

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-134-138

УДК 616-089.844

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРСониФИЦИРОВАННЫХ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА ПРИ ЗАМЕЩЕНИИ ДЕФЕКТОВ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

Рапекта С. И., Асташина Н. Б., Логинова Н. П., Слетов А. А., Турсукова О. С., Кибанова В. Е.

Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия

Аннотация

Проблема замещения дефектов нижней челюсти сохраняет свою актуальность на протяжении нескольких десятилетий. В настоящее время вопросы выбора оптимальных конструкционных материалов и разработки рациональных конструкций имплантационных систем для пластики дефектов нижней челюсти, а также изучение характера остеоинтеграции при их использовании имеют особую значимость. Повышение эффективности лечения пациентов и оптимизация сроков восстановительного периода при использовании имплантационных систем напрямую связаны с полноценностью остеоинтеграции с замещающей конструкцией, что и является одним из основных вопросов, подлежащих изучению. **Цель исследования** заключалась в изучении морфологических аспектов регенераторной активности костной ткани на границе с ортотопическим имплантатом из углерод-углеродного композиционного материала и детализации особенностей остеоинтеграции. В ходе исследования изучено морфологическое состояние тканей на границе имплантационно-костного блока при пластике дефектов нижней челюсти имплантатами из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) «Углекон М». Эксперимент выполнен на 10 свиньях — самцах породы «Landras», содержащихся в одинаковых условиях, в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или иных научных целей, и утвержден решением этического комитета ПГМУ им. академика Е. А. Вагнера. У всех животных формировался дефект нижней челюсти размером не менее 1,5х2,0 см с одномоментным его замещением имплантатом из углерод-углеродного композиционного материала. При морфологическом анализе состояния имплантационно-костного блока изучены процессы репаративного восстановления поврежденной костной ткани в динамике, через 180 и 270 суток после оперативного вмешательства. Регенерация костной ткани характеризовалась образованием грубоволокнистой кости с постепенным замещением ее на пластинчатую костную ткань при сохранении формы, размеров и симметрии поврежденного органа. В ходе исследования выявлено, что на границе с имплантатом костный конгломерат заполняет пористые структуры УУКМ, при этом достигается максимальная конгруэнтность с сочленяющимися поверхностями.

Ключевые слова: углерод-углеродные композиционные материалы, имплантат, дефект нижней челюсти, остеоинтеграция, репаративные процессы

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Светлана Ивановна РАПЕКТА ORCID ID 0009-0005-9643-8473

к.м.н., заведующая кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия
Rapsvi@mail.ru

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

д.м.н., заведующая кафедрой ортопедической стоматологии Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия
astashina.nb@gmail.com

Наталья Павловна ЛОГИНОВА ORCID ID 0000-0001-8597-2682

д.м.н., заведующая кафедрой гистологии, цитологии и эмбриологии Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия
loginova.np@psma.ru

Александр Анатольевич СЛЕТОВ ORCID ID 0000-0001-5183-9330

д.м.н., профессор кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия
dr.sletov-aleksandr@yandex.ru

Ольга Сергеевна ТУРСУКОВА ORCID ID 0009-0001-2069-7197

заместитель главного врача по контролю качества и безопасности медицинской деятельности Клинической стоматологической больницы, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия
kvglvasova@yandex.ru

Валерия Евгеньевна КИБАНОВА ORCID ID 0009-0009-1113-522X

ординатор кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии по специальности «Челюстно-лицевая хирургия» Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера, г. Пермь, Россия
lera-k99@bk.ru

Адрес для переписки: Наталья Борисовна АСТАШИНА

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

Образец цитирования:

Рапекта С. И., Асташина Н. Б., Логинова Н. П., Слетов А. А., Турсукова О. С., Кибанова В. Е.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРСониФИЦИРОВАННЫХ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА ПРИ ЗАМЕЩЕНИИ ДЕФЕКТОВ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ. Проблемы стоматологии. 2024; 4: 134-138.

© Рапекта С. И. и др., 2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-134-138

Поступила 25.12.2024. Принята к печати 14.01.2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-134-138

ANALYSIS OF THE EXPERIMENTAL USE OF CUSTOMIZED IMPLANTS FROM CARBON-CARBON COMPOSITE IN REPLACING DEFECTS OF THE LOWER JAW

Rapekta S.I., Astashina N.B., Loginova N.P., Sletov A.A., Tursukova O.S., Kibanova V.E.

Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia

Annotation

The replacement and restoration of defects in the mandible has remained relevant for several decades. The choice of graft, its positioning, and fixation methods are primarily aimed at optimizing the recovery time and quality of life for patients. Optimizing timelines when using foreign materials is possible through the development of an optimal implant design, with its inertness optimizing morphological processes at the interface with the host bone, which is one of the main issues to be studied in a group of patients who are unable to use autotransplants for reconstruction. The morphological aspects of regeneration, osteointegration, and other factors in their use for this category of patients are fundamental and of particular significance.

The aim of the study was to create an experimental model to investigate the morphological aspects of the regenerative activity of bone tissue at the interface with an orthotopic implant made of carbon-carbon composite and to detail the features of osteointegration.

As a result, morphological data were analyzed at the interface of the implant-bone block using the carbon-carbon composite "Uglekon M". The experiment was conducted on 10 male pigs of the "Landras" breed, kept under identical conditions and feeding, in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental or Other Scientific Purposes, and approved by the decision of the ethical committee of the PGMU named after Academician E.A. Wagner. A 5 cm incision was made in the submandibular area under combined anesthesia, creating a defect of at least 1.5x2.0 cm, which was simultaneously replaced with an implant made of carbon-carbon composite material.

Material for morphological analysis was collected on days 180 and 270 without removing the animals from the experiment. Bone tissue regeneration was characterized by the formation of coarse-fibrous bone around the perimeter, followed by its replacement with morphological structures that closely resemble the outer cortical plate. Actively filling the undercuts and voids on the surface of the transplant, the newly formed bone conglomerate achieved maximum congruence with the articulating surfaces across the entire area of the transplant, which was particularly evident in animals with asymmetric shapes and sizes of the restored defects.

Keywords: *carbon-carbon composite materials, implant, mandibular defect, osseointegration, reparative processes*

The authors declare no conflict of interest.

Svetlana I. RAPEKTA ORCID ID 0009-0005-9643-8473

PhD in Medical Sciences, Head of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia
Rapsvi@mail.ru

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

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

Natalya P. LOGINOVA ORCID ID 0000-0001-8597-2682

Grand PhD in Medical Sciences, Head of the Department of Histology, Cytology and Embryology, Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia
loginova.np@psma.ru

Alexander A. SLETOV ORCID ID 0000-0001-5183-9330

Grand PhD in Medical Sciences, Professor of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia
dr.sletov-aleksandr@yandex.ru

Olga S. TURSUKOVA ORCID ID 0009-0001-2069-7197

Deputy Chief Physician for Quality Control and Safety of Medical Activities of the Clinical Dental Hospital, Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia
kvgvasova@yandex.ru

Valeria E. KIBANOVA ORCID ID 0009-0009-1113-522X

Resident of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery, specializing in "Oral and Maxillofacial Surgery", Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia
lera-k99@bk.ru

Correspondence address: Natalia B. ASTASHINA

614990, Perm region, Perm, 26 Petropavlovskaya St., Department of Orthopedic Dentistry
+7 (912) 8860420
astashina.nb@gmail.com

For citation:

Rapekta S.I., Astashina N.B., Loginova N.P., Sletov A.A., Tursukova O.S., Kibanova V.E.

ANALYSIS OF THE EXPERIMENTAL USE OF CUSTOMIZED IMPLANTS FROM CARBON-CARBON COMPOSITE IN REPLACING DEFECTS OF THE LOWER JAW. Actual problems in dentistry. 2024; 4: 00. (In Russ.)

© Rapekta S.I. et al., 2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-4-134-138

Received 25.12.2024. Accepted 14.01.2025

Введение

Наличие дефектов нижней челюсти приводит к расстройствам функции жевания, глотания и речи, вызывает заметные изменения эстетики лица [1].

