ

Figure 3. - Three-dimensional model obtained after processing the model, obtained from CT

Этап 2. Моделирование импланта.

В данном случае пациент значительное время прожил со стандартным имплантатом, который позволят пациенту принимать пищу, но при этом привел к деградации мягких тканей и деформации лица. Кроме того, возраст пациента не позволял рассчитывать на обширное восстановление мягких тканей после операции. Исходя из чего, лечащим врачом была обозначена первичная цель моделирования – восстановление функций нижней челюсти, максимально возможное восстановление овала лица при минимальной нагрузке на мягкие ткани пациента. Это не позволяло создать анатомический протез, повторяющий естественную форму кости. По этой причине утраченный участок кости заменили эллипсной балкой малого размера, позволявшей быть полностью покрытой мягкими тканями пациента. Прочность данной балки эквивалентна утраченному участку кости и значительно превышает прочность стандартного имплантата (рис. 4).

Затем разрабатывают крепёжные элементы имплантата. Их геометрия должна точно соответствовать контурам костной ткани пациента и одновременно обеспечивать надёжную фиксацию конструкции. Итоговый вариант спроектированного имплантата представлен на рисунке 5.

По завершении проектирования можно выделить ряд параметров, которые необходимо учитывать при разработке аналогичных биомеханических конструкций.

Специальные условия и ограничивающие факторы.

1) Требуется учитывать недостаток мягких тканей. Зачастую это требует уменьшения размеров имплантата, при сохранении прочностных характеристик равных либо превышающих исходную костную структуру. Это требует проведения прочностных расчетов биомеханической конструкции как в основной его части, так и в местах крепления. В рамках данной работы был использован минимально возможный размер имплантата и объединение элементов челюсти в единую структуру по кратчайшему расстоянию, при этом максимально восстановлено естественное положение оставшихся элементов кости.

if they were a solid bone, without the missing fragment of the jaw. Figure 3 shows a three-dimensional model prepared for the design of a personalized implant.

Stage 2. Implant modeling.

In this case, the patient lived for a considerable time with a standard implant, which allowed the patient to eat, but at the same time led to the degradation of soft tissues and facial deformity. In addition, the patient's age did not allow for extensive soft tissue recovery after surgery. Based on this, the primary goal of the modeling was indicated by the attending physician - the restoration of the functions of the lower jaw, the maximum possible restoration of the face oval with a minimum load on the patient's soft tissues. This did not allow the creation of an anatomical prosthesis that repeats the natural shape of the bone. For this reason, the lost area of the bone was replaced with a small elliptical beam, which allowed it to be completely covered by the patient's soft tissues. The strength of this beam is equivalent to the lost area of the bone and significantly exceeds the strength of a standard implant (figure 4).

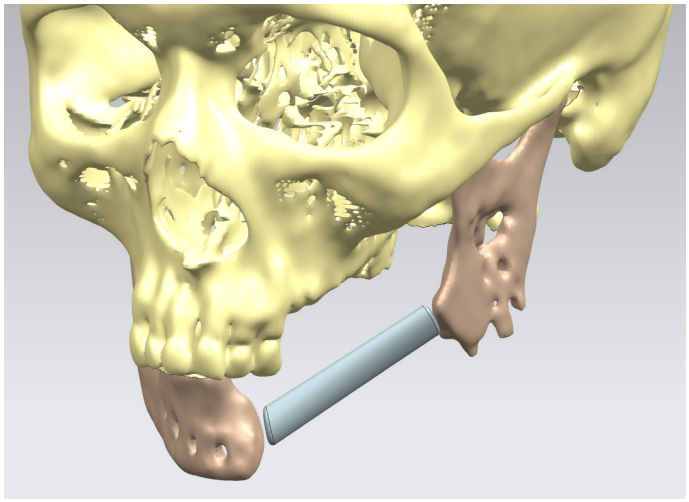


Figure 4. - Three-dimensional model of the designed implant

Рисунок 4. - Трёхмерная модель проектируемого имплантата

Next, fasteners are designed that completely repeat the contours of the patient's bone and ensure the strength of the fastening. The design result is shown in figure 5.

