

С. В. Сергеев, Е. С. Григорькина,  
С. Д. Зиновьев, О. А. Калмина, А. А. Григорькин

## МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛОСТЕЙ ОКОЛОНОСОВЫХ ПАЗУХ НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНОЙ ПАЗУХИ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

**Аннотация.** *Актуальность и цели исследования.* Поиск методов изучения анатомических объектов без нарушения их целостности на значительном количестве материала является актуальным направлением современной науки. Целью исследования являлось создание методики построения трехмерных моделей полостей околоносовых пазух по данным спиральной компьютерной томографии (СКТ) с возможностью последующего их измерения и сравнения. *Материал и методы.* Метод создания модели включал получение данных о внутреннем контуре пазухи на группе срезов СКТ с помощью разработанного нами веб-приложения, которые сохранялись и загружались в программу MeshLab v. 1.3.2. (Visual Computing Lab, 2012, Италия). После наложения текстуры визуализировалась полость синуса, инструмент Measuring tool позволял измерять параметры полости в различных направлениях между любыми выбранными точками. *Результаты.* Проведено сравнение 28 моделей верхнечелюстных пазух как с патологическими изменениями, так и в норме, выявлены индивидуальные особенности каждой полости, которые необходимо учитывать при планировании операций. *Выводы.* Разработанная методика позволяет изучать особенности как отдельно взятой пазухи, так и тенденции роста и развития полостей черепа, может применяться в клинической практике для повышения точности и снижения риска оперативных вмешательств, в том числе реконструктивных и эндоскопических. Дальнейшее развитие программного обеспечения позволит расширить возможности разработанной методики в изучении формы и размеров полостей черепа.

**Ключевые слова:** трехмерная модель, околоносовые пазухи, спиральная компьютерная томография, верхнечелюстная пазуха.

S. V. Sergeev, E. S. Grigorkina,  
S. D. Zinoviev, O. A. Kalmina, A. A. Grigorkin

## METHOD OF CREATING 3D-MODELS OF PARANASAL SINUS CAVITIES BY EXAMPLE OF MAXILLARY SINUS AND ITS PRACTICAL APPLICATION

**Abstract.** *Background.* Search of noninvasive methods for studying anatomical objects by a considerable amount of examples is one of the topical directions of modern science. The research is aimed at development of a method of paranasal sinuses 3D-models building with opportunity of their measurement and comparison. *Materials and methods.* The method of cranial cavities 3D-models building comprised the usage of SCT data. It allows to study cavities' form and size. For this purpose the authors made a web-application that helps to get information about inner contour of sinus walls, save it and load into MeshLab v. 1.3.2. (Visual Computing Lab, 2012, Italy). After texture mapping the sinus cavity may be visualized and its pa-

rameters can be measured with the Measuring tool in different directions between any points. *Results.* The method allows to study the features of one sinus on the one hand and cranial growth and development trends on the other hand. Rhino/analyzer application enables to compare the shape and sizes of two sinuses. It can be used in clinical practice to increase accuracy of surgeries, especially reconstructive and endoscopic ones. Further development of software would make it possible to use this method in more detail study of cranial cavities' forms and sizes.

**Key words:** 3D-model, paranasal sinuses, SCT, maxillary sinus

### Введение

На современном этапе развития медицинской науки большое значение приобрело моделирование анатомических образований с целью их визуализации, изучения формы и размера, планирования оперативных вмешательств, особенно если необходим подбор трансплантата или имплантата, для сопоставления его с операционным полем [1]. Еще одной важной задачей является разработка виртуальных методик обучения, симуляторов для отработки хирургических навыков [2].

В настоящее время для изучения линейных размеров и объема полостей черепа, в частности околоносовых пазух, широко применяется спиральная компьютерная томография (СКТ). Она позволяет детально послойно изучить костные структуры, выявить патологические изменения, аномалии и варианты строения [3, 4]. Этот метод применялся различными авторами для изучения объема верхнечелюстной пазухи, в том числе и на определенной высоте от ее дна, для исследования линейных размеров верхнечелюстной пазухи в пределах отдельных срезов, определения степени ее пневматизации [5–7].

