УДК 616.314-089.843
EDN: BHESEH
https://doi.org/10.15275/ssmj2202159

Оригинальная статья

СРАВНИТЕЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕПАРАТИВНОГО ОСТЕОГЕНЕЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ КОСТНОПЛАСТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА В ХОДЕ СИНУС-ЛИФТИНГА

С.М. Чередников[1–3], Т.В. Брайловская[1], Л.Н. Зайцева[2], М.А. Захаров[3], Е.М. Петрунина[2], С.А. Шарова[2]

[1]ФГБУ НМИЦ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России, Москва, Россия
[2]ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Екатеринбург, Россия
[3]ФГКУЗ «5 военный клинический госпиталь войск национальной гвардии Российской Федерации», Екатеринбург, Россия

COMPARATIVE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF REPARATIVE OSTEOGENESIS USING DIFFERENT COMPOSITIONS OF BONE PLASTIC MATERIAL DURING SINUS-LIFTING

S.M. Cherednikov[1–3], T.V. Brailovskaya[1], L.N. Zaiceva[2], M.A. Zakharov[3], E.M. Petrunina[2], S.A. Sharova[2]

[1]Central Research Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Moscow, Russia
[2]Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia
[3]5th Military Clinical Hospital of the National Guard Troops of the Russian Federation, Yekaterinburg, Russia

Для цитирования: *Чередников С.М., Брайловская Т.В., Зайцева Л.Н., Петрунина Е.М., Захаров М.А., Шарова С.А.* Сравнительная морфологическая характеристика репаративного остеогенеза при использовании различных композиций костнопластического материала в ходе синус-лифтинга. Саратовский научно-медицинский журнал. 2026; 22 (2): 159-166. EDN: BHESEH. https://doi.org/10.15275/ssmj2202159

Аннотация. *Цель:* сравнительный морфометрический анализ процессов репаративного остеогенеза в зоне синус-лифтинга при использовании различных композиций костнопластического материала. *Материал и методы.* Морфологическое и морфометрическое исследование трепанобиоптатов костной ткани проведено у пациентов трех групп через 180 сут после операции синус-лифтинг с использованием различных композиций остеопластического материала: 1-я группа – гранулы Cerabone (100%), 2-я группа – Cerabone с аутокостной стружкой в соотношении 25%/75%, 3-я группа – Cerabone с аутокостной стружкой в соотношении 50%/50%. Микроскопическую картину оценивали на окрашенных гематоксилином и эозином срезах, определяли объемные доли основных компонентов регенерата и показатели клеточной активности. *Результаты.* Установлено, что во всех группах наблюдается прямой остеогенез с формированием зрелой губчатой кости. Наибольший объем новообразованной костной ткани (BV) достигнут в 3-й группе (34,5%), наименьший – в 1-й группе (25,75%). Показатели остеобластической активности (N.ob, Ob.S) и интеграции материала (MatBS/BS) также были максимальными в 3-й группе (70,2%). *Заключение.* Полученные данные свидетельствуют о преимуществе использования комбинированных костнопластических материалов с равным соотношением Cerabone и аутокости для оптимизации репаративного остеогенеза при синус-лифтинге и подчеркивают необходимость морфометрического контроля эффективности различных композиций остеопластических материалов в реконструктивной хирургии.

Ключевые слова: синус-лифтинг, остеогенез, костнопластический материал, Cerabone, аутокостный материал, морфология, морфометрия

For citation: *Cherednikov SM, Brailovskaya TV, Zaiceva LN, Petrunina EM, Zakharov MA, Sharova SA.* Comparative morphological characteristics of reparative osteogenesis using different compositions of bone plastic material during sinus-lifting. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2026; 22 (2): 159-166. (In Russ.) EDN: BHESEH. https://doi.org/10.15275/ssmj2202159

Abstract. *Objective:* A morphological and morphometric study of trepanobioptates of bone tissue was performed in patients of three groups 180 days after sinus lift surgery using different compositions of osteoplastic material: group 1 – Cerabone granules (100%); group 2 – Cerabone with autobone shavings in the ratio of 25%/75%; group 3 – Cerabone with autobone shavings in the ratio of 50%/50%. *Material and methods.* The microscopic picture was evaluated on hematoxylin and eosin-stained sections, the volume fractions of the main components of the regenerate and the indicators of cellular activity were determined. *Results.* It was found that all groups showed direct osteogenesis with the formation of mature spongy bone. The highest volume of newly formed bone tissue (BV) was achieved in group III (34.5%), while the lowest was achieved in group I (25.75%). The indicators of osteoblastic activity (N.ob, Ob.S) and material integration (MatBS/BS) were also highest in group III (70.2%). *Conclusion.* The obtained data indicate the advantage of using combined bone-plastic materials with an equal ratio of Cerabone and autologous bone to optimize reparative osteogenesis during sinus lifting and emphasize the need for morphometric control of the effectiveness of various compositions of osteoplastic materials in reconstructive surgery.

Keywords: sinus-lifting, osteogenesis, bone-plastic material, Cerabone, autologous bone, morphology, morphometry

© Чередников С.М., Брайловская Т.В., Зайцева Л.Н., Захаров М.А., Петрунина Е.М., Шарова С.А., 2026

Введение. Успех дентальной имплантации в боковых отделах верхней челюсти напрямую зависит от наличия достаточного объема костной ткани. Атрофия альвеолярного отростка вследствие длительного отсутствия зубов, пневматизация верхнечелюстного синуса и ряд анатомических особенностей часто приводят к тому, что высота кости оказывается недостаточной для надежной фиксации имплантатов [1]. Для решения этой проблемы в клинической практике применяется операция синус-лифтинга, которая позволяет увеличить объем костной ткани за счет поднятия дна верхнечелюстной пазухи и заполнения образовавшегося пространства трансплантационным материалом [2].