К причинам возникновения дефектов относятся травмы, в том числе боевые, опухолевые процессы, воздействие химиотерапевтических препаратов, негативно влияющих на состояние и структуру костной ткани [2–4]. По данным исследований, распространенность дефектов нижней челюсти, которые невозможно восстановить с использованием васкуляризованных аутотрансплантатов, составляет от 20 до 30% в доле от всех случаев. Среди причин невозможности — технические сложности выполнения аутотрансплантации, общесоматическое состояние организма человека, размер и форма дефекта, состояние донорской зоны [5–9].

В связи с этим вопросы выбора оптимальных конструкционных материалов, обеспечивающих эффективную имплантацию для восстановления дефектов нижней челюсти, имеют важное значение [10].

Цель

Изучение морфологических аспектов регенераторной активности костной ткани на границе с ортотопическим имплантатом из углерод-углеродного композиционного материала с детализацией особенностей остеointеграции.

Материалы и методы

Изучено морфологическое состояние тканей на границе имплантационно-костного блока при пластике дефектов нижней челюсти имплантатами из УУКМ «Углекон М».

Эксперимент проведен в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или иных научных целей, и утвержден решением этического комитета ПГМУ им. академика Е. А. Вагнера. В экспериментальную группу введены 10 свиней — самцов породы «Landras» в возрасте 50–55 сут., массой 17–18,5 кг, содержащихся в одинаковых условиях, с обеспечением равного доступа к корму и воде. Всем животным под комбинированным

обезболиванием (внутривенная нейролептаналгезия и местная анестезия) выполнялся разрез в поднижнечелюстной области длиной 5 см с искусственным созданием дефекта 1,5х2,0 см и последующим замещением его имплантационными системами, изготовленными из УУКМ.

Скелетирование нижней челюсти осуществлялось в области тела как с вестибулярной, так и с внутренней стороны. Дефект с нарушением непрерывности анатомической целостности челюсти формировали алмазным диском, с постоянным водным охлаждением (рис. 1). Далее проводили припасовку подготовленного имплантата (рис. 2). Имплантат фиксировали костными швами (рис. 3).

Операционную рану ушивали послойно кетгутотом, кожные швы — полиамидным материалом 4.0. После операции животные находились под наблюдением ветеринара, получали антибиотики, антигистаминные и обезболивающие препараты. Осмотр и при необходимости, перевязки выполняли ежедневно до снятия швов. Швы снимали на 12–14-е сутки.

Животные выводились из эксперимента спустя 180 и 270 суток после оперативного вмешательства. Для изучения особенностей репаративной регенерации в области дефекта иссекали участки имплантационно-костного блока, фиксировали в 10% нейтральном формалине на фосфатном буфере (pH = 7,2), затем на протяжении 3,5 месяцев проводили декальцинацию раствором Трилона Б (с ежедневной сменой раствора). Блоки заливали в парафин по общепринятой методике. Срезы окрашивали гематоксилином — эозином и по Ван Гизону. Окрашенные гистологические препараты подлежали морфологическому исследованию с использованием системы микроскопического анализа на микроскопе фирмы «Leica» с объективом x40 и окуляром x10. Проанализированы морфологические показатели и динамика процессов остеointеграции в участках по периферии имплантационно-костного блока. Всего изучено 84 гистологических препарата.

Результаты и обсуждение

При макроскопическом исследовании препаратов, включающих имплантационно-костный блок тела нижней челюсти свиньи, выявлено, что во всех случаях имплантаты плотно соединены с окружающей костной тканью, и нарушений роста челюсти не отмечается.



Рис. 1. Дефект в области нижней челюсти
Fig. 1. Defect in the lower jaw area



Рис. 2. Имплантат из углерод-углеродного композиционного материала, подготовленный для фиксации в область дефекта
Fig. 2. Carbon-carbon composite material implant prepared for fixation in the defect area



Рис. 3. Фиксация имплантата костными швами
Fig. 3. Fixation of the implant with bone sutures

На рис. 4 представлен костный блок с ранее введенным имплантатом из УУКМ. Места фиксации имплантата покрыты новообразованной костной тканью. Практически не визуализируемая металлическая проволока соответствует макроморфологической картине завершеного процесса остеоинтеграции (рис. 4). Нагрузочные пробы в проекции сочленения имплантата с костной тканью характеризуются отсутствием микроэксурсий, подвижности, отмечается плотный контакт структур, соответствующих завершеному процессу образования кости вокруг имплантированной конструкции.