Значительно расширить представление о пространственной анатомии верхнечелюстной пазухи, точно планировать оперативное вмешательство и снизить риск интраоперационных осложнений позволяет 3D-реконструкция изображения, полученного при компьютерной томографии [8].

Изучение закономерностей развития лицевого черепа, выявление индивидуальных и групповых особенностей во многом опирается на изучение и сравнение параметров его полостей, имеющих сложное, зачастую трудное для представления строение. Кроме того, максимально полное представление о полостях лицевого черепа значительно облегчает ориентировку в ходе хирургического вмешательства, особенно если речь идет об эндоскопической и реконструктивной хирургии. Современное программное обеспечение позволяет виртуально воссоздавать отдельные интересующие области анатомических объектов с возможностью их измерения, однако это не дает полного представления о строении содержащихся в них пространств, так как для их визуализации необходимо отсутствие одной или нескольких стенок, что, помимо прочего, ограничивает возможности получения полной информации о форме и размерах. В изученной нами литературе не упоминается возможность визуализации полостей черепа как отдельных объектов с возможностью их измерения и сравнения.

*Цель исследования* – разработка на примере верхнечелюстной пазухи программы для ПК, позволяющей на основании данных, полученных при СКТ, моделировать полости лицевого черепа с возможностью их измерения и сравнения.

### Материалы и методы

Для создания трехмерной модели верхнечелюстной пазухи нами было разработано веб-приложение Rhino, что позволяет пользоваться им как веб-сайтом, без дополнительной установки на ПК. Из серии срезов, полученных при СКТ, с шагом 2,5 мм выбирались те, на которых была изображена верхнечелюстная пазуха. Изображения загружались в программу, на каждом срезе с помощью специального инструмента по костному контуру пазухи расставлялись вершины, соединенные отрезками, так, чтобы контур пазухи повторялся максимально точно. После получения контуров на всех срезах трехмерные координаты вершин сохранялись в виде файла с расширением .ply, который загружался в программу MeshLab v. 1.3.2. (Visual Computing Lab, 2012, Италия, англоязычная). Для создания текстуры объекта на основании вершин использовался фильтр Surface reconstruction: ball pivoting с радиусом поворота и кластеризации 10 % и углом триагуляции 90°.

Для сравнения формы полостей двух синусов нами была разработана вторая часть веб-приложения – Rhino/analyzer, позволяющая сравнивать полученные модели путем наложения их друг на друга.

На основании 14 СКТ из архива Пензенской областной клинической больницы им. Н. Н. Бурденко нами созданы модели 28 пазух пациентов в возрасте от 21 до 46 лет. В исследование вошли восемь пазух без патологических изменений (первая группа), 17 пазух с признаками хронического воспалительного процесса (вторая группа) и две – с признаками травматических повреждений (третья группа).

Для измерения как линейных, так и диагональных размеров использовался инструмент Measuring tool. Оценивались следующие параметры: максимальная ширина, высота и глубина пазухи; высота, ширина и глубина скуловой бухты; минимальная высота, ширина и глубина пазухи (в пределах от перехода медиальной стенки синуса в нижнюю до его орбитальной стенки). Кроме того, определялись диагональные размеры: первый размер – от наиболее выступающей точки места перехода медиальной стенки пазухи в ее дно до наиболее удаленной точки задней стенки скуловой бухты; второй размер – от наименее выступающей точки перехода латеральной стенки пазухи в ее дно до наиболее выступающей точки верхне-медиальной части задней стенки. Данные заносились в электронные таблицы Excel 2003, статистическая обработка проводилась с применением пакета программ STATISTICA 10. С учетом нормальности распределения для сравнения применялся *t*-критерий Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

Нами получено 28 трехмерных моделей верхнечелюстных пазух. Размерные характеристики пазух, полученные при анализе трехмерных моделей, представлены в табл. 1.

При измерении параметров скуловой бухты нами получены следующие данные ( $M \pm \sigma$ ): в первой группе ее высота составила  $19,8 \pm 1,95$  мм, ширина –  $8,94 \pm 3,3$  мм, глубина –  $13,53 \pm 6,3$  мм; во второй группе –  $18,48 \pm 3,02$  мм,  $12,89 \pm 2,46$  мм и  $14,5 \pm 1,54$  мм соответственно. В целом во второй группе скуловая бухта была более широкой, чем в первой группе ( $p = 0,045$ ).

