

УДК 616.314.17-089.844:615.462:611.716.1-018.4  
DOI 10.34014/2227-1848-2023-4-144-152

## МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТИНА КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ДИСПЕРСНОГО БИОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ВОЛЛАСТОНИТА

И.С. Афонин<sup>1</sup>, В.И. Апанасевич<sup>1</sup>, С.В. Зиновьев<sup>1</sup>, Е.К. Папынов<sup>2</sup>,  
И.О. Евдокимов<sup>2</sup>, О.О. Шичалин<sup>2</sup>, В.В. Усов<sup>2</sup>, Е.П. Костив<sup>1</sup>, Н.Г. Плехова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Владивосток, Россия;  
<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Россия

*Цель исследования – изучить структуру костной ткани, окружающей зуб в норме, после его удаления и при размещении графта на основе волластонита, допированного гидроксиапатитом, в альвеоле нижней челюсти подопытного животного (кролик).*

*Материалы и методы. В качестве экспериментальной модели были взяты самки кроликов породы новозеландский белый (n=9), выращенные в условиях животноводческой фермы. Возраст каждого животного составлял 1 год, масса варьировала от 1,7 до 3 кг. В ветеринарной клинике г. Владивостока под комбинированным наркозом проводились операции по экстракции латеральных резцов нижней челюсти у подопытных с последующей аугментацией альвеол графтом на основе волластонита с гидроксиапатитом. После проведения хирургических вмешательств операционные раны ушивались наглухо нерассасывающимся шовным материалом («Викрилл», США). Обработка операционных ран проводилась в течение 15 сут (0,9 % раствором NaCl). В первые сутки животных кормили жидкой пищей. Кролики находились под динамическим наблюдением в процессе всего эксперимента.*

*Результаты. Аугментация альвеол экстрагированных резцов графтом на основе волластонита с гидроксиапатитом оказала положительное влияние на процессы костной регенерации, а именно привела к достоверному восстановлению толщины кортикальных пластинок и сохранению объёма костных балок альвеолярного отростка нижней челюсти. Об этом свидетельствуют результаты морфологического исследования гистологических препаратов, полученных от подопытных (альвеолярный отросток нижней челюсти). Токсических влияний на окружающие ткани выявлено не было.*

*Выводы. Проведенное исследование позволяет подтвердить биоактивные качества синтезированного графта на основе волластонита с гидроксиапатитом и доказать отсутствие его токсического воздействия на окружающие ткани.*

**Ключевые слова:** дисперсный волластонит, биоккомпозит, аугментация альвеол.

**Введение.** Репаративная регенерация костной ткани представляет собой сложноорганизованный процесс [1]. Вопрос о понимании закономерностей процессов регенерации костной ткани в присутствии остеопластических материалов на данный момент имеет очень большое значение, так как при потере зубов наблюдается агрессивная атрофия альвеолярных отростков [1, 2]. Для решения данной проблемы используются различные остеопластические материалы с выраженными биоактивными свойствами [3, 4]. Так, могут быть использованы порошок аутокости и ксенотрансплантаты, взятые от крупного рога-

того скота и свиньи [5, 6], а также синтетические материалы: биостекло [7], биополимеры [8], карбонат и сульфат кальция, трикальций-фосфат и гидроксиапатит [9].

К одному из таких материалов может относиться биоккомпозит на основе волластонита [10]. Первые сообщения об успешном использовании волластонита относятся к концу XX – началу XXI в. [11, 12]. Его допируют синтетическим гидроксиапатитом, который при взаимодействии с окружающими костными тканями способен активно выделять ионы  $Ca^{2+}$  и  $SiO_3^{2-}$ , что улучшает биоактивные свойства волластонита, используемого для за-

мещения дефектов костной ткани [13, 14]. При комбинации методов темплатного золь-гель-синтеза и искрового плазменного спекания возможен синтез дисперсного остеопластического материала с хорошими механическими характеристиками и высокой биосовместимостью [15–17].

Как правило, материалы, используемые для увеличения объема костной ткани альвеолярного отростка, помещаются в области дефекта костной ткани в ходе оперативного вмешательства: либо при расщеплении альвеолярного отростка [18], либо при направленной костной регенерации [19]. Однако имеются сообщения о возможности размещения имплантируемого материала непосредственно в альвеолах удаленных зубов с целью предотвращения развития дегенеративных изменений [20].