Выбор материала для замещения костного дефекта в области синус-лифтинга остается одним из ключевых вопросов современной стоматологии [3, 4]. Идеальный остеопластический материал должен обладать тремя основными свойствами: остеогенностью (способностью поставлять клетки-предшественники), остеоиндуктивностью (стимулировать дифференцировку остеобластов) и остеокондуктивностью (служить матрицей для роста новой кости). В настоящее время «золотым стандартом», с которым сравнивают все остальные материалы, признана аутогенная кость, поскольку она в полной мере обладает всеми перечисленными свойствами и не вызывает иммунологического отторжения [5]. Однако забор аутокости требует дополнительного оперативного вмешательства, увеличивает время операции и риск послеоперационных осложнений, а объем доступного для забора материала часто ограничен [6, 7].

В связи с этим разрабатываются и внедряются альтернативные материалы: алло-, ксеногенные и синтетические [8, 9]. Ксеногенный материал Cerabone (Botiss Biomaterials GmbH, Германия) – гранулированный гидроксиапатит бычьего происхождения, подвергнутый высокотемпературной обработке для удаления органических компонентов. Благодаря этому он обладает высокой биосовместимостью, остеокондуктивными свойствами и медленной резорбцией, что позволяет длительное время сохранять объем созданной кости [4]. Однако, как и другие ксеногенные и синтетические материалы, Cerabone не обладает остеогенными и остеоиндуктивными свойствами в полном объеме, и процессы его замещения собственной костной тканью протекают медленнее [10].

Перспективным направлением оптимизации репаративного остеогенеза является использование комбинированных костных материалов, в которых аутокость смешивается с остеокондуктивным материалом. Предполагается, что такая комбинация позволит объединить преимущества обоих типов материалов: аутокость обеспечит поступление остеогенных клеток и факторов роста, а гранулы ксеногенного материала служат надежным каркасом, предотвращающим избыточную резорбцию и сохраняющим объем [11, 12, 13]. Ряд клинических и экспериментальных исследований подтверждает эффективность такого подхода [14–17]. Тем не менее вопрос об оптимальном соотношении аутокости и ксеногенного компонента остается открытым. Сравнительные морфометрические исследования, позволяющие количественно оценить влияние соотношения компонентов на объем и качество новообразованной кости в отдаленные сроки, единичны и противоречивы [18].

Количественная оценка костного регенерата с помощью морфометрических методов является необходимым условием для объективного сравнения эффективности различных материалов. Анализ таких показателей, как объемная доля новообразованной костной ткани (BV), численность остеобластов (N.ob, N.Mat.ob) и уровень интеграции имплантационного материала с костью (MatBS/BS), дает возможность не только оценить текущее состояние регенерата, но и предсказать, сможет ли он выдерживать функциональные нагрузки после последующей имплантации.

Сегодня, несмотря на обширный объем исследований, посвященных синус-лифтингу, отсутствует достаточный объем данных для системного сравнительного анализа. В частности, не изучено, как различные пропорции смеси аутокости и гранул Cerabone влияют на морфометрические параметры репаративного остеогенеза в период, соответствующий полной консолидации трансплантата.

Цель – сравнительный морфометрический анализ процессов репаративного остеогенеза в зоне синус-лифтинга при использовании различных композиций костнопластического материала.

Материал и методы. Исследование выполнено на трепанобиоптатах костной ткани, полученных от пациентов, которым проводилась операция синус-лифтинга с использованием костнопластического материала Cerabone (допущен к обращению на территории Российской Федерации: регистрационное удостоверение № ФСЗ 2011/09299) с последующей дентальной имплантацией. В зависимости от состава использованного остеопластического материала все пациенты были разделены на 3 группы. У пациентов 1-й группы субантральное пространство заполнено гранулами Cerabone в чистом виде (100%). Во 2-й группе применена смесь гранул Cerabone и аутокостной стружки, взятой в области бугра верхней челюсти или ветви нижней челюсти, в соотношении 25% Cerabone и 75% аутокости. В 3-й группе применена смесь с равным содержанием обоих компонентов (50% Cerabone и 50% аутокости). Объем выборки в каждой группе составил по 10 человек.

Оперативное вмешательство выполнено по стандартной методике латерального доступа к верхнечелюстной пазухе.

Через 180 сут после синус-лифтинга под местной анестезией из области предполагаемой установки имплантатов выполнен забор трепанобиоптатов. Полученные столбики ткани фиксированы в 10%-м растворе нейтрального забуференного формалина при комнатной температуре в течение 48 ч. После фиксации образцы декальцинированы в 10% растворе этилендиаминтетрауксусной кислоты (pH 7,2–7,4), пропитаны и залиты в парафин.

Из каждого парафинового блока на ротационном микротоме изготовлены срезы толщиной 5–7 мкм. Срезы окрашены гематоксилином и эозином по стандартному протоколу.

Микроскопическое исследование проведено на световом микроскопе LeicaDM 2500 (LeicaMicrosystems, Германия) при увеличениях 100, 200 и 400.

Количественный морфометрический анализ выполнен с использованием программного обеспечения для анализа изображений LeicaQWin

Ответственный автор – Сергей Михайлович Чередников
Corresponding author – Sergei M. Cherednikov
E-mail: smcherednikov@gmail.com

(LeicaMicrosystems, Германия). Для каждого образца анализировано не менее 10 неперекрывающихся полей зрения при увеличении 200. Определены следующие параметры согласно рекомендациям по гистоморфометрии костной ткани:

1) N.ob (клеток/мм) – среднее количество остеобластов, приходящихся на 1 мм длины поверхности костных трабекул и поверхности остеопластического материала;

2) N.Mf (клеток/мм^2) – среднее количество макрофагов в строме межбалочных пространств в пересчете на 1 мм^2 площади среза;

3) N.Mat.ob (клеток/мм) – среднее количество остеобластов, непосредственно контактирующих с поверхностью гранул материала, на 1 мм длины поверхности материала;