Таблица 1

Параметры верхнечелюстных пазух,  
измеренные на трехмерных моделях их полостей

Группа	Параметры ( $M \pm \sigma$ )							
	Высота max, мм	Высота min, мм	Ширина max, мм	Ширина min, мм	Глубина max, мм	Глубина min, мм	Диагональ 1, мм	Диагональ 2, мм
Норма	31,80 ± ± 5,03	25,41 ± ± 3,46	29,56 ± ± 2,04	14,56 ± ± 6,53	37,815 ± ± 2,25	20,34 ± ± 2,5	32,54 ± ± 7,6	39,20 ± ± 1,26
Хронический синусит	37,9 ± ± 3,63	25,93 ± ± 3,7	32,29 ± ± 2,72	12,33 ± ± 1,07	37,17 ± ± 1,83	20,79 ± ± 2,94	39,89 ± ± 2,25	37,58 ± ± 1,37

При анализе полученных данных можно отметить, что большинство параметров пазух с признаками хронического синусита практически не отличалось от таковых в норме, за исключением диагонали 1 (она была больше во второй группе,  $p = 0,03$ ). Это позволяет предположить, что при хроническом процессе давление измененной слизистой на костные стенки приводит к некоторому увеличению размера пазухи, в том числе и за счет скуловой бухты.

Во второй группе отмечалось также утолщение слизистой оболочки, истончение костных стенок, неровность их краев. Отметим, что утолщение слизистой оболочки при хроническом синусите не принималось во внимание, изучались параметры пазух по внутреннему контуру костных стенок. Наибольшая вариабельность параметров характеризовала третью группу, так как смещение костных стенок в результате травмы приводит к изменению нормальной анатомии синуса. Закономерным наблюдением в данной группе было уменьшение передне-задних размеров из-за вдавления лицевой стенки в полость пазухи.

На рис. 1 представлена модель левой верхнечелюстной пазухи женщины 45 лет без признаков патологических изменений. Трехмерная модель позволяет детально оценить форму пазухи, объем и глубину ее бухт, форму дна, особенности строения задних отделов.

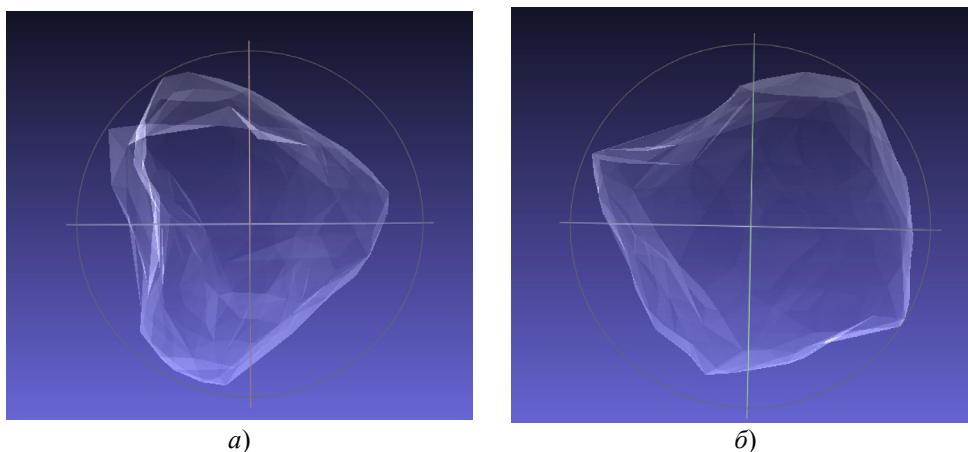


Рис. 1. Левая верхнечелюстная пазуха без признаков патологических изменений:  
а – вид спереди; б – вид со стороны латеральной стенки;  
в – вид сзади; г – норма на СКТ