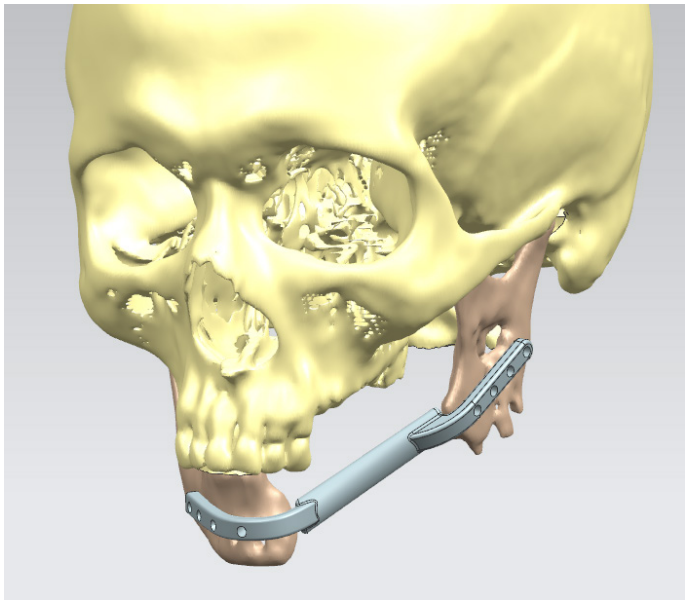


Рисунок 5. - Конечный результат проектирования имплантата

Figure 5. - The final result of the implant design

Based on the design result, one can imagine a number of factors that need to be taken into account when designing similar

2) Нижняя челюсть, как единственная свободноподвижная кость лицевого отдела имеет суставы, которые зачастую приходится заменять на искусственные. Это обуславливается либо близостью зоны поражения к суставу и невозможностью надежно закрепить имплантат на оставшемся участке кости. В подобных ситуациях необходимо предусмотреть либо соединение имплантата со стандартным серийно выпускаемым суставным компонентом, либо проектирование конструкции вместе с суставным элементом как единого изделия. Второй вариант более предпочтителен с биомеханической точки зрения, однако он сложнее в исполнении и требует большего времени на разработку.

3) Отдельного внимания требует восстановление точки фиксации жевательной мышцы на имплантате. В представленном в работе примере оставшийся участок кости позволял надежно закрепить имплантат и сохранить родной мыщелковый отросток и венечный отросток с прикрепленными мышцами.

4) В случае невозможности сохранения мыщелкового и венечного отростков необходимо заложить ряд отверстий для крепления мышц. Венечный отросток, как правило, проектированию не подлежит, так как очень усложняет проведение операции, проектирование и производство имплантата, а также значительно увеличивает вес имплантата.

5) Фиксация имплантата к костной культе является одним из наиболее сложных и критически важных этапов проектирования. Чем точнее сформировано посадочное место, тем меньше времени требуется на интраоперационную установку конструкции. Кроме того, именно геометрия крепёжных элементов во многом определяет послеоперационное восстановление контуров лица и итоговый эстетический результат. При проектировании крепежных элементов необходимо:

- Посадочные места должны обеспечивать базирование силовой части имплантата таким образом, чтобы обеспечивать неизменность расстояния между головок нижней челюсти.

Наиболее значимый фактор, невыполнение которого может привести к прерыванию операционного вмешательства, к функционированию имплантата в нерасчетных условиях, либо значительным эстетическим дефектам. В значительной мере на данный фактор влияет точность проведения резекции. Плоскость реза может быть смещена как за счет человеческого фактора, так и по медицинским показаниям. Подобные обстоятельства гарантировано приводят к неверному позиционированию имплантата. Для повышения точности перед изготовлением окончательной конструкции выполняют примерку имплантата на FDM-модели в тесном взаимодействии с хирургом. После этого изготавливают шаблон, предназначенный для применения навигационной техники.