**Цель исследования.** Изучить структуру костной ткани, окружающей зуб в норме, после его удаления и при размещении графта на основе волластонита, допированного гидроксипатитом, в альвеоле нижней челюсти подопытного животного (кролик).

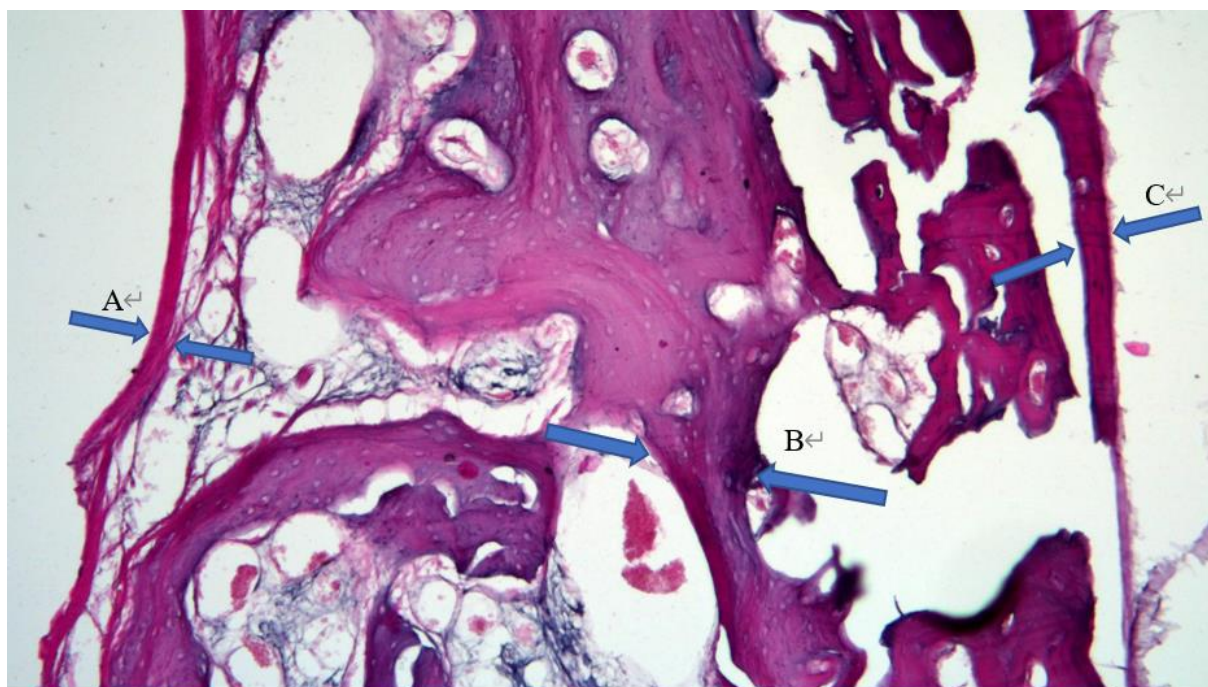
**Материалы и методы.** Для подтверждения наличия биоактивных свойств у графта на основе волластонита, допированного гидроксипатитом, были использованы 9 выращенных в условиях животноводческой фермы самок кроликов породы новозеландский белый. Возраст каждого животного составлял 1 год, масса варьировала от 1,7 до 3 кг. Подопытные были разбиты на 3 группы по 3 животных в каждой: группа 1 – контрольная, без оперативного вмешательства; группа 2 – удаление зуба 3.1 без последующей аугментации; группа 3 – удаление зуба 3.1 с последующей аугментацией графтом на основе волластонита с гидроксипатитом. Под медикаментозным комбинированным наркозом (2 % ксилонин (5 мг/кг), 5 % раствор гидрохлорида кетамина (30 мг/кг) и 2 % раствор лидокаина (0,3 мг/кг)) проводилась синдесмотомия (удаление круговой связки зуба) с последующей экстракцией резцов 3.1. В течение двух минут осуществлялся кюретаж альвеол удаленных зубов. Затем альвеолы животных в экспериментальной группе аугментировались графтом (порош-

ком) на основе волластонита, допированного гидроксипатитом. Фракция графта составляла от 0,1 до 0,05 мм, объём – 1,5 см<sup>3</sup>. Далее операционная рана ушивалась наглухо узловыми нерассасывающимися швами («Викрилл», США). Операционная рана в течение недели обрабатывалась 0,9 % раствором хлористого натрия. На 10-е сут швы снимались.