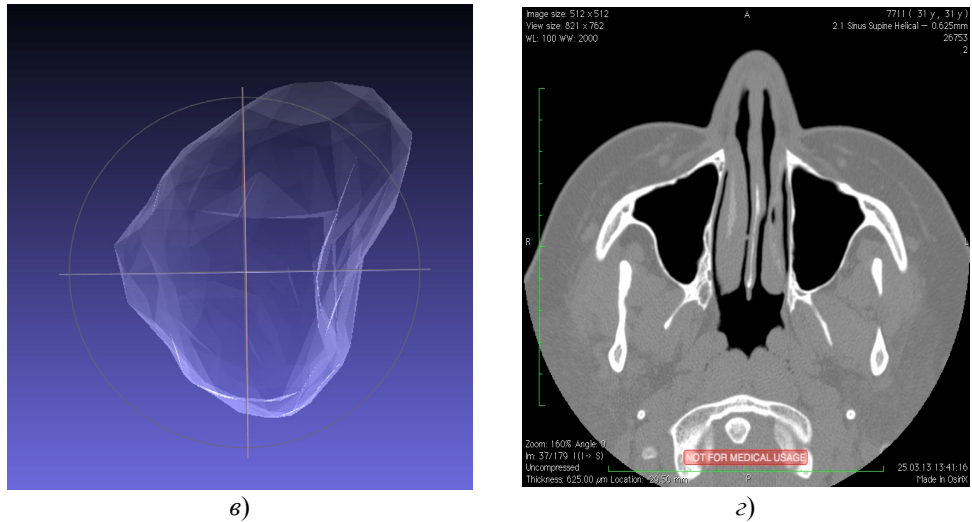


Рис. 1. Окончание

Отметим, что в цель нашего исследования не входило изучение внутреннего содержимого полостей, поэтому при наличии в пазухе перегородок и гребней нами учитывалось лишь их основание, образующее общий внутренний контур. На рис. 2 представлена левая верхнечелюстная пазуха мужчины 52 лет с признаками хронического воспаления на СКТ: утолщение слизистой оболочки, неровность и истончение костной стенки.

В данном случае стоит отметить более низкое, чем в двух других примерах, положение орбитальной стенки. Это создает риск проникновения в полость орбиты в случае слишком высокого наложения отверстия в лицевой стенке при эндоскопической микрогайморотомии. Использование трехмерной модели полости пазухи в данном случае позволило оценить ее форму и объем, угол наклона передней стенки по отношению к дну орбиты, что должно учитываться при выборе оперативного доступа и манипуляциях в верхних отделах синуса.

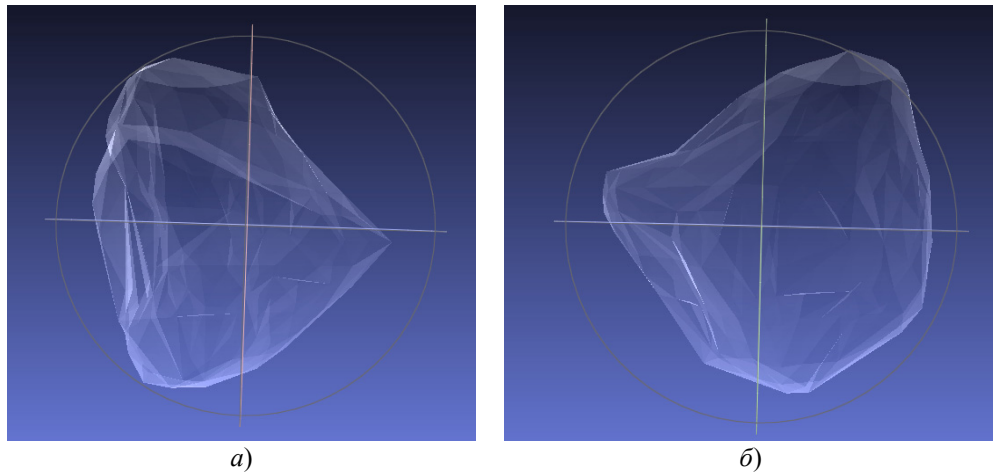


Рис. 2. Левая верхнечелюстная пазуха с признаками хронического воспаления:  
*a* – вид спереди; *б* – вид со стороны латеральной стенки; *в* – вид сзади;  
*г* – признаки хронического воспаления на СКТ

