

## Гистологические предикторы неудовлетворительной регенерации носовых костей

Николай Вячеславович Волон<sup>1</sup>, Юлия Владимировна Григорьева<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup> Амбулаторный центр № 1, Самара, Россия

<sup>2</sup> Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

**Аннотация.** Носовые кости являются ключевыми элементами в архитектуре спинки и наружного контура носа. Выступающее расположение носовых костей относительно других костей лицевого скелета делают их уязвимыми к различным травмам. Даже спустя десятилетия после повреждения методы лучевой диагностики позволяют выявить признаки перенесенных переломов и хирургических вмешательств на носовых костях. Этот факт, наряду с высокой частотой травм носа, подчеркивает необходимость изучения причин ограниченной регенерации носовых костей. Схожая картина наблюдается в плоских костях свода черепа, которые, подобно носовым костям, формируются посредством интрамембранозного окостенения, что позволяет предположить наличие общих механизмов, лежащих в основе ограниченной репаративной регенерации. **Цель:** выявить гистологические особенности носовых костей, обусловленные интрамембранозным остеогенезом, которые служат предикторами их неудовлетворительной регенерации. **Материалы и методы.** Исследование выполнено на фрагментах носовых костей, полученных в ходе редукционной ринопластики у 10 пациентов среднего возраста с ринокифозом и ринокифолордозом. Образцы подвергались стандартной гистологической обработке с окрашиванием гематоксилином и эозином, по Ван Гизону и Пикро – Маллори. Выполнен морфометрический анализ. **Результаты.** Гистологическое исследование носовых костей позволило выявить следующие особенности: отсутствие губчатой костной ткани, значительное обеднение надкостницы кровеносными сосудами в сочетании с отсутствием камбиального слоя, а также недостаточное кровоснабжение компактного костного вещества. Вышеуказанные морфологические особенности носовых костей приводят к дефициту специализированных ниш, где локализуются мезенхимальные стволовые и остеопрогениторные клетки – основные источники регенерации костной ткани. В компактном веществе отмечается истончение и резорбция наружных опоясывающих костных пластинок и сохранение гаверсовых систем ранних поколений. Все вышеперечисленное также свидетельствует о слабом уровне ремодуляции костной ткани носовых костей в постнатальном остеогенезе. Основным местом, сохраняющим клеточный остеопрогениторный потенциал со стороны спинки носа, служит межносовый шов. **Заключение.** Неудовлетворительная регенерация носовых костей детерминирована интрамембранозным типом остеогенеза, приводящим к специфической гистоархитектонике костной ткани.

**Ключевые слова:** перелом костей носа, носовые кости, компактная костная ткань, надкостница, межносовый шов, репаративный остеогенез, интрамембранозный остеогенез

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2025-22-4-129-133>

## Histological predictors of unsatisfactory regeneration of nasal bones

Nikolay V. Volov<sup>1</sup>, Yulia V. Grigoryeva<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup> Ambulatory Center No.1, Samara, Russia

<sup>2</sup> Samara State Medical University, Samara, Russia

**Abstract.** The nasal bones are key elements in the architecture of the back and outer contour of the nose. The protruding position of the nasal bones relative to other bones of the facial skeleton makes them vulnerable to various injuries. Even decades after the injury, radiological diagnostic methods can reveal signs of fractures and surgical interventions on the nasal bones. This fact, along with the high frequency of nasal injuries, highlights the need to study the causes of limited regeneration of nasal bones. A similar pattern is observed in the flat bones of the cranial vault, which, like the nasal bones, are formed through intramembranous ossification, which suggests the presence of common mechanisms underlying limited reparative regeneration. **Purpose:** To identify the histological features of nasal bones caused by intramembranous osteogenesis, which serve as predictors of their unsatisfactory regeneration. **Materials and methods:** The study was performed on nasal bone fragments obtained during reduction rhinoplasty in 10 middle-aged patients with rhinocycphosis and rhinocycpholordosis. Samples were subjected to standard histological processing with hematoxylin and eosin staining, according to Van Gieson and Picro-Mallory. Morphometric analysis was performed. **Results and discussion:** Histological examination of the nasal bones revealed the following features: the absence of spongy bone tissue, significant depletion of the periosteum by blood vessels in combination with the absence of the cambial layer, as well as insufficient blood supply to the compact bone substance. The above-mentioned morphological features of the nasal bones lead to a shortage of specialized niches where mesenchymal stem and osteoprogenitor cells are localized, which are the main sources of bone tissue regeneration. In the compact substance, thinning and resorption of the outer shingles of bone plates is noted, and the preservation

of haversov systems of early generations. All of the above also indicates a weak level of bone remodulation of the nasal bones in postnatal osteogenesis. The main place preserving the cellular osteoprogenitor potential, on the side of the nasal bridge, is the nasal suture. **Conclusion:** The intramembranous type of osteogenesis, leading to specific histoarchitectonics of bone tissue, determines the unsatisfactory regeneration of nasal bones.