Морфологическая картина на границе углероднокостного блока без признаков патологии представлена обширными участками коллагеновых волокон с разветвленной сетью кровеносных сосудов. По периферии от визуализированных кровеносных сосудов и тканей, окружающих имплантат, выявлены признаки активно формирующейся надкостницы с вновь образованной грубоволокнистой костью (рис. 5).

Для данной морфологической картины также характерен интенсивный фагоцитоз по периферии от имплантационного материала. Процесс фагоцитоза свободно лежащих микрочастиц углеродного материала наблюдается по всей площади соприкосновения, с характерным образованием аналога пустот, в которые устремляются вновь образуемые остеобласты и кровеносные сосуды. Как те, так и другие вырастают со стороны формирующейся надкостницы и костных балок грубоволокнистой кости. Представленная микроскопическая картина соответствует макроморфологической картине с явлениями интеграции УУКМ «Углекон М»: так, на ранних стадиях она с признаками рыхлого строения, и на более поздних стадиях характеризуется грубым обволакиванием. Вероятно, это связано со скоростью миграции остеобластов в «пустые» участки и интенсивностью клеточного взаимодействия со структурами имплантата.

По мере замещения типичной пластинчатой костной ткани вокруг имплантата (рис. 6) преобладает грубоволокнистая, что сопровождается снижением частоты встречаемости частиц УУКМ в морфологических препаратах. Данная картина соответствует регрессу перифокальных явлений клеточной инфильтрации в проекции операционной раны.

Регистрируемая миграция от периферии к центру с замещением соединительной ткани остеобластами и формированием грубоволокнистой кости соответствует клинической картине (рис. 7).

Как известно, кость представленного типа подвергается быстрому разрушению остеокластами, и стареющие волокна соединительной ткани — фиброкластами (рис. 8).

По периферии от имплантата, где постепенно формируется надкостница, костная ткань развивается замедленно, так как под надкостницей быстрее формируется рыхлая соединительная ткань. Данная морфологическая картина на протяжении регенерирующей кости сохраняется недолго. Появляется все больше зон

с гораздо меньшим объемом соединительной ткани (рис. 9).

Вместе с соединительной тканью и сосудами в образующиеся лакуны на места частиц углеродного материала «Углекон М» вырастают периваскулярные клетки, индуцибельные к остеогенезу. Их способность к преобразованию в остеобласты является еще одним звеном постепенного заполнения лакун костной тканью. Такой же процесс происходит и в полостях уже сформированной пластинчатой кости, о чем говорилось выше (рис. 10).

Как через шесть, так и через 9 месяцев с момента пластического замещения кости имплантатом в сформированной пластинчатой кости регистрируется неравномерно окрашивающееся межклеточное вещество, что ярко свидетельствует о неодинаковой степени минерализации костной ткани (рис. 11).

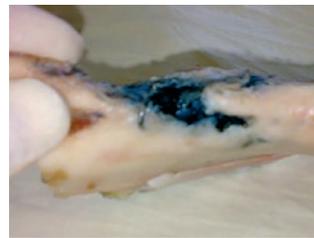


Рис. 4. Макропрепарат (через 270 суток от начала эксперимента): имплантат фиксирован к костной ткани

Fig. 4. Macropreparation (270 days from the start of the experiment): the implant is fixed to the bone tissue

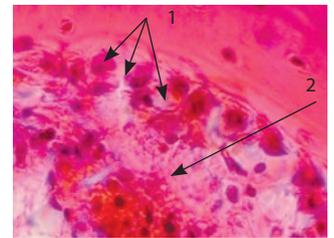


Рис. 5. Грубоволокнистая костная ткань с наличием остеобластов (1), коллагеновых волокон (2). 6 месяцев после операции. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. x400

Fig. 5. Coarse fibrous bone tissue with osteoblasts (1), collagen fibers (2). 6 months after surgery. Coloring of hematoxylin and eosin. Increase x400

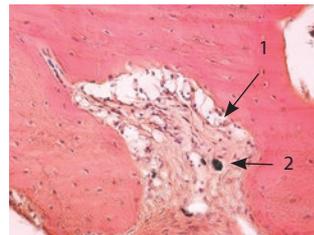


Рис. 6. Соединительная ткань (1) с отдельными зернами углеродного материала «Углекон М» (2) 6 месяцев после операции. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. x105