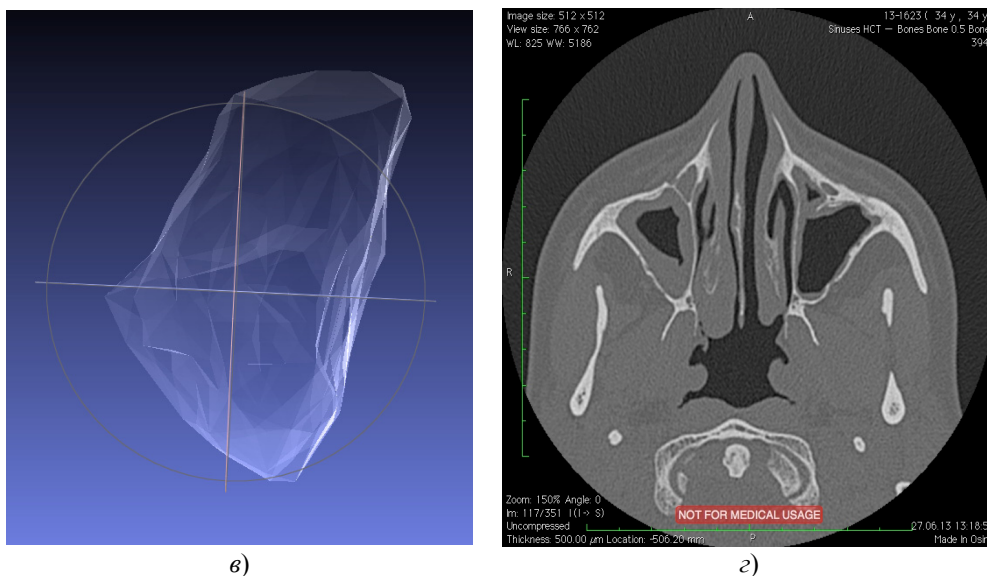


Рис. 2. Окончание

Инструмент Measuring tool дает возможность измерения расстояний между вершинами, причем часть отрезка может находиться «внутри» полости, часть – снаружи, если он пересекается контуром пазухи (рис. 3).

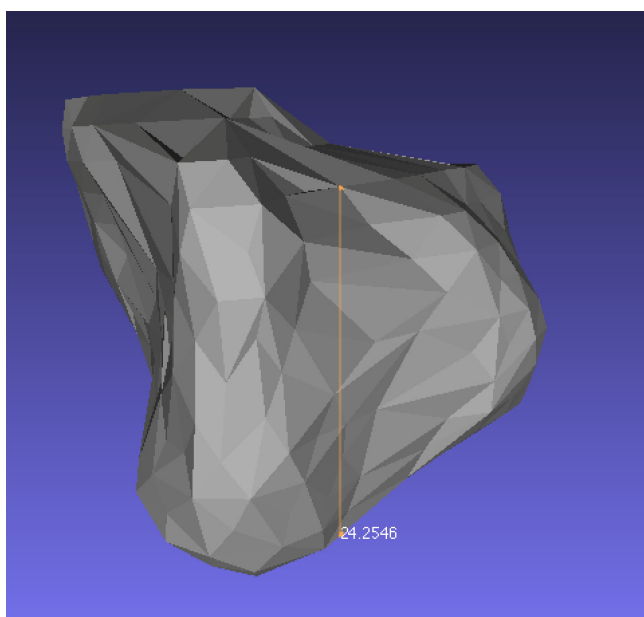


Рис. 3. Измерение расстояния от орбитальной стенки до дна верхнечелюстной пазухи. Отрезок, соединяющий две вершины, находится «внутри» полости

Сравнение полостей черепа методом наложения их моделей друг на друга в приложении Rhino/analyzer позволяет определить зоны, в которых форма пазухи в наибольшей степени вариабельна. При этом можно качественно оценить отличия пазух по размеру (рис. 4).