**Keywords:** nasal bone fracture, nasal bones, compact bone tissue, periosteum, nasal suture, reparative osteogenesis, intramembranous osteogenesis

Носовые кости (НК) представляют собой ключевые костные структуры в архитектуре спинки носа и формировании наружного носа. Поскольку они являются парными плоскими костями, их функциональное и клиническое значение превосходит простую формообразующую функцию: эти кости важны для обеспечения нормальной дыхательной функции [1], служат ложем для слизистой оболочки с периферическим звеном обонятельного анализатора [2], а также определяют ключевые эстетические параметры лицевого облика [3].

Выступающее расположение НК относительно других костей лицевого скелета делает их наиболее уязвимыми к травмам, что подтверждается высокой частотой встречаемости переломов носовых костей при сплошных исследованиях компьютерных томограмм носа и околоносовых пазух (до 43 % обследованных имеют рентгенологические признаки ранее перенесенных переломов НК) [4].

В ряде случаев недостаточно рутинной манипуляции – закрытой репозиции отломков с передней тампонадой носа, и требуется хирургическое вмешательство [5].

Переломы носовых костей, даже несмотря на технически правильное проведение первичного восстановления формы спинки носа и фиксации костных отломков, могут приводить к развитию осложнений, таких как ринокифоз, ринолордоз и риносколиоз [5]. Деформации приводят к визуальным изменениям внешнего вида носа, они обуславливают нарушение носового дыхания и развитие хронических риносинуситов. В связи с этим значительная часть пациентов нуждается в повторных хирургических вмешательствах, направленных на восстановление анатомической формы носа с особой надежной фиксацией костных фрагментов [5].

Кроме того, стоит отметить, что переломы НК, в прочем, как и большинства костей черепа, никогда полностью не срастаются, а линии переломов сохраняются на всю жизнь [4]. Все это требует применения удерживающих конструкций – титановых сеток, пластин, болтов. Все более востребованы биотехнологии, направленные на стимуляцию репаративного остеогенеза.

Следует подчеркнуть, что недостаточная интенсивность процессов восстановления наиболее выражена в плоских костях черепа, включая кости свода, которые, как известно, характеризуются интрамембранным типом окостенения, когда образование костной ткани осуществляется непосредственно на месте скопления нейромезенхимальных клеток остеогенной направленности, минуя хрящевую стадию. Формирование носовых костей проходит аналогичным образом и является неотъемлемым элементом краниофациального

морфогенеза [6], подчиненного общим законам роста и дифференцировки тканей.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выявить гистологические особенности носовых костей, обусловленные интрамембранным остеогенезом, которые служат предикторами их неудовлетворительной регенерации.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование было выполнено на базе ООО «Амбулаторный центр № 1» (г. Самара, лицензия № ЛО-63-01-004326). В работу были включены мужчины и женщины ( $n = 10$ ) среднего возраста с диагнозом ринокифоз и риносколиоз, которым планировалось проведение хирургической коррекции костного и хрящевого отделов носа с удалением избытков НК. Критериями исключения служили наличие в анамнезе проведенных ранее ринопластик и репозиций костей носа. Всем пациентам проводилось видеоэндоскопическое обследование, а также исследование структур лицевого черепа на конусно-лучевом томографе. Основным показанием к оперативному вмешательству являлся выраженный эстетический дефект. Объектом исследования послужили фрагменты НК, полученные в ходе редукционной ринопластики. Биопсийный материал фиксировали в 10%-м нейтральном забуференном растворе формалина, после чего проводили декальцинацию и автоматизированную гистологическую обработку в аппарате Leica ASP 300 с последующей заливкой образцов в парафин Histomix (Bio Optica). Полученные срезы толщиной 4–6 мкм окрашивали гематоксилином и эозином. Для дифференциации волокнистых соединительнотканых структур и скелетных соединительных тканей дополнительно применяли окраски по Ван Гизону и Пикро – Маллори. Цифровая микрофотография препаратов выполнялась с использованием цифровой камеры Canon 600. Морфометрический анализ структур костной ткани проводили с помощью программного обеспечения ImageJ. Полученные данные были подвергнуты статистической обработке в программе Microsoft Excel 2016.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