- Крепёжные элементы следует рассчитывать с запасом по длине, поскольку во время операции плоскость резекции может смещаться на 3-5 мм по причинам, указанным в предыдущем пункте. Удлинение зоны фиксации делает соединение имплантата с биомеханической конструкцией более устойчивым и снижает вероятность недостаточно надёжного закрепления.

- Крепежные элементы имплантата не должны перекрывать подбородочное отверстие нижнечелюстного нерва. Данную сосудисто-нервную систему требуется сохранить после проведения операции. Кроме того, внутрикостные винты не должны травмировать корни зубов и нижнечелюстной нерв на здоровой стороне челюсти.

Контроль соблюдения вышеописанных факторов осуществлялся при помощи ряда мероприятий. Во-первых, на этапе проектирования имплантата инженерами велись

biomechanical structures.

Special conditions and limiting factors.

1) It is required to take into account the lack of soft tissues. Often this requires a reduction in the size of the implant, while maintaining the strength characteristics equal to or greater than the original bone structure. This requires carrying out strength calculations of the biomechanical structure both in its main part and in the attachment points. Within the framework of this work, the smallest possible implant size was used. The jaw elements were combined into a single structure at the shortest distance, while the natural position of the remaining bone elements was restored as much as possible.

2) The lower jaw, as the only freely movable bone of the facial region, has joints that often have to be replaced with artificial ones. This is due to the proximity of the affected area to the joint and the inability to securely fix the implant on the remaining area of the bone. In these cases, it is necessary to provide a connection with a standard joint, which is mass-produced, or to design an implant with a joint at the same time (preferably, but laborious and time consuming). It is also necessary to ensure the attachment of the masticatory muscle to the implant. In the example presented in the work, the remaining bone section allowed the implant to be securely fixed and the native condylar process and coronoid process with attached muscles to be preserved.

3) If it is impossible to preserve the condylar and coronoid processes, it is necessary to lay a number of holes for muscle attachment. The coronoid process, as a rule, is not subject to design, as it greatly complicates the operation, design and manufacture of the implant, and also significantly increases the weight of the implant.

4) In the event of impossibility of the conservation the condylar and coronoid processes necessary to pawn the row a hole for fastening the muscles. The coronoid offshoot, as a rule, designing does not subject to, since much complicates undertaking to operations, designing and production implanta-та, as well as vastly enlarges the weight имплантата.

5) Fixing the implant to the stump is the most complex and critical part of the implant design. The more accurately the seat is made, the less time will be spent on the operation, and the aesthetics of the contours of the patient's face after the operation largely depend on the fasteners. When designing fasteners, it is necessary:

- Seats should ensure the basing of the power part of the implant in such a way as to ensure the invariability of the distance between the heads of the lower jaw.

The most significant factor, the unfulfillment of which can lead to interruption of the surgical intervention, to the functioning of the implant in off-design conditions, or significant aesthetic defects. To a large extent, this factor is affected by the accuracy of the resection. The cut plane can be shifted both due to the human factor and for medical reasons. Such circumstances are guaranteed to lead to incorrect positioning of the implant. To improve accuracy, the fitting of the implant on the FDM model is used in close cooperation with the surgeon, followed by the manufacture of a template for the use of navigation technology.

- The fastening elements should be calculated with a reserve in length, since during the operation the resection plane may shift by 3-5 mm for the reasons indicated in the previous paragraph. An increase in the length of the fastening element makes it possible to more reliably fix the implant as a part of a biomechanical structure, and also reduces the risk of unreliable implant attachment.

- Implant fasteners must not overlap the mental foramen of the mandibular nerve. This vascular-nervous system needs to be preserved after the operation. In addition, intraosseous screws should not injure the roots of the teeth and the mandibular nerve on the healthy side of the jaw.