Эвтаназия животных проводилась через 60 дней путем внутримышечного введения 2 % ксилонина и 5 % кетамина с последующим введением 1 % пропафола (5 мг/кг) и 19,1 % хлористого калия (1 мг/кг). Все манипуляции с подопытными животными осуществлялись в соответствии с принципами Хельсинкской декларации о гуманном обращении с животными. Проведение исследований одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО ТГМУ Минздрава России (протокол № 3 от 16 ноября 2020 г.). В качестве материала для гистологического исследования был выбран фрагмент нижней челюсти. После изъятия фрагменты фиксировались в формалине и декальцинировались в растворе «СофтиДек» («БиоВитрум», Россия). Из декальцинированного биоматериала изготавливались парафиновые блоки и делались срезы толщиной 16–20 мкм, которые окрашивались гематоксилином Эрлиха, эозином и по методу Маллори, после чего просматривались с помощью микроскопа CX41, оснащенного цифровой камерой U-TV0.35XC-2 (Olympus, Япония), при увеличениях  $\times 100$  и  $\times 200$ . Измерения проводились в 10 точках у трех животных в каждой группе (рис. 1). Морфометрическая обработка полученных изображений в 10 полях зрения осуществлялась с помощью программы CellSens (Olympus, Япония).

Статистическая обработка полученных данных производилась с помощью t-критерия Стьюдента и непараметрического критерия Манна – Уитни. Нормальность распределения проверялась с использованием критерия Шапиро – Уилка.

**Результаты и обсуждение.** Исследованию подвергался альвеолярный отросток нижней челюсти: в проекции зубов 3.1 (группа 1), в области удаленных зубов (группа 2) и после аугментации (группа 3).



**Рис. 1.** Схема измерения компонентов компактной кости стенки альвеол зубов-резцов после экстракции зуба: А – внутренняя кортикальная пластинка стенки альвеол зубов, В – балки компактной кости, С – наружная кортикальная пластинка.  
Окраска гематоксилином Эрлиха, эозином. Ув.  $\times 100$

**Fig. 1.** Components of the compact bone in the alveolar wall of incisors after tooth extraction: А – internal cortical plate in the dental alveolar wall, В – compact bone beams, С – external cortical plate. Ehrlich's hematoxylin and eosin staining (magnification,  $\times 100$ )

В качестве препаратов для гистологии были использованы фрагменты переднего отдела нижней челюсти, куда был имплантирован биокомпозит.

Экстракция зубов приводит к резорбции внутренней кортикальной пластинки альвеолярного отростка нижней челюсти, что нашло выражение в уменьшении показателей её толщины (рис. 1). Восстановление толщины кортикальной пластинки происходило в группе 3 после аугментации графтом на основе волластонита с гидроксиапатитом. Отмечалось утолщение периоста и пародонта. Видны новообразующиеся кровеносные сосуды различного калибра.

Следует сделать вывод о том, что при введении в альвеолы удаленных зубов биокомпозита прорастание кровеносных сосудов

и соединительной ткани в имплант происходит без истончения и рассасывания костных балок и трабекул компактной кости.

В табл. 1 приведены морфометрические показатели костной ткани животных исследуемых групп.

Внешний диаметр остеона на щечной и язычной поверхностях нижней челюсти, толщина кортикальной пластинки и периоста на поверхности зубной лунки при имплантации увеличились по сравнению с контролем.

Как следует из табл. 1, ширина внутренней и наружной кортикальных пластинок и толщина костных балок компактной кости альвеолярного отростка нижней челюсти кости в группе 3 были достоверно больше, чем в группе 2, но не имели значимых различий по сравнению с группой 1.