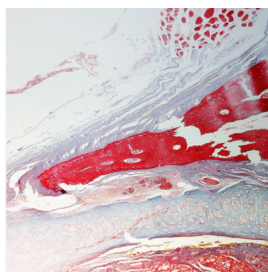
В результате исследования установлено, что носовые кости в области спинки носа у людей первого и второго периода зрелого возраста образованы компактной костной тканью (рис. 1), которая является основой всех костных тканей с интрамембранным типом

окастения. Принципиально, ее гистоструктурная организация мало чем отличается от таковой трубчатых костей и состоит из широкого слоя остеона и слоя наружных опоясывающих пластинок различной толщины (рис. 2). Общеизвестно, что компактная костная ткань также содержит слой внутренних опоясывающих пластинок, однако в наших образцах он не был обнаружен. В литературе встречаются работы по сравнительному анализу содержания трабекулярной и компактной костных тканей в верхней челюсти, имеющей аналогичное носовым костям интрамембранозное окастение [7]. Результаты этих исследований показали, что содержание трабекулярной ткани в носовых отростках является минимальным, что сопоставимо с нашими данными. Принимая во внимание, что трабекулярная костная ткань обладает развитой сосудистой сетью и содержит костный мозг, являющийся резервуаром мезенхимальных стволовых клеток, дающих начало остеогенным клеткам [8], представляется вероятным, что отсутствие или ограниченное содержание губчатой кости в носовых костях может оказывать влияние на их регенераторный потенциал.

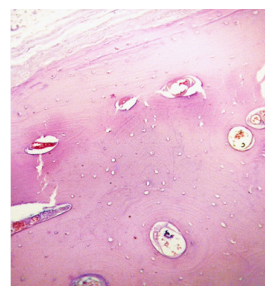
Компактная костная ткань носовых костей со всех сторон была покрыта надкостницей из плотной волокнистой соединительной ткани, основные пучки коллагеновых волокон которой имели расположение параллельное наружным опоясывающим пластинкам (рис. 1, 2). Исключением служили участки локализации межносового шва, который является неотъемлемой частью сформированной спинки носа.

Также установлено, что надкостница носовых костей формирует с костной тканью два вида связи: прочную и рыхлую (рис. 3). Прочная связь реализуется посредством перфорирующих коллагеновых волокон (волокон Шарпея), которые внедрены в слой наружных опоясывающих пластинок. Рыхлая связь локализуется в местах истончения или полного исчезновения опоясывающих пластинок.

Динамические изменения толщины наружных опоясывающих пластинок в костях – известный факт, обусловленный постоянным ремоделированием (перестройкой) костной ткани.

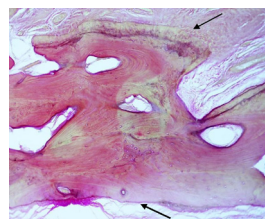


**Рис. 1.** Участок спинки носа женщины 42 лет. Окраска Пикро – Маллори. Увел.  $\times 10$ . Визуализируется компактная костная ткань носовой кости (красного цвета), окруженной надкостницей. Сверху виден мышечно-апоневротический слой, снизу гиалиновый хрящ носа и слизистая оболочка



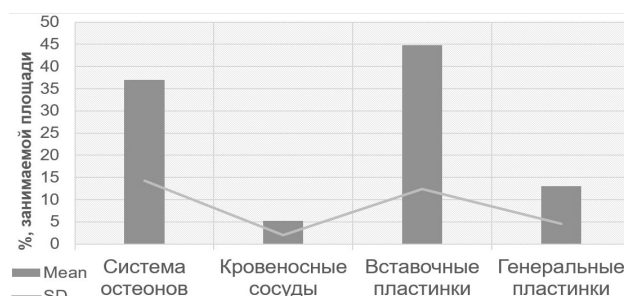
**Рис. 2.** Участок носовой кости со спинки носа женщины 42 лет. Окраска гематоксилином и эозином. Увел.  $\times 100$ . Визуализируется компактная костная ткань со слоем остеонов и слоем наружных опоясывающих пластинок, прикрытых надкостницей

Однако часто подобные изменения обусловлены снижением остеогенетического потенциала периоста [9]. Результаты нашего исследования согласуются с данной концепцией, поскольку нами было зафиксировано выраженное обеднение клеточными элементами и сосудами внутреннего (камбиального) слоя надкостницы. По нашему мнению, он отсутствует. Следовательно, можно предположить, что особенности структурной организации надкостницы могут вносить вклад в ограничение регенеративного потенциала костей носа.