Fig. 6. Connecting tissue (1) with individual grains of carbon material "Uglekon M" (2) 6 months after surgery. Coloring of hematoxylin and eosin. Increase x105

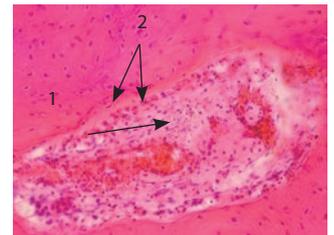


Рис. 7. Соединительная ткань, свободная от частиц углеродного материала (1), формирование по периферии грубоволокнистой кости остеобластами (2). 9 месяцев после операции. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. x400

Fig. 7. Connective tissue free of particles of carbon material (1), formation of coarse fibrous bone on the periphery by osteoblasts (2). 9 months after surgery. Coloring of hematoxylin and eosin. Increase x400

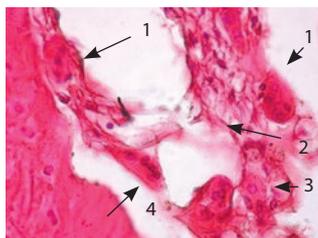


Рис. 8. Остеокласты (1), соединительная ткань (2), фибробласты (3), балка грубоволокнистой кости (4). 6 месяцев после операции.

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. x400

Fig. 8. Osteoclasts (1), connective tissue (2), fibroblasts (3), coarse fibrous bone beam (4). 6 months after surgery.

Coloring of hematoxylin and eosin. Increase x400



Рис. 9. Формирование надкостницы (1) с подлежащей соединительной тканью (2). 6 месяцев после операции.

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. x400

Fig. 9. Formation of the periosteum (1) with the underlying connective tissue (2). 6 months after surgery. Coloring of hematoxylin and eosin. Increase x400



Рис. 10. Формирующийся остеон (показан стрелками). 9 месяцев после операции.

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. x400

Fig. 10. Emerging osteon (shown by arrows). 9 months after surgery. Coloring of hematoxylin and eosin. Increase x400

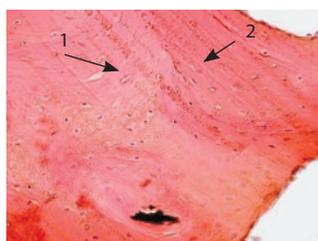


Рис. 11. Разная степень окрашивания матрикса пластинчатой кости — более слабое (1), более интенсивное (2). 9 месяцев после операции.

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. x70

Fig. 11. Different degree of staining of the matrix of the lamellar bone – weaker (1), more intense (2). 9 months after surgery. Coloring of hematoxylin and eosin. Increase x70

При этом процессы минерализации и деминерализации участков грубоволокнистой кости, происходящие в разных зонах и скоростях, обусловлены различными локальными условиями костеобразования на фоне различных общих процессов жизнедеятельности макроорганизма. В целом, если не акцентировать внимание на темпах роста и развития конкретного животного, очевидно, что процесс заместительной регенерации костной ткани происходит на всем протяжении остеоинтеграции имплантата неравномерно, в том числе и по этой причине.

Таким образом, на границе имплантационно-костного блока при введении имплантационных систем из УУКМ выявлены процессы восстановления поврежденной костной ткани с сохранением заданной формы и размера. Следует отметить, что при осмотре животных в раннем послеоперационном периоде была зарегистрирована некоторая асимметрия мягких тканей, что обусловлено периостальными реакциями, неизбежно проистекающими вокруг имплантируемой субстанции, скорый регресс которых свидетельствует о биологической инертности исследуемого материала. Высокая степень прогнозируемости минимальных рисков развития осложнений, побочных эффектов и результатов при использовании предлагаемого материала свидетельствует о возможности его применения для пациентов, которым по тем или иным причинам противопоказана аутотрансплантация.

Выводы

Результаты морфологических исследований свидетельствуют о высокой интенсивности регенераторного потенциала костной ткани, успешной остеоинтеграции имплантатов, выполненных из углерод-углеродного композиционного материала «Углекон М», а отсутствие признаков отторжения имплантата и дистрофических изменений по его периферии могут быть учтены в клинической практике при разработке и использовании конструкций имплантационных систем.