Таблица 1  
Table 1**Морфометрическая характеристика костной ткани  
альвеолярного отростка нижней челюсти****Morphometric characteristics of the bone tissue in the alveolar process of the lower jaw**

Показатель Parameter	Группа 1 (контроль) Group 1 (control) (n=3)	Группа 2 (удаление зуба) Group 2 (tooth extraction) (n=3)	Группа 3 (удаление + аугментация) Group 3 (extraction + augmentation) (n=3)
Ширина внутренней кортикальной пластинки, мкм Thickness of the inner cortical plate, $\mu\text{m}$	65,6 $\pm$ 3,4	30,9 $\pm$ 3,4**	50,9 $\pm$ 3,5**
Ширина наружной кортикальной пластинки, мкм Thickness of the outer cortical plate, $\mu\text{m}$	237,6 $\pm$ 1,8	219,4 $\pm$ 4,8*	231,8 $\pm$ 2,6*
Толщина костных балок, мкм Thickness of bone beams, $\mu\text{m}$	52,1 $\pm$ 3,9	30,6 $\pm$ 3,7*	68,5 $\pm$ 6,5*

**Примечание.** Различия между показателями достоверны: \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,001$ .

**Note.** The differences are significant: \* –  $p < 0.05$ , \*\* –  $p < 0.001$ .

Таким образом, после экстракции зубов происходит резорбция внутренней кортикальной пластинки и уменьшение толщины костных балок компактной кости альвеолярного отростка нижней челюсти, если не проводится аугментация альвеолы зуба графтом на основе волластонита, допированного гидроксиапатитом. Аналогичный результат стимуляции репарации костной ткани был получен при использовании каркасов из волластонита с трикальцийфосфатом [20] и пористой биокерамикой из  $\beta$ -трикальциевого фосфата [21]. Как показали исследования, пористость имплантируемых изделий оказывала значительное влияние на скорость интеграции имплантируемых веществ. В этом плане используемый в данном исследовании графт на основе волластонита с гидроксиапатитом при аугмента-

ции альвеолярного отростка имеет явные преимущества за счет дисперсности своей структуры.

**Заключение.** В ходе проведения исследования было показано, что графт на основе волластонита с гидроксиапатитом активно препятствует дегенерации внутренней и наружной кортикальных пластинок альвеолярного отростка нижней челюсти. Немаловажным компонентом, обеспечивающим прочность костной ткани нижней челюсти, является сохранение толщины костных балок, что также обеспечивается аугментацией графтом на основе волластонита, допированного гидроксиапатитом. Таким образом, данный материал можно рассматривать в качестве перспективного для сохранения объема костной ткани при утрате зубов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-73-10107).*

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Вклад авторов

Разработка концепции и дизайна: Афонин И.С.

Анализ и интерпретация данных: Афонин И.С., Апанасевич В.И., Евдокимов И.О., Шичалин О.О., Плехова Н.Г.

Обоснование рукописи или проверка критически важного интеллектуального содержания:

Зиновьев С.В., Апанасевич В.И., Усов В.В.

Окончательное утверждение для публикации рукописи: Апанасевич В.И., Зиновьев С.В., Папынов Е.К., Костив Е.П.