**Рис. 3.** Участок носовой кости со спинки носа мужчины 32 лет. Окраска по Ван Гизону. Увел.  $\times 200$ . Визуализируются наружные опоясывающие пластинки разной толщины с плотной и рыхлой связями с надкостницей (указано стрелками)

Морфометрический анализ структурных компонентов компактной костной ткани носовых костей показал, что в ней преобладают интерстициальные пластинки и остеоны с широкими центральными каналами (рис. 4, табл.).



**Рис. 4.** Объемная доля структур компактной костной ткани носовых костей у людей среднего возраста (%)



Несмотря на то, что остеоны имеют расширенный центральный канал, на кровеносные сосуды в компактной ткани носовых костей приходится только  $(5,16 \pm 2) \%$  (рис. 4, табл.). Данный факт может отражать слабое кровоснабжение носовых костей. Последнее может служить дополнительным фактором для снижения регенераторных возможностей носовых костей.

Хотелось бы отметить, что в костной ткани носовых костей остеоны слабо подвержены перестройке, так как достаточно легко отследить костные пластинки от остеонов 1, 2 и 3 генерации (рис. 5), по сравнению с компактной костной тканью трубчатых костей, где генерации остеонов отследить порой невозможно из-за регулярной смены поколений остеонов. В неко-

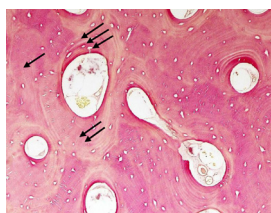
торых образцах мы встретили мелкие участки, напоминающие грубоволокнистую костную ткань.

Что касается межносового шва, который соединяет носовые кости друг с другом, можно отметить, что у данной возрастной группы мы определили три слоя (рис. 6). Литературные данные несколько разнятся и могут описывать как три, так и пять слоев [10], но в целом они отражают общий принцип организации черепных швов.

Периферия шва – это слой, непосредственно контактирующий с костной тканью соседних костей. Она выполнена из рыхлой соединительной ткани и содержит большое число клеточных элементов. Таким образом она подобна внутреннему клеточному слою надкостницы.

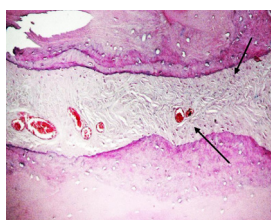
#### Описательная статистика структурных компонентов системы остеонов носовых костей у людей среднего возраста, мкм<sup>2</sup>

Показатель	Mean	SD	Min	Max	Mn	25 %	75 %	IQR
S остеонов	29132,99	17825,2	6721,68	77733,22	25178,06	16300,65	36430,49	20129,84
S центральных каналов	7583,08	6817,12	1205,11	31201,27	5569,94	3170,17	9429,3	6259,13
S сосудов	—	—	46,41	20056,74	2644,58	1081,35	5578,838	54497,5



**Рис. 5.** Участок носовой кости со спинки носа женщины 42 лет. Окраска по Ван Гизону. Увел.  $\times 200$ . Визуализируются гаверсовы системы до 3-го поколения (указано стрелками)

Центр шва образован плотной волокнистой соединительной тканью и, соответственно, подобен наружному волокнистому слою периоста. Таким образом, его образование может быть объяснено результатом слияния наружных (волокнистых) слоев надкостниц смежных костей (рис. 6). Здесь стоит обратить внимание на то, что пучки коллагеновых волокон в центре шва располагаются перпендикулярно поверхности кости и как бы натянуты между костями (рис. 6).



**Рис. 6.** Участок межносового шва со спинки носа женщины 25 лет. Окраска гематоксилином и эозином. Увел.  $\times 200$ . Прослеживается трехслойное строение шва с клетками у основания костной ткани (указано стрелками)

Такое положение и ориентация пучков волокон, при условии роста спинки носа и роста черепа в целом, может осуществлять динамическое воздействие на костную ткань и стимулировать ее рост, а наличие по периферии шва клеток, похожих на остеопрогениторные, этому подтверждение. Полученные результаты полностью согласуются с литературными данными о росте костей черепа в участках швов [10]. Однако их количество с увеличением возраста организма уменьшается, а сам шов подвергается перестройке в костную ткань.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты исследования показали, что недостаточная регенераторная способность носовых костей непосредственно обусловлена их специфическими структурными особенностями, которые, в свою очередь, детерминированы типом окостенения. Ключевыми структурными факторами, лимитирующими регенеративный потенциал, являются: отсутствие развитой губчатой костной ткани, значительное обеднение надкостницы кровеносными сосудами в сочетании с потерей клеточных элементов во внутреннем слое, а также недостаточное кровоснабжение компактного костного вещества. Вышеуказанные морфологические особенности носовых костей приводят к дефициту специализированных ниш, где локализуются мезенхимальные стволовые и остеопрогениторные клетки – основные источники регенерации костной ткани. Дополнительно, отмечается истончение и резорбция наружных опоясывающих костных пластинок.