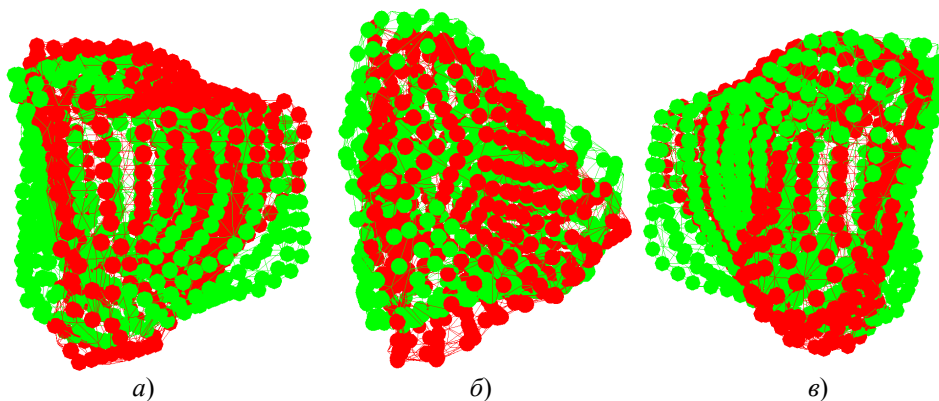


Рис. 4. Сравнение двух верхнечелюстных пазух по форме методом наложения в веб-приложении Rhino/analyzer:  
а – вид спереди; б – вид сверху; в – вид сзади

На рис. 4 приведено сравнение двух левых верхнечелюстных пазух: пазуха 1 женщины 45 лет (обозначена темно-серым), пазуха 2 мужчины 50 лет (обозначена светло-серым). В обоих случаях по данным СКТ патологии не выявлено. Очевидно, что верхнечелюстная пазуха 1 имеет большую высоту вблизи медиальной стенки и значительно меньшую – вблизи скуловой стенки, чем пазуха 2, которая является более широкой в основном за счет латеральных отделов, имеет уплощенное дно и сглаженную заднюю стенку. При этом вид сверху демонстрирует незначительные отличия формы и размеров синусов.

Подобное сравнение может быть использовано в антропологии для изучения индивидуальных, групповых и возрастных особенностей, процессов роста, развития и пневматизации лицевых костей.

Дальнейшая разработка данной методики позволит получать более точные данные о форме и размерах придаточных пазух носа, изучать закономерности их развития, а также проводить планирование хирургического лечения с учетом закономерностей индивидуальной изменчивости лицевого черепа, особенно когда речь идет об обширных разрушениях костных стенок синусов и реоперациях.

### Выводы

1. Таким образом, разработанная методика позволяет моделировать полости черепа по данным СКТ, что позволяет использовать значительное количество материала для изучения тенденций их роста и развития в условиях нормы и патологии.

2. Построение трехмерной модели верхнечелюстной пазухи позволит более точно планировать как классические, так и эндоскопические хирургические вмешательства.

3. Необходимо дальнейшее развитие методики, расширение возможностей программного обеспечения для применения приложения как в клинической практике, так и для антропологических исследований.

### Список литературы

1. **Shahbazian, M.** Spiral computed tomography based maxillary sinus imaging in relation to tooth loss, implant placement and potential grafting procedure / M. Shahbazian

- et al. // *J. Oral. Maxillofac Res.* – 2010. – Vol. 1. – URL: <http://www.ejomr.org/JOMR/archives/2010/1/e7/e7ht.pdf>
2. **Esses, Steven J.** Clinical applications of physical 3D models derived from MDCT data and created by rapid prototyping / Steven J. Esses et al. // *AJR.* – 2011. – Vol. 196. P. W683–W688. – URL: <http://www.ajronline.org/doi/pdf/10.2214/AJR.10.5681> from 10.07.2013
  3. **Пискунов, И. С.** Компьютерная томография в диагностике заболеваний полости носа и околоносовых пазух / И. С. Пискунов. – Курск : КГМУ. 2002. – 192 с.
  4. Краниометрия, рентгеноморфометрия и кефалометрия в ринологии : учеб. пособие для врачей / Н. С. Храппо и др. – Самара : СамГМУ, 2001. – 30 с.
  5. **Uchida, Y.** Measurement of maxillary sinus volume using computerized tomographic images / Y. Uchida et al. // *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants.* – 1998. – Vol. 13, №. 6. – P. 811–818.
  6. **Nelson, R.** Volumetric analysis of maxillary sinuses of Zulu and European crania by helical, multislice computed tomography / R. Nelson // *The Journal of Laryngology and Otology.* – 2004. – Vol. 118. – P. 877–881.
  7. **Kalavagunta, S.** Extensive maxillary sinus pneumatization / S. Kalavagunta et al. // *Rhinology.* – 2003. – Vol. 41. – P. 113–117.
  8. **Klapan, I.** Application of 3D computer-assisted techniques to sinonasal pathology – Case report: War wounds of paranasal sinuses caused by metallic foreign bodies / I. Klapan et al. // *Am. J. Otolaryngol.* – 2002. – Vol. 23. – P. 27–34.