4) BV (bone volume, %) – объемная доля минерализованной костной ткани (как зрелой, так и новообразованной) в общем объеме биоптата;

5) FbV (fibroustissue volume, %) – объемная доля фиброретикулярной (соединительной) ткани;

6) MatV (material volume, %) – объемная доля остаточного остеопластического материала;

7) Ob.S (osteoblast surface) – удельная поверхность кости, покрытая активными остеобластами (отношение длины поверхности, выстланной остеобластами, к общей длине костной поверхности);

8) Mat.Ob.S/Mat.S (%) – доля поверхности материала, занятая остеобластами (отношение длины контакта остеобластов с материалом к общей длине поверхности материала);

9) MatBS/BS (material-bonecontact, %) – относительная площадь контакта новообразованной кости с поверхностью материала (отношение длины участков, где кость непосредственно прилежит к материалу, к общей длине поверхности материала).

Объемные доли (BV, FbV, MatV) определены методом точечного счета с использованием тестовой сетки Автандилова, входящей в окуляр микроскопа, либо автоматизированно на цифровых изображениях с помощью морфометрической программы.

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ НМИЦ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием пакета программ Statistica 12.0 (StatSoft, США). Для каждой группы вычислены среднее арифметическое значение (*M*) и выборочное стандартное отклонение (*SD*). Данные представлены как *M*±*SD*. Проверка нормальности распределения выполнена с помощью критерия Шапиро – Уилка. Межгрупповые различия оценены с применением *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок (при нормальном распределении) или *U*-критерия Манна – Уитни (при распределении, отличном от нормального). Критический уровень значимости принят равным 0,05.

Результаты. Изучена микроскопическая картина трепанобиоптатов костной ткани, полученных от пациентов трех групп через 180 сут после операции синус-лифтинга. Проведен качественный и количественный морфологические анализы структурных компонентов регенерата.

В 1-й группе материал представлен преимущественно зрелой губчатой костной тканью, отличающейся выраженной трабекулярной структурой с упорядоченным расположением костных балок. Остеоциты имеют четкое строение, расположены в толще трабекул, заключены в костные лакуны; компактное межклеточное вещество монотонно окрашено. В части межбалочных пространств определяется рыхлая волокнистая соединительная ткань с капиллярами, макрофагами, лимфоцитами, гистиоцитами, единичными эозинофилами; присутствуют островки липоцитов; в других пространствах видны прослойки неоформленной грубоволокнистой соединительной ткани с артериолами и мелкими артериями, отдельными макрофагами и лимфоцитами (рис. 1). На поверхности части трабекул наблюдаются отложения гомогенных эозинофильных масс, соответствующих остеоидной ткани, что указывает на продолжающийся процесс костеобразования. В остеоидной ткани определяются островки костных

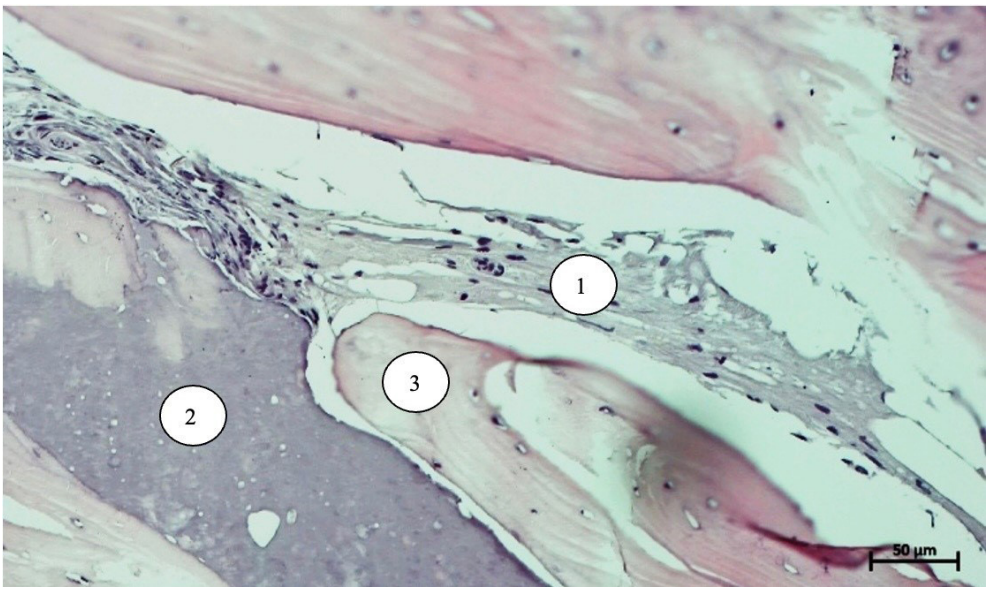


Рис. 1. Рыхлая волокнистая соединительная ткань (1), остеоид с костными пластинками и остеопластическим материалом (2), новообразованная костная ткань (3). Здесь и далее на рис. 2–4: окраска гематоксилином и эозином. ×200

пластинок. В структуре выявляются очаги остеопластического материала (микрогранулярный матрикс) и фрагменты костных балок (аутокостный материал), интегрированные в окружающую ткань. Встречаются незрелые костные балки, покрытые с поверхности остеобластами и имеющие интенсивно окрашенное межклеточное вещество. Микроскопическая картина в 1-й группе демонстрирует оптимальное сочетание зрелых костных структур и зон, где остеогенез продолжается (рис. 2).

В таблице представлены результаты количественного анализа структуры костного регенерата, сформировавшегося через 180 дней после проведения синус-лифтинга. В 1-й группе доля новообразованной костной ткани (BV) в исследуемой области составила 25,75%, что указывает на активную фазу остеогенеза, вызванную имплантируемым материалом. Интенсивность формирования кости подтверждается числом остеобластов, выявленных как на поверхности костной ткани (N.ob), так и на остеопластическом материале (N.Mat.ob), значением удельной остеобластической поверхности (Ob.S), и относительной площадью, занятой остеобластами на материале (Mat.Ob.S/Mat.S). Это свидетельствует об активном процессе формирования костной ткани на границе с костнопластическим материалом Cerabone (100%).