Сохранение гаверсовых систем ранних поколений также свидетельствует о слабом уровне ремодуляции костной ткани носовых костей. Межносовый шов является основным местом, сохраняющим клеточный остеогениторный потенциал.

Неудовлетворительная регенерация носовых костей детерминирована их специфической гистоархитектоникой, которая скорее всего связана с интрамембранозным типом окостенения.

Все выявленные структурные и клеточные особенности необходимо учитывать при планировании и проведении реконструктивных оперативных вмешательств на носовых костях.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Рязанцев С.В., Будкова М.А., Артемьева Е.С. Дыхательная функция носа: современные подходы к диагностике и лечению патологических состояний. ПМЖ. *Медицинское обозрение*. 2019;3(9(II)):73–76. URL: [https://www.rmj.ru/articles/otorinolaringologiya/Dyhatelnaya\\_funkciya\\_nosa\\_sovremennye\\_podhody\\_k\\_diyagnostike\\_i\\_lecheniyu\\_patologicheskikh\\_sostoyaniy/](https://www.rmj.ru/articles/otorinolaringologiya/Dyhatelnaya_funkciya_nosa_sovremennye_podhody_k_diyagnostike_i_lecheniyu_patologicheskikh_sostoyaniy/)
2. Gavid M., Coulomb L., Thomas J., Aouimeur I., Verhoeven P., Mentek M. et al. Technique of flat-mount immunostaining for mapping the olfactory epithelium and counting the olfactory sensory neurons. *PLoS One*. 2023;18(1):e0280497.
3. Jack R.E., Schyns P.G. The Human Face as a Dynamic Tool for Social Communication. *Current Biology*. 2015;25(14):R621–34.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этические требования соблюдены. Текст не сгенерирован нейросетью.

#### Информация об авторах

Н.В. Волов – кандидат медицинских наук, доцент, Амбулаторный центр № 1, Самара, Россия; [volovnik@rambler.ru](mailto:volovnik@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2942-5665>

Ю.В. Григорьева – доктор медицинских наук, доцент, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия; [histology@bk.ru](mailto:histology@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7228-1003>

Статья поступила в редакцию 13.10.2025; одобрена после рецензирования 11.11.2025; принята к публикации 18.11.2025.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

Ethical requirements are met. The text is not generated by a neural network.

#### Information about the authors

N.V. Volov – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Outpatient Center No. 1, Samara, Russia; [volovnik@rambler.ru](mailto:volovnik@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2942-5665>

Yu.V. Grigoryeva – MD, Associate Professor, Samara State Medical University, Samara, Russia; [histology@bk.ru](mailto:histology@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7228-1003>

The article was submitted 13.10.2025; approved after reviewing 11.11.2025; accepted for publication 18.11.2025.

4. Волов Н.В. Переломы костей носа по данным анализа компьютерных томограмм. *Российская ринология*. 2025;33(3):205–208. doi: 10.17116/rostrino202533031205.

5. Won Kim S., Pio Hong J., Kee Min W., Wan Seo D., Kyu Chung Y. Accurate, firm stabilization using external pins: a proposal for closed reduction of unfavorable nasal bone fractures and their simple classification. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2002;110(5):1240–6; discussion 1247–8.

6. Som P.M., Naidich T.P. Illustrated review of the embryology and development of the facial region, part 1: Early face and lateral nasal cavities. *American Journal of Neuroradiology*. 2013;34(12):2233–2240.

7. Lim E.L., Ngeow W.C., Kadir K., Naidu M. Facts to Consider in Developing Materials That Emulate the Upper Jawbone: A Microarchitecture Study Showing Unique Characteristics at Four Different Sites. *Biomimetics (Basel)*. 2023;8(1):115.

8. Hauge E.M., Qvesel D., Eriksen E.F., Mosekilde L., Melsen F. Cancellous Bone Remodeling Occurs in Specialized Compartments Lined by Cells Expressing Osteoblastic Markers. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2009;16(9):1575–1582. doi: 10.1359/jbmr.2001.16.9.1575.

9. Szulc P., Seeman E. Thinking inside and outside the envelopes of bone: dedicated to PDD. *Osteoporosis International*. 2009;20(8):1281–8.

10. Pritchard J.J., Scott J.H., Girgis F.G. The structure and development of cranial and facial sutures. *Journal of Anatomy*. 1956;90(1):73–86.