### Литература

1. Boersema G.S., Grotenhuis N., Bayon Y., Lange J.F., Bastiaansen-Jenniskens Y.M. The Effect of Biomaterials Used for Tissue Regeneration Purposes on Polarization of Macrophages. *BioResearch Open Access*. 2016; 5 (1): 6–14. DOI: 10.1089/biores.2015.0041.
2. Kuć J., Sierpińska T., Gołębiwska M. Alveolar ridge atrophy related to facial morphology in edentulous patients. *Clinical Interventions in Aging*. 2017; 12 (1): 1481–1494. DOI: 10.2147/CIA.S140791.
3. Tarasenko S.V., Ershova A.M. Synthetic osteoplastic materials for alveolar bone augmentation before dental implantation. *Stomatologiya*. 2017; 96 (2): 70–74. DOI: 10.17116/stomat201796270-74.
4. Araújo M.G., Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *Journal of clinical periodontology*. 2005; 32 (2): 212–218. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2005.00642.x.
5. Todorovic L., Bogdanovic D., Obradovic O. Involution of the mandibular alveolar process and dental branches of the inferior dental artery. *Bulletin du Groupement international pour la recherche scientifique en stomatologie & odontologie*. 1982; 25 (1): 65–71.
6. Ananyan S.G., Gunko M.V., Zakaryan A.V., Gvetadze S.R. Surgical aspects of alveolar bone augmentation. *Stomatologiya*. 2015; 94 (2): 47–52. DOI: 10.17116/stomat201594247-52.
7. Shao H., Sun M., Zhang F. Custom Repair of Mandibular Bone Defects with 3D Printed Bioceramic Scaffolds. *Journal of Dental Research*. 2018; 97 (1): 68–76. DOI: 10.1177/0022034517734846.
8. Iaquinta M.R., Mazzoni E., Manfrini M. Innovative biomaterials for bone regrowth. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; 20 (3): 1–17. DOI: 10.3390/ijms20030618.
9. Anghelescu V.M., Neculae I., Dincă O. Inflammatory-driven angiogenesis in bone augmentation with bovine hydroxyapatite, B-tricalcium phosphate, and bioglasses: A comparative study. *Journal of Immunology Research*. 2018; 2018 (9): 1–8. DOI: 10.1155/2018/9349207.
10. Saghiri M.A., Asatourian A., Garcia-Godoy F., Sheibani N. The role of angiogenesis in implant dentistry part II: The effect of bone-grafting and barrier membrane materials on angiogenesis. *Medicina Oral, Patologia Oral, Cirugia Bucal*. 2016; 21 (4): e526–e537. DOI: 10.4317/medoral.21200.
11. Zenebe C.G. A Review on the Role of Wollastonite Biomaterial in Bone Tissue Engineering. *BioMed Research International*. 2022; 13 (1): 4996530. DOI: 10.1155/2022/4996530.
12. Ge R., Xun C., Yang J., Jia W., Li Y. In vivo therapeutic effect of wollastonite and hydroxyapatite on bone defect. *Biomedical Materials*. 2019; 14 (6): 065013. DOI: 10.1088/1748-605X/ab4238.
13. Epple M., Chernousova S. Bioactive bone substitution materials. *Advanced Biomaterials and Devices in Medicine*. 2014; 1 (1): 74–86. DOI: 10.24411/2409-2568-2014-00008.
14. Himansu S.N., Thomas V., Nukavarapu S.P. Biomaterials 2021: Future of biomaterials. *Current Opinion in Biomedical Engineering*. 2021; 18 (1): 100304. DOI: 10.1016/j.cobme.2021.100304.
15. Xu J.L., Khor K.A. Chemical analysis of silica doped hydroxyapatite biomaterials consolidated by a spark plasma sintering method. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2007; 101 (2): 187–195. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2006.09.030.
16. Cheah C.W., Al-Namnam N.M., Lau M.N. Synthetic Material for Bone, Periodontal, and Dental Tissue Regeneration: Where Are We Now, and Where Are We Heading Next? *Materials*. 2021; 14 (20): 6123. DOI: 10.3390/ma14206123.
17. Jahan K., Tabrizian M. Composite biopolymers for bone regeneration enhancement in bony defects. *Biomaterials Science*. 2016; 4 (1): 25–39. DOI: 10.1039/c5bm00163c.
18. Smeets R., Matthies L., Windisch P. Horizontal augmentation techniques in the mandible: a systematic review. *International Journal of Implant Dentistry*. 2022; 8 (1): 23. DOI: 10.1186/s40729-022-00421-7.

19. Tolstunov L., Hamrick J.F.E., Broumand V. Bone Augmentation Techniques for Horizontal and Vertical Alveolar Ridge Deficiency in Oral Implantology. Oral and maxillofacial surgery clinics of North America. 2019; 31 (2): 163–191. DOI: 10.1016/j.coms.2019.01.005.
20. Barbosa W.T., de Almeida K.V., de Lima G.G. Synthesis and in vivo evaluation of a scaffold containing wollastonite/ $\beta$ -TCP for bone repair in a rabbit tibial defect model. Journal of biomedical materials research. Part B. Applied biomaterials. 2020; 108 (3): 1107–1116. DOI: 10.1002/jbm.b.34462.
21. Xu S., Lin K., Wang Z. Reconstruction of calvarial defect of rabbits using porous calcium silicate bioactive ceramics. Biomaterials. 2008; 29 (17): 2588–2596. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2008.03.013.

Поступила в редакцию 13.05.2023; принята 17.07.2023.

#### Авторский коллектив

**Афонин Игорь Сергеевич** – соискатель, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 690002, Россия, г. Владивосток, пр-т Острякова, 2; e-mail: igor23-45@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5564-7579>.

**Апанасевич Владимир Иосифович** – доктор медицинских наук, профессор Института хирургии, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 690002, Россия, г. Владивосток, пр-т Острякова, 2; e-mail: oncolog222@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0808-5283>.