Относительно высокое число макрофагов в межтрабекулярных пространствах (N.Mf) в сочетании с выраженной остеобластической активностью указывает на продолжение процессов ремоделирования и стимуляции костной ткани при незавершенном этапе репарации. При этом остеогенез реализуется как вариант прямого остеогенеза, а используемый материал выполняет роль остеокондуктивного каркаса. Показатель интеграции материала, отражающий площадь контакта между костью и трансплантатом (MatBS/BS), находится на достаточно высоком уровне, что говорит о хорошем включении материала в структуру окружающей костной ткани.

Во 2-й группе образцы (рис. 3) представлены преимущественно зрелой губчатой костью с характерной

Морфометрическая характеристика поверхности костного регенерата, оценка клеточного состава и относительных объемных долей основных компонентов костного регенерата через 180 сут после операции синус-лифтинга, *M±SD*

Показатель	Группа		
	1-я	2-я	3-я
N.ob, шт./мм	34,0±1,53	31,0±0,58	35,0±2,45
N.Mf, шт./мм^2	17,0±3,51	15,0±1,61	14,0±2,22
N.Mat.ob, шт./мм	22,0±0,58	25,0±1,0	23,0±1,29
BV, %	25,75±3,68	29,5±0,76	34,5±2,0
FbV, %	10,3±0,42	10,4±0,5	12,1±1,51
MatV, %	17,5±3,04	23,25±2,38	19,75±0,94
Ob.S	1,75±0,18	1,9±0,4	2,1±0,4
Mat.Ob.S/Mat.S, %	1,5±0,1	1,6±0,23	1,4±0,37
MatBS/BS, %	67,6±2,04	65,4±1,52	70,2±1,39

архитектоникой. Межбалочные пространства заполнены рыхлой волокнистой соединительной тканью, содержат участки неоформленной грубоволокнистой соединительной ткани с небольшим количеством лимфоцитов, гистиоцитов, макрофагов. На некоторых участках поверхности костных трабекул отмечаются отложения гомогенных эозинофильных масс, соответствующих остеоидной ткани. Среди остеоидной ткани определяются костные пластинки. Островки остеопластического материала и очаги остеоида прилежат к формирующимся костным трабекулам. В незрелых костных балках выражена остеобластическая активность. Морфологическая картина отражает последовательный процесс формирования костной ткани: от поверхности материала к уже сформированным трабекулам – это является особенностью аппозиционного роста.

Морфометрический анализ костного регенерата 2-й группы (см. таблицу) выявил долю вновь сформированной костной ткани (BV), равную 29,5%.



Рис. 2. Новообразованная костная ткань (1), остеоид с костными пластинками и остеопластическим материалом (2), рыхлая волокнистая соединительная ткань (3). ×200

Полученный результат свидетельствует об эффективной стимуляции остеогенеза имплантированным материалом. На достаточно высоком уровне находятся показатели, характеризующие остеобластическую активность: общее количество остеобластов (N.ob) и удельная остеобластическая поверхность (Ob,S). На активное и прямое включение смеси Cerabone с аутокостной стружкой в процесс остеогенеза указывают показатели клеточной активности: число остеобластов, непосредственно расположенных на поверхности имплантированного материала (N.Mat.ob), доля поверхности материала, занятая этими клетками (Mat.Ob.S/Mat.S). Выявленное значительное число макрофагов в межтрабекулярных пространствах (N.Mf) свидетельствует о продолжающемся процессе репаративного ремоделирования.

Описанная картина соответствует активной фазе репарации, при которой процессы синтеза и резорбции костной ткани находятся в подвижном равновесии. Главную роль в этом играют гранулы остеопластического материала, которые выполняют функцию каркаса и одновременно стимулируют формирование новой кости. Значение показателя интеграции материала (MatBS/BS = 65,4%) демонстрирует хорошую степень его приживления и эффективное взаимодействие с формирующимся регенератом. В данной группе также происходит прямой остеогенез.

В микропрепаратах 3-й группы (рис. 4) определяется хорошо выраженная губчатая кость, обладающая зрелой структурой. Межбалочные пространства преимущественно заполнены рыхлой соединительной тканью с очагами липоцитов, сосудами капиллярного типа, единичными лимфоцитами и макрофагами; в отдельных костномозговых промежутках видны прослойки неоформленной грубоволокнистой соединительной ткани. На поверхности формирующихся трабекул отмечаются отложения гомогенных эозинофильных масс, соответствующих остеоиду; в остеоиде присутствуют островки костных пластинок. Обнаруживаются очаги зрелых новообразованных