A compliance with the above factors was monitored through

поэтапные консультации с лечащим врачом пациента. Во-вторых, перед изготовлением имплантата осуществлялось изготовление FDM модели черепа из ABS пластика и фрагментов челюсти, на которых осуществлялась предварительная сборка и окончательная примерка имплантата.

После предварительной сборки конструкции и проверки основных параметров изделия оценивали готовность имплантата к дальнейшему использованию. Затем конструкцию направляли на окончательную механическую обработку и финишную доводку.

Заключение.

Разработан процесс ускоренного проектирования индивидуальных челюстных имплантатов с использованием современных аддитивных технологий и данных компьютерной томографии. Его применение позволило выполнить хирургическое вмешательство в один этап и сократить продолжительность операции. Разработанный в рамках данной работы имплантат позволил восстановить функционирование нижней челюсти пациента и повысить эстетику после многолетней эксплуатации стандартной титановой пластины.

Данный имплантат спроектирован в сжатые сроки (менее двух дней) и изготовлен оперативно, не позволив развиться воспалительным процессам в следствие разрушения имплантата из стандартной титановой пластины. В результате расчетов подтверждена прочность и жесткость разработанной конструкции, превышающая прочность костной системы. Данная методика проектирования и изготовления персонифицированных челюстных имплантатов внедрена в клиническую практику САМГМУ и может быть предложена для использования в практическом здравоохранении Российской Федерации и Республики Таджикистан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Челюстно-лицевая хирургия. Национальное руководство. Под ред. Кулакова АА. М: ГЭОТАР-Медиа; 2019.
2. Корсакова АИ, Жадобова ИА, Клочков АС, Дурново СА, Кочубейник АВ, Дурново ЕА. Модифицированная двухэтапная сплит-техника регламентированного увеличения угла альвеолярного гребня при горизонтальной атрофии в боковых отделах нижней челюсти: первый этап исследования. Современные технологии в медицине.2020.12 (4):40-46
3. Урбан ИА, Монье А. Направленная регенерация кости при реконструкции альвеолярной кости. Oral Maxillofac Surg Clin North Am 2019; 31(2): 331–338, https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.01.003 .
4. Филин Я.А., Бахтин М.А., Береговский Д.А., Шапиева А.Ш., Тюленева С.В. Современные методы лучевой визуализации патологии височно-нижнечелюстного сустава. Российский журнал персонализированной медицины. 2024;4(4):355-360. https://doi.org/10.18705/2782-3806-2024-4-4-355-360.
5. Байриков ИМ, Байриков АИ, Николаенко АН. и др. Разработка процесса оперативного проектирования индивидуальных нижнечелюстных имплантатов у больных с онкологическими заболеваниями. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2021;13(4):16–22. DOI: 10.17650/2782-3687 2021 13 4 16 22.
6. Сельский НЕ, Трохалин АВ, Мухамадиев ДМ. Остеопластика альвеолярной части нижней челюсти комбинированными костными трансплантатами. Креативная хирургия и онкология. 2019;9(3):199-208. https://doi.org/10.24060/2076-3093-2019-9-3-199-208
7. Azizi A, Mehraban SH, Taghizadeh E, et all. Evalution

a number of activities. Firstly, at the stage of implant design, engineers conducted step-by-step consultations with the patient's doctor. Secondly, before the manufacture of the implant, an FDM skull model was made from ABS plastic and fragments of the jaw, on which the preliminary assembly and final fitting of the implant were carried out.

After the preliminary assembly and control of all key parameters of the product, a conclusion was made about the readiness of the implant, after which it was subjected to final machining and refinement.

Conclusions:

A process for accelerated design of custom-made jaw implants was developed using modern additive technologies and computed tomography data. This approach allowed for a single-stage surgical procedure, reducing the duration of the procedure. The implant developed as part of this study restored the patient's lower jaw function and improved aesthetics after years of using a standard titanium plate.