### References

1. Shahbazian M. et al. *J. Oral. Maxillofac Res.* 2010, vol. 1. Available at: <http://www.ejomr.org/JOMR/archives/2010/1/e7/e7ht.pdf>
2. Esses Steven J. et al. *AJR.* 2011, vol. 196, pp. W683–W688. Available at: <http://www.ajronline.org/doi/pdf/10.2214/AJR.10.5681> from 10.07.2013
3. Piskunov I. S. *Komp'yuternaya tomografiya v diagnostike zabolevaniy polosti nosa i okolonosovykh pazukh* [Computer tomography in diagnosing stomatopathy and paranasal sinus diseases]. Kursk: KGMU, 2002, 192 p.
4. Khrappo N. S. et al. *Kraniometriya, rentgenomorfometriya i kefalometriya v rinologii: ucheb. posobie dlya vrachev* [Cranioimetry, roentgenomorphometry and cephalometry in rhinology: tutorial for practitioners]. Samara: SamGMU, 2001, 30 p.
5. Uchida Y. et al. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants.* 1998, vol. 13, no. 6, pp. 811–818.
6. Nelson R. *The Journal of Laryngology and Otology.* 2004, vol. 118, pp. 877–881.
7. Kalavagunta S. et al. *Rhinology.* 2003, vol. 41, pp. 113–117.
8. Klapan I. et al. *Am. J. Otolaryngol.* 2002, vol. 23, pp. 27–34.

---

#### **Сергеев Сергей Владимирович**

доктор медицинских наук, профессор,  
кафедра стоматологии с курсом  
оториноларингологии, Медицинский  
институт, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: [sergeylor@gmail.com](mailto:sergeylor@gmail.com)

#### **Sergeev Sergey Vladimirovich**

Doctor of medical sciences, professor,  
sub-department of dentistry with the course  
of otorhinolaryngology, Medical Institute,  
Penza State University (40 Krasnaya street,  
Penza, Russia)



**Григорькина Евгения Сергеевна**  
ассистент, кафедра стоматологии  
с курсом оториноларингологии,  
Медицинский институт, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: grigorkina87@gmail.com

**Grigor'kina Evgeniya Sergeevna**  
Assistant, sub-department of dentistry  
with the course of otorhinolaryngology,  
Medical Institute, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Зиновьев Сергей Дмитриевич**  
клинический ординатор, кафедра  
стоматологии с курсом  
оториноларингологии, Медицинский  
институт, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)  
E-mail: zinser00@mail.ru

**Zinov'ev Sergey Dmitrievich**  
Resident, sub-department of dentistry  
with the course of otorhinolaryngology,  
Medical Institute, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Калмина Ольга Анатольевна**  
кандидат медицинских наук, доцент,  
кафедра анатомии человека,  
Медицинский институт, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: okalmina@gmail.com

**Kalmina Ol'ga Anatol'evna**  
Candidate of medical sciences, associate  
professor, sub-department of human  
anatomy, Medical Institute, Penza State  
University (40 Krasnaya street, Penza,  
Russia)

**Григорькин Алексей Александрович**  
руководитель интернет-проектов,  
ООО «Окружность»  
(Россия, г. Пенза, ул. Пушкина, 2)  
E-mail: alexypnz@gmail.com

**Grigor'kin Aleksey Aleksandrovich**  
Internet project manager, "Okruzhnost"  
Ltd. (2 Pushkina street, Penza, Russia)

---

УДК 616.216-089  
**Сергеев, С. В.**

**Методика создания трехмерных моделей полостей околоносовых пазух на примере верхнечелюстной пазухи и ее практическое применение / С. В. Сергеев, Е. С. Григорькина, С. Д. Зиновьев, О. А. Калмина, А. А. Григорькин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2013. – № 4 (28). – С. 44–52.**