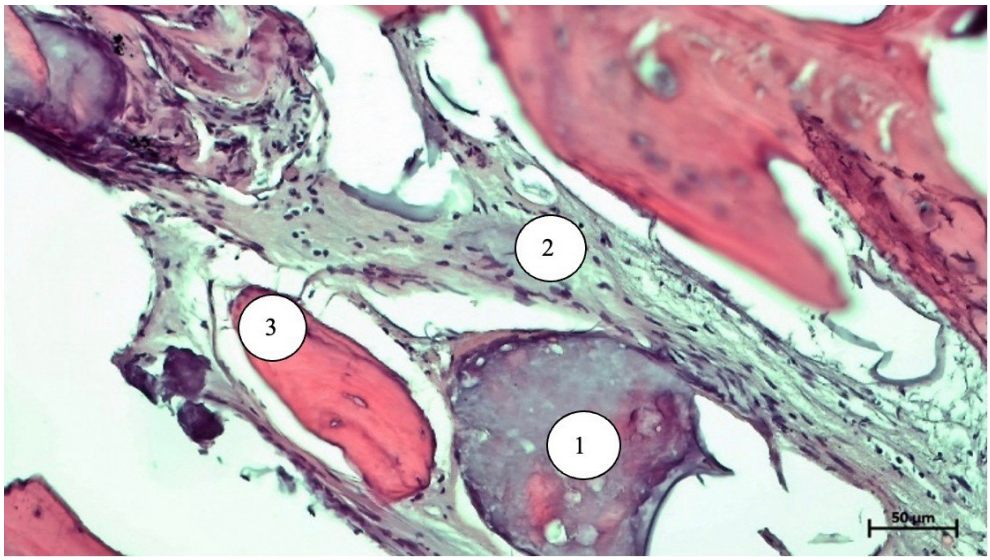


Рис. 3. Остеоид с остеопластическим материалом и костными пластинками (1), рыхлая волокнистая соединительная ткань (2), зрелая трабекула (3). ×200

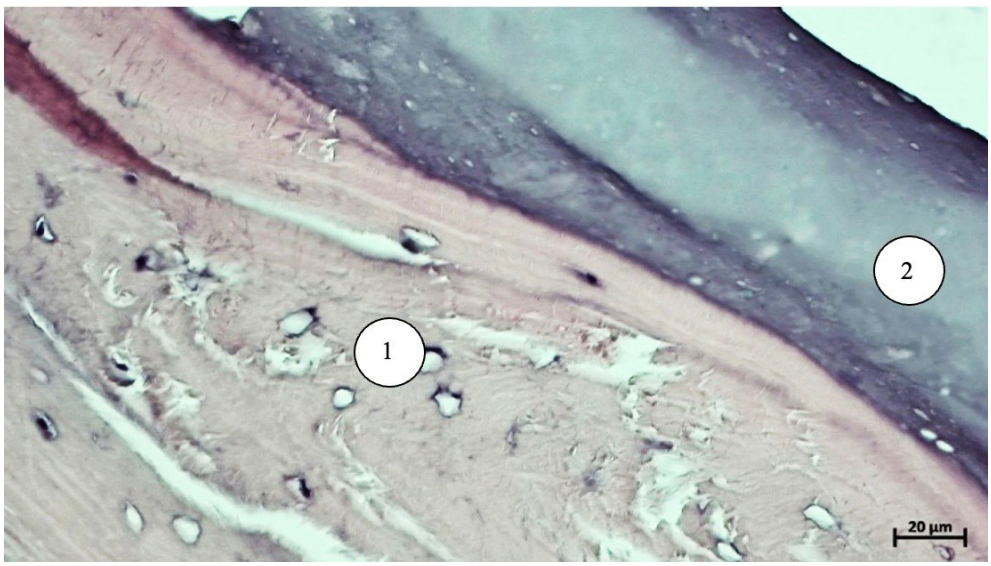


Рис. 4. Новообразованная костная ткань (1) в контакте с остеопластическим материалом (2). ×400

костных трабекул, в костномозговых пространствах которых содержится большое количество остеопластического материала. В незрелой костной ткани выражена остеобластическая активность. Отсутствие промежуточных слоев указывает на высокую степень интеграции материала и его остеокондуктивные свойства.

Морфометрический анализ костного регенерата 3-й группы (см. таблицу) показал наилучшие результаты по сравнению с другими группами. Объемная доля новообразованной костной ткани (BV) достигла 34,5%, что свидетельствует о высокой эффективности репаративного остеогенеза. Активность остеобластов стабильно высокая (N.ob; Ob.S). Активное взаимодействие между трансплантационным материалом и остеобластами подтверждается значительным их количеством, локализованных на поверхности материала (N.Mat.ob), а также самой площадью материала, покрытой остеобластами (Mat.Ob.S/Mat.S). Эти данные демонстрируют интенсивную интеграцию костнопластического материала Cerabone с аутокостной стружкой (в пропорции 50%/50%). При этом умеренное количество макрофагов в межтрабекулярных пространствах на фоне высокой остеогенной активности указывает на продолжающийся процесс ремоделирования. Это означает, что формирование костной ткани все еще находится в активной фазе и не перешло к стадии стабилизации. Существенную роль в этом процессе играют гранулы материала, выступающие в качестве основы для направленного остеогенеза.

Индекс интегративной способности материала (MatBS/BS) достиг максимального значения среди всех групп – 70,2%. Это подтверждает выраженные остеокондуктивные свойства материала и эффективное встраивание в структуру формирующейся костной ткани.

Обсуждение. Морфологическое и морфометрическое исследование трепанобиоптатов, выполненное через 180 сут после синус-лифтинга, выявило значимые различия в характере репаративного остеогенеза, обусловленные составом применяемого остеопластического материала. Во всех 3 группах отмечался прямой тип костеобразования с формированием зрелой губчатой костной ткани и признаками активной интеграции имплантированного материала. При этом количественные параметры регенерата зависели от соотношения ксеногенного материала и аутокости.

В 1-й группе при использовании 100% Cerabone объемная доля новообразованной костной ткани (BV) составила 25,75%. Во 2-й группе (25% аутокость + 75% Cerabone) этот показатель увеличился до 29,5%. Наибольшее значение зафиксировано в 3-й группе (50% Cerabone + 50% аутокость) – 34,5%. Сходная тенденция наблюдалась и по показателям остеобластической активности (N.ob, Ob.S), а также по степени интеграции материала.

Количество макрофагов в межтрабекулярных пространствах уменьшалось от 1-й к 3-й группе. Это может свидетельствовать о более быстром завершении воспалительно-резорбтивной фазы и переходе к стабилизации костной ткани при использовании комбинированных материалов. При этом во всех группах сохранялась умеренная макрофагальная инфильтрация, соответствующая нормальному процессу ремоделирования кости.