**Зиновьев Сергей Викторович** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Центральной научно-исследовательской лаборатории, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 690002, Россия, г. Владивосток, пр-т Острякова, 2; e-mail: Sinowev@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6022-6130>.

**Папынов Евгений Константинович** – кандидат химических наук, заведующий лабораторией ядерных технологий, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10; e-mail: papunov@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1185-7718>.

**Евдокимов Иван Олегович** – соискатель, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10; e-mail: evdokimov.ivan111@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1942-1732>.

**Шичалин Олег Олегович** – кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории ядерных технологий, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10; e-mail: oleg\_shich@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2441-6209>.

**Усов Виктор Васильевич** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой клинической и экспериментальной хирургии, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10; e-mail: usov.vv@dvfu.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1182-7551>.

**Костив Евгений Петрович** – доктор медицинских наук, профессор Института хирургии, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 690002, Россия, г. Владивосток, пр-т Острякова, 2; e-mail: plastina@ Rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6484-7476>.

**Плехова Наталья Геннадьевна** – доктор биологических наук, заведующий Центральной научно-исследовательской лабораторией, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 690002, Россия, г. Владивосток, пр-т Острякова, 2; e-mail: pl\_nat@hotmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8701-7213>.

#### Образец цитирования

Афонин И.С., Апанасевич В.И., Зиновьев С.В., Папынов Е.К., Евдокимов И.О., Шичалин О.О., Усов В.В., Костив Е.П., Плехова Н.Г. Морфологическая картина костной ткани при имплантации дисперсного биокомпозиата на основе волластонита. Ульяновский медико-биологический журнал. 2023; 4: 144–152. DOI: 10.34014/2227-1848-2023-4-144-152.

## MORPHOLOGICAL PATTERN OF BONE TISSUE DURING IMPLANTATION OF DISPERSED BIOCOMPOSITE BASED ON WOLLASTONITE

I.S. Afonin<sup>1</sup>, V.I. Apanasevich<sup>1</sup>, S.V. Zinov'ev<sup>1</sup>, E.K. Papynov<sup>2</sup>, I.O. Evdokimov<sup>2</sup>,  
O.O. Shichalin<sup>2</sup>, V.V. Usov<sup>2</sup>, E.P. Kostiv<sup>1</sup>, N.G. Plekhova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pacific State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation,  
Vladivostok, Russia;

<sup>2</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

*The purpose of the study is to analyze the structure of the bone tissue surrounding a tooth under normal conditions, after tooth extraction and after placing wollastonite / hydroxyapatite scaffolds into the mandibular alveolus of a test animal (rabbit).*

*Materials and Methods.* Female New Zealand White rabbits (n=9), raised on a farm, were used as test animals. The animals were 12 months old, and weighed 1.7–3 kg. Surgeries were performed in a veterinary clinic in Vladivostok, under combined anesthesia. Mandibular lateral incisors were extracted in test animals. The surgery was followed by alveoli augmentation with wollastonite/hydroxyapatite scaffolds. After surgical procedures, the wounds were tightly sutured with nonabsorbable suture material (Vicryl, USA). Surgical wounds were debrided for 15 days (0.9 % NaCl solution). During first 24-hours after the operation, the animals were on a soft no chew diet. The rabbits were under dynamic observation throughout the experiment.

*Results.* Alveoli augmentation of the extracted incisors with wollastonite / hydroxyapatite scaffolds had a positive effect on bone regeneration. It led to a significant restoration of the cortical plate thickness and preservation of the bone beams volume of the mandibular alveolar process. This is evidenced by the results of a morphological study of histologic specimen obtained from experimental subjects (mandibular alveolar process). No toxic effects on surrounding tissues were detected.

*Conclusion.* The study allows us to confirm the bioactive qualities of the synthesized wollastonite/hydroxyapatite scaffolds and prove the lack of toxic side-effects on surrounding tissues.

**Key words:** dispersed wollastonite, biocomposite, alveolar augmentation.

*The research was supported by the Russian Science Foundation (project No. 18-73-10107).*

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

### Author contributions

Research concept and design: Afonin I.S.

Data analysis and interpretation: Afonin I.S., Apanasevich V.I., Evdokimov I.O., Shichalin O.O., Plekhova N.G.