Литература/References

1. Диков Ю.Ю. Реконструкция нижней челюсти с использованием микрохирургических методов у больных с опухолями челюстно-лицевой области; автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук; 14.01.12. Москва; 2015. 25 с. [Dikov Y.Y. Reconstruction of the lower jaw using microsurgical methods in patients with tumors of the maxillofacial region; abstract of a dissertation for the degree of candidate of medical sciences; 14.01.12. Moscow; 2015. 25 p. (In Russ.)]. <https://medical-diss.com/medicina/rekonstruktsiya-nizhney-chelyusti-s-ispolzovaniem-mikrohirurgicheskikh-metodov-u-bolnyh-s-opuholyami-chelyustno-litsevoy-o>
2. Таиров У.Т., Юсупов З.Я., Джумаев Ш.М. Использование реконструктивных титановых пластин и имплантатов мышечного оттока при хирургическом лечении новообразований нижней челюсти. Вестник Авиценны. 2015;(2):64-68. [Tairov U.T., Yusupov Z.Ya., Jumayev Sh.M. Use of reconstructive titanium plate and the implants condylar process in the surgical treatment of the neoplasms of mandible. Avicenna Bulletin. 2015;(2):64-68. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2015-17-2-64-68>
3. Таиров У.Т., Джумаев Ш.М., Кудратов А.Р. Остеопластические материалы для замещения дефектов и деформаций нижней челюсти. Вестник Академии медицинских наук Таджикистана. 2016;(3):90-100. [Tairov U.T., Jumayev Sh.M., Kudratov A.R. Reconstructive – plastic operation for defects and deformations of the lower jaw. Medical Bulletin of the National Academy of Sciences of Tajikistan. 2016;(3):90-100. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28904280>
4. Torroni A., Marianetti T.M., Romandini M., Gasparini G., Cervelli D., Pelo S. Mandibular Reconstruction With Different Techniques. The Journal of craniofacial surgery. 2015;26(3):885-890. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000001411>
5. Hurley C.M., McConn Walsh R., Shine N.P., O'Neill J.P., Martin F., O'Sullivan J.B. Current trends in craniofacial reconstruction. The surgeon. 2023;21(3):e118-e125. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2022.04.004>
6. Wilde F., Hanken H., Probst F., Schramm A., Heiland M., Cornelius C.P. Multicenter study on the use of patient-specific CAD/CAM reconstruction plates for mandibular reconstruction. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2015;10(12):2035-2051. <https://doi.org/10.1007/s11548-015-1193-2>
7. Modabber A., Möhlhenrich S.C., Ayoub N., Hajji M., Raith S., Reich S., et al. Computer-Aided Mandibular Reconstruction With Vascularized Iliac Crest Bone Flap and Simultaneous Implant Surgery. The Journal of Oral Implantology. 2015;41(5):e189-e194. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-d-13-00341>
8. Modabber A., Ayoub N., Möhlhenrich S.C., Goloborodko E., Sönmez T.T., Ghassemi M., et al. The accuracy of computer-assisted primary mandibular reconstruction with vascularized bone flaps: iliac crest bone flap versus osteomyocutaneous fibula flap. Medical Devices: Evidence and Research. 2014;7:211-217. <https://doi.org/10.2147/mder.s62698>
9. Chen S.H., Chen H.C., Horng S.Y., Tai H.C., Hsieh J.H., Yeong E.K., et al. Reconstruction for Osteoradionecrosis of the Mandible. Annals of Plastic Surgery. 2014;73 Suppl 1:S18-26. <https://doi.org/10.1097/sap.0000000000000270>
10. Котельников Г.П., Колсанов А.В., Щербовских А.Е., Николаенко А.Н., Приходько С.А., Попов Н.В. и др. Реконструкция посттравматических и послеоперационных дефектов нижней челюсти. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2017;(7):69-72. [Kotelnikov G.P., Kolsanov A.V., Shcherbovskikh A.E., Nikolaenko A.N., Prikhod'ko S.A., Popov N.V., et al. Reconstruction of posttraumatic and postoperative defects of lower jaw. Pirogov Russian Journal of Surgery. 2017;(7):69-72. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2017769-72>