Добавление аутокостной стружки к ксеногенному материалу Cerabone приводит к статистически значимому усилению остеогенеза. Наилучшие количественные показатели, в частности максимальная объемная доля новообразованной кости (BV = 34,5%), наблюдаются при равном соотношении компонентов (50%/50%). Эти данные позволяют обоснованно выбирать состав костнопластического материала с целью увеличения объема и улучшения качества регенерата в отдаленный послеоперационный период.

Во 2-й группе (25% Cerabone + 75% аутокость) увеличение BV до 29,5% обусловлено остеоиндуктивными свойствами аутокости, являющейся источником остеогенных клеток-предшественников и факторов роста. При этом интеграция материала (MatBS/BS = 65,4%) остается высокой, что свидетельствует о сохранении остеокондуктивных свойств даже при уменьшении доли ксеногенного компонента.

В 3-й группе (50% Cerabone + 50% аутокость) зафиксировано максимальное значение BV = 34,5%, превышающее показатели 1-й группы на 8,75%, 2-й группы – на 5%. В клинической практике это имеет важное значение, так как объем сформированной костной ткани во многом определяет возможность успешной установки дентальных имплантатов и их стабильность.

Оптимальное соотношение компонентов (50%/50%) работает за счет сочетания их свойств: ксеногенный материал формирует стабильный каркас, а аутокостная стружка стимулирует остеогенез. Одновременно такое соотношение позволяет избежать чрезмерной резорбции аутокости, которая чаще наблюдается при ее более высоком содержании.

Оценка показателей клеточной активности позволяет лучше понять причины выявленных различий. Во всех группах число остеобластов на поверхности кости и материала (N.ob) оставалось достаточно высоким – от 31,0 до 35,0, что указывает на продолжающийся остеогенез даже через 180 сут после операции. Максимальное значение N.ob отмечено в 3-й группе (35,0), что согласуется с наибольшим объемом сформированной костной ткани. Показатель удельной остеобластической поверхности (Ob.S) также был выше в 3-й группе – 2,1 против 1,75 и 1,9 в 1-й и 2-й группах соответственно. Это указывает на более высокую концентрацию активных остеобластов на единицу поверхности и, соответственно, на более интенсивное течение остеогенеза.

Отдельного рассмотрения требуют показатели, отражающие взаимодействие остеобластов с поверхностью имплантированного материала (N.Mat.ob и Mat.Ob.S/Mat.S). Во 2-й группе, несмотря на низкое общее количество остеобластов (N.ob = 31,0), число клеток, связанных с материалом (N.Mat.ob = 25,0), а также доля занятой ими поверхности (Mat.Ob.S/Mat.S = 1,60%) оказались выше, чем в 1-й (22,0 и 1,5%) и 3-й группах (23,0 и 1,4%). Вероятно, это связано с тем, что при преобладании аутокости (75%) поверхность гранул Cerabone более активно колонизируется остеобластами. Однако, несмотря на это, общий объем новообразованной кости во 2-й группе ниже, чем в 3-й. Это можно объяснить меньшим количеством самого ксеногенного материала (MatV во 2-й группе – 23,25%, в 3-й – 19,75%), который выполняет роль каркаса. В 3-й группе, где объем матрикса больше, остеобласты распределяются по более обширной поверхности, что в итоге обеспечивает больший прирост костной ткани.

Анализ распределения макрофагов (N.Mf) в межтрабекулярных пространствах показал, что их наибольшее количество выявлено в 1-й группе (17,0),

наименьшее – в 3-й группе (14,0). Макрофаги играют ключевую роль в ремоделировании костной ткани: участвуют в резорбции и одновременно обеспечивают высвобождение ряда факторов роста. Более высокие показатели в 1-й группе могут отражать более длительное течение репаративной фазы, когда процессы резорбции и костеобразования еще не пришли к равновесию. Снижение количества макрофагов в 3-й группе можно рассматривать как признак более упорядоченного течения регенерации и приближения системы к фазе стабилизации. При этом во всех группах сохранялась умеренная макрофагальная инфильтрация, что соответствует нормальному процессу ремоделирования кости.

Показатель интеграции материала (MatBS/BS) оказался наиболее высоким в 3-й группе (70,2%), превысив значения в 1-й группе на 2,6%, во 2-й – на 4,8%. Полученный результат имеет существенную клиническую значимость: более плотный контакт обеспечивает равномерное распределение жевательной нагрузки при имплантации и снижает вероятность микроподвижности конструкции. Можно предположить, что именно равное соотношение компонентов создает наиболее благоприятные условия для аппозиционного костеобразования на поверхности гранул.

Полученные данные в целом согласуются с концепцией «комбинированного костного материала», согласно которой сочетание аутокости и остеокондуктивного ксеногенного материала позволяет использовать преимущества обоих компонентов [12]. Результаты нашего исследования уточняют эту концепцию и показывают, что значение имеет не только факт добавления аутокости, но и ее равное соотношение с ксеногенным материалом. При меньшей доле аутокости (как в 1-й группе) остеогенный потенциал недостаточен. При ее избытке (как во 2-й группе) часть трансплантата подвергается резорбции, не успевая полностью заместиться новой костью. Наиболее сбалансированным выглядит равное соотношение компонентов, при котором достигается сочетанный эффект: гранулы Cerabone выполняют функцию стабильного каркаса и сохраняют объем, аутокость обеспечивает клеточный и молекулярный субстрат, необходимый для остеогенеза.

Сравнение с данными литературы показывает, что наши выводы находятся в русле современных представлений. В работе P. Galindo-Moreno и соавт. [11] установлено, что применение смеси аутокости и ксеногенного материала способствует формированию примерно 30% новообразованной костной ткани в течение 6 мес. Этот результат соответствует данным, полученным в наших исследованиях для 2-й и 3-й групп испытуемых. В работе с чистыми ксеногенными материалами C.M. Schmitt и соавт. [10] показали, что при применении Bio-Oss доля костной ткани (BV) через 6 мес составляет только 20–25%. Этот показатель соответствует результатам, полученным в 1-й группе нашего исследования.