Rationale for manuscript, review of critically important knowledge-based content: Zinov'ev S.V., Apanasevich V.I., Usov V.V.

Final approval for publication: Apanasevich V.I., Zinov'ev S.V., Papynov E.K., Kostiv E.P.

### References

1. Boersema G.S., Grotenhuis N., Bayon Y., Lange J.F., Bastiaansen-Jenniskens Y.M. The Effect of Biomaterials Used for Tissue Regeneration Purposes on Polarization of Macrophages. *BioResearch Open Access*. 2016; 5 (1): 6–14. DOI: 10.1089/biores.2015.0041.
2. Kuć J., Sierpińska T., Gołębiowska M. Alveolar ridge atrophy related to facial morphology in edentulous patients. *Clinical Interventions in Aging*. 2017; 12 (1): 1481–1494. DOI: 10.2147/CIA.S140791.
3. Tarasenko S.V., Ershova A.M. Synthetic osteoplastic materials for alveolar bone augmentation before dental implantation. *Stomatologiya*. 2017; 96 (2): 70–74. DOI: 10.17116/stomat201796270-74.
4. Araújo M.G., Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *Journal of clinical periodontology*. 2005; 32 (2): 212–218. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2005.00642.x.

5. Todorovic L., Bogdanovic D., Obradovic O. Involution of the mandibular alveolar process and dental branches of the inferior dental artery. *Bulletin du Groupement international pour la recherche scientifique en stomatologie & odontologie*. 1982; 25 (1): 65–71.
6. Ananyan S.G., Gunko M.V., Zakaryan A.V., Gvetadze S.R. Surgical aspects of alveolar bone augmentation. *Stomatologiya*. 2015; 94 (2): 47–52. DOI: 10.17116/stomat201594247-52.
7. Shao H., Sun M., Zhang F. Custom Repair of Mandibular Bone Defects with 3D Printed Bioceramic Scaffolds. *Journal of Dental Research*. 2018; 97 (1): 68–76. DOI: 10.1177/0022034517734846.
8. Iaquina M.R., Mazzoni E., Manfrini M. Innovative biomaterials for bone regrowth. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; 20 (3): 1–17. DOI: 10.3390/ijms20030618.
9. Anghelescu V.M., Neculae I., Dincă O. Inflammatory-driven angiogenesis in bone augmentation with bovine hydroxyapatite, B-tricalcium phosphate, and bioglasses: A comparative study. *Journal of Immunology Research*. 2018; 2018 (9): 1–8. DOI: 10.1155/2018/9349207.
10. Saghiri M.A., Asatourian A., Garcia-Godoy F., Sheibani N. The role of angiogenesis in implant dentistry part II: The effect of bone-grafting and barrier membrane materials on angiogenesis. *Medicina Oral, Patologia Oral, Cirugia Bucal*. 2016; 21 (4): e526–e537. DOI: 10.4317/medoral.21200.
11. Zenebe C.G. A Review on the Role of Wollastonite Biomaterial in Bone Tissue Engineering. *BioMed Research International*. 2022; 13 (1): 4996530. DOI: 10.1155/2022/4996530.
12. Ge R., Xun C., Yang J., Jia W., Li Y. In vivo therapeutic effect of wollastonite and hydroxyapatite on bone defect. *Biomedical Materials*. 2019; 14 (6): 065013. DOI: 10.1088/1748-605X/ab4238.
13. Epple M., Chernousova S. Bioactive bone substitution materials. *Advanced Biomaterials and Devices in Medicine*. 2014; 1 (1): 74–86. DOI: 10.24411/2409-2568-2014-00008.
14. Himansu S.N., Thomas V., Nukavarapu S.P. Biomaterials 2021: Future of biomaterials. *Current Opinion in Biomedical Engineering*. 2021; 18 (1): 100304. DOI: 10.1016/j.cobme.2021.100304.
15. Xu J.L., Khor K.A. Chemical analysis of silica doped hydroxyapatite biomaterials consolidated by a spark plasma sintering method. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2007; 101 (2): 187–195. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2006.09.030.
16. Cheah C.W., Al-Namnam N.M., Lau M.N. Synthetic Material for Bone, Periodontal, and Dental Tissue Regeneration: Where Are We Now, and Where Are We Heading Next? *Materials*. 2021; 14 (20): 6123. DOI: 10.3390/ma14206123.
17. Jahan K., Tabrizian M. Composite biopolymers for bone regeneration enhancement in bony defects. *Biomaterials Science*. 2016; 4 (1): 25–39. DOI: 10.1039/c5bm00163c.
18. Smeets R., Matthies L., Windisch P. Horizontal augmentation techniques in the mandible: a systematic review. *International Journal of Implant Dentistry*. 2022; 8 (1): 23. DOI: 10.1186/s40729-022-00421-7.
19. Tolstunov L., Hamrick J.F.E., Broumand V. Bone Augmentation Techniques for Horizontal and Vertical Alveolar Ridge Deficiency in Oral Implantology. *Oral and maxillofacial surgery clinics of North America*. 2019; 31 (2): 163–191. DOI: 10.1016/j.coms.2019.01.005.
20. Barbosa W.T., de Almeida K.V., de Lima G.G. Synthesis and in vivo evaluation of a scaffold containing wollastonite/ $\beta$ -TCP for bone repair in a rabbit tibial defect model. *Journal of biomedical materials research. Part B. Applied biomaterials*. 2020; 108 (3): 1107–1116. DOI: 10.1002/jbm.b.34462.
21. Xu S., Lin K., Wang Z. Reconstruction of calvarial defect of rabbits using porous calcium silicate bioactive ceramics. *Biomaterials*. 2008; 29 (17): 2588–2596. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2008.03.013.