This implant was designed in a short timeframe (less than two days) and manufactured quickly, preventing the development of inflammation due to implant failure with a standard titanium plate. Calculations confirmed the strength and rigidity of the developed design, exceeding the strength of the skeletal system. This method for designing and manufacturing custom-made jaw implants has been implemented into clinical practice at SAMSMU and can be proposed for use in healthcare in the Russian Federation and the Republic of Tajikistan.

REFERENCES

1. Chelyustno-litsevaya khirurgiya. Natsional'noe rukovodstvo [Oral and maxillofacial surgery. National guidelines]. Kulakov AA. (editor). Moscow: GEOTAR-Media; 2019.
2. Korsakova AI, Zhadobova IA, Klochkov AS, Durnovo SA, Kochubeynik AV, Durnovo EA. Modified two-stage split technique for regulated increase in the alveolar ridge angle in horizontal atrophy in the lateral parts of the mandible: the first stage of the study. [Modifitsirovannaya dvukhetapnaya split-tekhnika reglamentirovannogo uvelicheniya ugla al'veolyarnogo grebnya pri gorizontal'noy atrofii v bokovykh otdelakh nizhney chelyusti: pervyy etap issledovaniya] Modern technologies in medicine. 2020.12 (4): 40-46 (In Russ.)
3. Urban IA, Monier A. Guided bone regeneration in alveolar bone reconstruction. [Napravlennaya regeneratsiya kosti pri rekonstruktsii al'veolyarnoy kosti] Oral Maxillofac Surg Clin North Am 2019. 31(2): 331–338, https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.01.003 (In Russ.)
4. Filin Ya.A., Bakhtin M.A., Beregovskii D.A., Shapieva A.Sh., Tyuleneva S.V. Modern methods of radiation imaging of the pathology of the temporomandibular joint. Russian Journal for Personalized Medicine. 2024;4(4):355-360. (In Russ.) https://doi.org/10.18705/2782-3806-2024-4-4-355-360
5. Bajrikov IM, Bajrikov AI, Nikolaenko AN. et al. Development of a process for the operational design of individual mandibular implants in patients with cancer. Sarkomy kostej, myagkikh tkanej i opukholi kozhi = Bone and soft tissue sarcomas, tumors of the skin 2021;13(4):16–22. (In Russ.). DOI: 10.17650/2782-3687 2021 13 4 16 22.
6. Selsky N.E., Trokhalin A.V., Mukhamadiev D.M. Alveolar Mandible Osteoplasty with Combined Bone Transplants. Creative surgery and oncology. 2019;9(3):199-208. (In Russ.) https://doi.org/10.24060/2076-3093-2019-9-3-199-208

of the implant Success Rate of Titanium-based Implant Materials: A Systematic Review and Meta-Analisis. Pesqui. Bras.Em Odontopediatria E Clin. Integrada.2024.24:e230012
8. Patel SY, Kim DD, Ghali GE. Maxillofacial reconstruction using vascularized fibula free flaps and endosseous implants. Oral Maxillo-fac Surg Clin North Am 2019; 31(2): 259-284, https://doi.org/10.10Wj
9. Cittens RA, Olivares-Navarrete R, Schwartz Z, et al. Implant osseointegration and the role of mikroroughness and nanostruktures: Lessons for spire imrkfnts Fctf spire implants. Acta Biomater. 2014;10:3363-3371
10. Cohen J, Cheng A, Kahn A, et al.. Novel osteogenic Ti-6AL-4V device for restoration of dental function in patients with large bone deficiencies: design, development and implementation. Published Scientific Reports. 2016;2(23):115-121.
11. Епифанов СА. 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. 15(3), ч.2:102-105 DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.57.96.019

Сведения об авторах:

Байриков Иван Михайлович – доктор медицинских наук, профессор, член-корр. РАН, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», Самара, Россия
ORCID: https://orcid.org 0009-0005-1170-8180
Тел.: (+7) 906 127 49 92
Байриков Алексей Иванович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», Самара, Россия
ORCID: https://orcid.org 0000-0002-4090-5918
Тел.: (+7) 906 127 49 92
Ашуров Гаюр Гафурович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии ГОУ ИПОвСЗ РТ, Душанбе, Таджикистан
ORCID: https://orcid.org 0000-0002-5361-1725
E-mail: shakh92@mail.ru
Шарипов Хуршед Саиджонович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии ГОУ ТГМУ им. Абуали ибни Сино,
ORCID: https://orcid.org 0009-0002-9033-2967
E-mail: khurshed-sh85@mail.ru
Финансирование: финансирование и индивидуальные благодарности для декларирования отсутствуют.
Использование ИИ: искусственный интеллект не использован.
Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Информация о соблюдении этических норм: исследование получило одобрение этических комитетов ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», ГОУ ИПОвСЗ РТ и ГОУ «ТГМУ им. Абуали ибни Сино». Письменное информированное согласие пациента имеется.

Адрес для корреспонденции: Ашуров Гаюр Гафурович – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии ГОУ ИПОвСЗ РТ,
e-mail: shakh92@gmail.ru
тел.: (+992) 988-71-09-92

Поступила:03.04.2026
Принята в печать: 13.06.2026

7. Azizi A, Mehraban SH, Taghizadeh E, et all. Evalution of the implant Success Rate of Titanium-based Implant Materials: A Systematic Review and Meta-Analisis. Pesqui. Bras.Em Odontopediatria E Clin. Integrada.2024.24:e230012
8. Patel SY, Kim DD, Ghali GE. Maxillofacial reconstruction using vascularized fibula free flaps and endosseous implants. Oral Maxillo-fac Surg Clin North Am 2019; 31(2): 259-284, https://doi.org/10.10Wj
9. Cittens R.A. Olivares-Navarrete R., Schwartz Z. [et al.]. Implant osseointegration and the role of mikroroughness and nanostruktures: Lessons for spire imrkfnts Fctf spire implants. Acta Biomater. 2014;10:3363-3371.
10. Cohen J., Cheng A., Kahn A. [et al.]. Novel osteogenic Ti-6AL-4V device for restoration of dental function in patients with large bone deficiencies: design, development and implementation. Published Scientific Reports. 2016;2(23):115-121.
11. Epifanov S.A. Temporomandibular joint disorders — an interdisciplinary problem: rethinking established concepts in the practice of a maxillofacial surgeon. Bulletin of the N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center. 2020. 15(3), part 2:102–105 DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.57.96.019

Information about the authors:

Bayrikov Ivan Mikhaylovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Maxillofacial Surgery and Dentistry FSBEI HE «Samara State Medical University», Samara, Russia
ORCID: https://orcid.org 0009-0005-1170-8180
Phone: (+7) 906 127 49 92
Bayrikov Aleksey Ivanovich – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the department of Orthopedic Dentistry FSBEI HE «Samara State Medical University», Samara, Russia
ORCID: https://orcid.org 0000-0002-4090-5918
Phone: (+7) 906 127 49 92
Ashurov Gayur Gafurovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Therapeutically Dentistry SEI Institute of Postgraduate Education in Health Sphere of the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan
ORCID: https://orcid.org 0000-0002-5361-1725
E-mail: shakh92@mail.ru
Sharipov Khurshed Saidzhonovich – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry SEI Avicenna Tajik State Medical University, Dushanbe, Republic of Tajikistan
ORCID: https://orcid.org 0009-0002-9033-2967
E-mail: khurshed-sh85@mail.ru

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE: Gayur Gafurovich Ashurov, MD, Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry, State Educational Institution of the Republic of Tatarstan, Institute of Dentistry of the Health Sector of the Republic of Tatarstan,
email: shakh92@gmail.ru
tel.: (+992) 988-71-09-92
Submitted: 03.04.2026
Accepted: June 13, 2026