Исследование имело ряд ограничений: одномоментный анализ (180 сут) не позволил отследить динамику процессов на ранних и поздних этапах; морфометрический метод, несмотря на объективность, не дает информации о биомеханических характеристиках регенерата; размер выборки (10 человек в группе) достаточен для статистического анализа, но требует верификации на более крупных когортах.

Заключение. Полученные данные клинически значимы для специалистов, проводящих операцию синус-лифтинга: комбинация материала Cerabone с аутокостью 1:1 обеспечивает максимальный прирост костной ткани и ее оптимальную интеграцию. Этот подход особенно актуален при ранней установке дентальных имплантатов и необходимости создания значительного объема костной ткани. Использование чистого ксеногенного материала оправдано, если забор аутокости невозможен, однако в таком случае объем новообразованной костной ткани будет ниже.

Подтверждена гипотеза о превосходстве комбинированных костных материалов для оптимизации репаративного остеогенеза при синус-лифтинге.

Результаты морфологического и морфометрического анализов (через 180 сут после операции) дали комплексную оценку репаративного остеогенеза при использовании разных остеопластических материалов и выявили прямой тип остеогенеза во всех группах, формирование зрелой губчатой костной ткани, активную интеграцию имплантированного материала, а также принципиальную возможность применения как чистого ксеногенного материала (Cerabone), так и его комбинаций с аутокостной стружкой.

Количественный анализ подтвердил зависимость эффективности остеогенеза от состава трансплантата: добавление аутокостной стружки увеличивает объем новообразованной кости и улучшает ее интеграцию. Лучшие показатели достигнуты при равном соотношении компонентов.

Комбинированные материалы обеспечивают не только количественный, но и качественный прирост костной ткани, что подтверждается высокой клеточной активностью, достаточной степенью минерализации, оптимальным контактом кости с материалом, умеренной макрофагальной инфильтрацией, сохранением остеобластической активности через 180 сут, продолжающимся физиологическим ремоделированием и перспективой долговременной стабильности созданного объема кости.

Исследование обосновывает выбор остеопластического материала при планировании синус-лифтинга: смесь Cerabone (50%) + аутокость (50%) – оптимальный вариант для максимального прироста костной ткани в отдаленные сроки (особенно при подготовке к дентальной имплантации при дефиците кости); чистый ксеногенный материал – альтернативный вариант при невозможности забора аутокости (с учетом меньшего объема новообразованной кости и более медленного ремоделирования).

Перспективы дальнейших исследований заключаются в анализе биомеханических свойств формирующегося регенерата и оценке отдаленных результатов функциональной нагрузки на дентальные имплантаты, установленные в зонах аугментации с использованием разных костных материалов.

Конфликт интересов отсутствует.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Информированное согласие на публикацию. Пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на публикацию медицинской информации.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Соответствие принципам этики. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом. Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской декларации.

References (Список источников)