Received May 13, 2023; accepted July 17, 2023.

### Information about the authors

**Afonin Igor' Sergeevich**, Postgraduate Degree Seeker, Pacific State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. 690002, Russia, Vladivostok, Ostryakov Ave., 2; e-mail: igor23-45@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5564-7579>.

**Apanasevich Vladimir Iosifovich**, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Institute for Surgery, Pacific State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. 690002, Russia, Vladivostok, Ostryakov Ave., 2; e-mail: [oncolog222@gmail.com](mailto:oncolog222@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0808-5283>.



**Zinov'ev Sergey Viktorovich**, Candidate of Sciences (Medicine), Senior Researcher, Central Research Laboratory, Pacific State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. 690002, Russia, Vladivostok, Ostryakov Ave., 2; e-mail: Sinovev@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6022-6130>.

**Papynov Evgeniy Konstantinovich**, Candidate of Sciences (Chemistry), Head of the Laboratory of Nuclear Technologies, Far Eastern Federal University. 690922, Russia, Vladivostok, Russky Island, Ayaks Settlement, 10; e-mail: papynov@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1185-7718>.

**Evdokimov Ivan Olegovich**, Postgraduate Degree Seeker, Far Eastern Federal University. 690922, Russia, Vladivostok, Russky Island, Ayaks Settlement, 10; e-mail: evdokimov.ivan111@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1942-1732>.

**Shichalin Oleg Olegovich**, Candidate of Sciences (Chemistry), Researcher, Laboratory of Nuclear Technologies, Far Eastern Federal University. 690922, Russia, Vladivostok, Russky Island, Ayaks Settlement, 10; e-mail: oleg\_shich@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2441-6209>.

**Usov Viktor Vasil'evich**, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Head of the Chair of Clinical and Experimental Surgery, Far Eastern Federal University. 690922, Russia, Vladivostok, Russky Island, Ayaks Settlement, 10; e-mail: usov.vv@dvfu.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1182-7551>.

**Kostiv Evgeniy Petrovich**, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Institute of Surgery, Pacific State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. 690002, Russia, Vladivostok, Ostryakov Ave., 2; e-mail: plastina@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6484-7476>.

**Plekhova Natal'ya Gennad'evna**, Doctor of Sciences (Biology), Head of the Central Research Laboratory, Pacific State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. 690002, Russia, Vladivostok, Ostryakov Ave., 2; e-mail: pl\_nat@hotmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8701-7213>.

#### For citation

Afonin I.S., Apanasevich V.I., Zinov'ev S.V., Papynov E.K., Evdokimov I.O., Shichalin O.O., Usov V.V., Kostiv E.P., Plekhova N.G. Morfologicheskaya kartina kostnoy tkani pri implantatsii dispersnogo biokompozita na osnove wollastonita [Morphological pattern of bone tissue during implantation of dispersed biocomposite based on wollastonite]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2023; 4: 144–152. DOI: 10.34014/2227-1848-2023-4-144-152 (in Russian).