1. Drobyshev AYu, Red'ko NA, Skakunov YaI, Vaulina DS. Sinus lifting as a method for increasing bone volume in the distal maxilla in the preimplantation period. Rossiyskaya stomatologiya. 2020;13(3):48-50. (In Russ.) Дробышев А.Ю., Редько Н.А., Скакунов Я.И., Ваулина Д.С. Синус-лифтинг как способ увеличения объема костной ткани в дистальных отделах верхней челюсти в предимплантационном периоде. Российская стоматология. 2020;13(3):48-50. EDN:VIWOYP
2. Vidigal BC, Mendes LD, Bustamante RP, et al. Effect of amount of biomaterial used for maxillary sinus lift on volume maintenance of grafts. J Clin Exp Dent. 2020;12(9):e830-7. DOI:10.4317/jced.56315
3. Sakkas A, Wilde F, Heufelder M, et al. Autogenous bone grafts in oral implantology – is it still a "gold standard"? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. Int J Implant Dent. 2017;3(1):23. DOI:10.1186/s40729-017-0084-4
4. Alshamrani AM, Mubarki M, Alsager AS, et al. Maxillary sinus lift procedures: An overview of current techniques, presurgical evaluation, and complications. Cureus. 2023;15(11):e49553. DOI:10.7759/cureus.49553
5. Ivanov SYu. Reconstructive surgery of the alveolar bone. Moscow: GEOTAR-Media, 2016; 360 p. (In Russ.) Иванов С.Ю. Реконструктивная хирургия альвеолярной кости. М.: ГЭОТАР-Медиа 2016; 360 с.
6. Suárez-López Del Amo F, Monje A. Efficacy of biologics for alveolar ridge preservation/reconstruction and implant site development: An American Academy of Periodontology best evidence systematic review. J Periodontol. 2022;93(12):1827-47. DOI:10.1002/JPER.22-0069
7. Coyac BR, Wu M, Bahat DJ, et al. Biology of sinus floor augmentation with an autograft versus a bone graft substitute in a preclinical *in vivo* experimental model. Clin Oral Implants Res. 2021;32(8):916-27. DOI:10.1111/clr.13781
8. Popov NV. The role of allogenic bone substitute materials in reparative osteogenesis of atrophic alveolar bone. Vestnik meditsinskogo instituta "REAVIZ": reabilitatsiya, vrach i zdorov'e 2018;2(32):87-92. (In Russ.) Попов Н.В. Роль аллогенных костно-замещающих материалов в репаративном остеогенезе атрофированной альвеолярной кости. Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: реабилитация, врач и здоровье. 2018;2(32):87-92.
9. Ershova AM. Comparative analysis of the effectiveness of using synthetic and xenogenic osteoplastic materials to restore the volume of the alveolar bone of the jaws before dental implantation. PhD dis. Moscow, 2017; 187 p. (In Russ.) Ершова А.М. Сравнительный анализ эффективности применения синтетических и ксеногенных остеопластических материалов для восстановления объема альвеолярной кости челюстей перед дентальной имплантацией: дис. ... канд. мед. наук. М., 2017; 187 с.
10. Schmitt CM, Doering H, Schmidt T, et al. Histological results after maxillary sinus augmentation with Straumann® BoneCeramic, Bio-Oss®, Puros®, and autologous bone. Clin Oral Implants Res. 2013;24(5):576-84. DOI:10.1111/j.1600-0501.2012.02431.x
11. Galindo-Moreno P, Moreno-Riestra I, Ávila G, et al. Histomorphometric comparison of maxillary pristine bone and composite bone graft biopsies obtained after sinus augmentation. Clin Oral Implants Res. 2010;21(1):122-8. DOI:10.1111/j.1600-0501.2009.01814.x
12. Kolerman R, Nissan J, Tal H. Combined sinus lift and implant placement: A 5-year follow-up. Int J Oral Maxillofac Implants. 2012;27(4):937-43.
13. Kim YK, Kim SG, Lim SC, et al. A clinical study on the bone formation using autogenous bone mixed with other bone substitutes in maxillary sinus augmentation. J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg. 2010;36(3):187-94.
14. Dolgalev AA, Zelenskiy VA, Amkhadova MA, et al. Application of domestic xenograft for guided bone regeneration in dentistry. Medical alphabet. 2017;2(11):13-7. (In Russ.) Долгалев А.А., Зеленский В.А., Амхадова М.А. и др. Опыт применения отечественных ксеноматериалов для направленной костной регенерации в дентальной имплантации. Медицинский алфавит. 2017;2(11):13-7.
15. Yuryev EM. Justification of the choice of bone-plastic materials depending on the type of jaw bone tissue during dental implantation. PhD dis. Moscow, 2017; 125 p. (In Russ.) Юрьев Е.М. Обоснование выбора костнопластических материалов в зависимости от типа костной ткани челюстей при дентальной имплантации: дис. ... канд. мед. наук. М., 2017; 125 с.
16. Tarasenko SV, Shekhter AB, Pogodina MA, et al. Comparative histological analysis of bone tissue and mucosal membrane regenerates after socket augmentation of extracted teeth prior to dental implantation using different compositions with osteoplastic material. Rossiyskiy vestnik dental'noy implantologii. 2020;1-2(47-48):56-61. (In Russ.) Тарасенко С.В., Шехтер А.Б., Погодина М.А. и др. Сравнительный гистологический анализ регенератов костной ткани и слизистой оболочки после аугментации лунок удаленных зубов перед дентальной имплантацией при использовании различных композиций с остеопластическим материалом. Российский вестник дентальной имплантологии. 2020;1-2(47-48):56-61. EDN:SHJJGV
17. Chen J. Comparative insights into bone substitutes for two-stage maxillary sinus floor elevation: A Bayesian network approach. Tissue Eng Part C Methods. 2025;31(3):130-41. DOI:10.1089/ten.tec.2025.0010
18. Solov'ev MM, Gusev AA, Morozov VG. Morphometric assessment of reparative osteogenesis using various osteoplastic materials. Stomatologiya. 2015;(4):45-9. (In Russ.) Соловьев М.М., Гусев А.А., Морозов В.Г. Морфометрическая оценка репаративного остеогенеза при использовании различных остеопластических материалов. Стоматология. 2015;(4):45-9.

Статья поступила в редакцию 25.04.2026; одобрена после рецензирования 26.05.2026; принята к публикации 27.05.2026.
The article was submitted 25.04.2026; approved after reviewing 26.05.2026; accepted for publication 27.05.2026.

Информация об авторах:

Сергей Михайлович Чередников *– аспирант отдела дентальной имплантологии; ассистент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии; врач – челюстно-лицевой хирург, smcherednikov@gmail.com, ORCID 0009-0009-6956-4465;* ***Татьяна Владиславовна Брайловская*** *– начальник отдела дентальной имплантологии, профессор, доктор медицинских наук, brailovsktv@mail.ru, ORCID 0000-0003-0407-0885;* ***Лидия Николаевна Зайцева*** *– доцент кафедры патологической анатомии и судебной медицины, кандидат медицинских наук, lnzaiceva@mis66.ru, ORCID 0000-0002-4799-9953;* ***Максим Анатольевич Захаров*** *– временно и.о. начальника 2-го хирургического отделения, makes66@mail.ru;* ***Екатерина Михайловна Петрунина*** *– ассистент кафедры патологической анатомии и судебной медицины, ekaterina_b89@list.ru, ORCID 0000-0003-1106-4301;* ***Светлана Алексеевна Шарова*** *– старший преподаватель кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, mrs.sharova.s@gmail.com, ORCID 0009-0008-6843-0150.*

Information about the authors:

Sergei M. Cherednikov *– Post-Graduate Student of the Department of Dental Implantation; Instructor of the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, Maxillofactal Syrgeon, smcherednikov@gmail.com, ORCID 0009-0009-6956-4465;* ***Tatiana V. Brailovskaya*** *– Head of the Department of Dental Implantation, Professor, DSc, brailovsktv@mail.ru, ORCID 0000-0003-0407-0885;* ***Lidia N. Zaiceva*** *– Assistant Professor of the Department of Pathological Anatomy and Forensic Medicine, PhD, lnzaiceva@mis66.ru, ORCID 0000-0002-4799-9953;* ***Maxim A. Zakharov*** *– Acting Head of the 2nd Surgical Department, makes66@mail.ru;* ***Ekaterina M. Petrunina*** *– Instructor of the Department of Pathological Anatomy and Forensic Medicine, ekaterina_b89@list.ru, ORCID 0000-0003-1106-4301;* ***Svetlana A. Sharova*** *– Senior Lecturer of the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, mrs.sharova.s@gmail.com, ORCID 0009-0008-6843-0150.*