

Методика оценки положения височно-нижнечелюстного сустава

Н.А. Соколович¹, А.В. Рыбаков¹, А.А. Саунина¹, Е.С. Михайлова¹,
К.Г. Пономарева¹, Ю.С. Крутикова², Е.А. Окулова¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Technique for assessing the position of temporomandibular joint

N. Sokolovich¹, A. Rybakov¹, A. Saunina¹, E. Mikhailova¹,
K. Ponomareva¹, U. Krutikova², E. Okulova¹

¹St. Petersburg State University

²Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg

© Коллектив авторов, 2023 г.

Резюме

В современной стоматологии с развитием новых технологий лучевой диагностики появляются и различные методы их применения. Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) в основном используется для визуализации костных структур черепа — височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС), структур верхней и нижней челюсти в целом, расположения зубов в костной ткани для дальнейшего использования реконструированных трехмерных моделей для цифрового планирования лечения и прогнозирования результатов. **Цель исследования:** оптимизация методики трехмерного анализа параметров ВНЧС, анализ причин возможных погрешностей. **Материалы и методы исследования.** Получены данные компьютерной томографии и проведена оценка соответствия необходимым критериям в программном обеспечении Ez3D Plus (Vatech, Корея). Представлена методика трехмерного анализа индивидуального положения суставной головки, в суставной ямке в компьютерной программе Mimics (Materialise, Бельгия), по данным компьютерной томографии. Проведена оценка точности позиционирования трехмерных моделей зубных рядов на сегментированные модели из компьютерной томографии. С использованием определенного алгоритма действий сегментированная

модель перемещена в положение, соответствующее центральной окклюзии. **Результаты.** Исследование показало, что основной причиной неточности многоступенчатого позиционирования нижней челюсти являются автоматические алгоритмы сопоставления моделей и плохая детализация срезов компьютерной томографии. В связи с этим применялся метод зонирования сопоставляемых моделей, который показал свою эффективность и стабильность результатов при позиционировании. Наибольшая неточность результатов измерения положения ВНЧС связана с качеством срезов компьютерной томографии и ручной коррекцией масок и контуров поверхностей суставных головок. Определен алгоритм действий для получения необходимой информации при оценке положения суставных головок перед ортодонтическим лечением. **Заключение.** Определена обоснованная методика построения контуров мышечков в центральной окклюзии, которая может быть положена в основу создания позиционирования нижней челюсти для цифрового ортодонтического планирования лечения.

Ключевые слова: конусно-лучевая диагностика, височно-нижнечелюстной сустав, позиционирование нижней челюсти

Summary

With the development of new technologies of X-ray diagnostics, various methods of their application are used in modern dentistry. Cone beam computed tomography (CBCT) is mainly used to visualize the bone structures of the skull — temporomandibular joint, structures of the upper and lower jaw, the location of teeth in bone tissue for further use of reconstructed three-dimensional models for digital treatment planning and prediction of results.

Aim of the study: technique of three-dimensional analysis of the parameters of the temporomandibular joint (TMJ) optimization, possible deviations analysis. **Materials and methods:** computed tomography data was obtained and an assessment of compliance with the necessary criteria was carried out in the Ez3D Plus software (Vatech, Korea). A three-dimensional analysis technique of the individual position of the condyle in the articular fossa was provided with use of Mimics software (Materialise, Belgium), based on the data acquired from computed tomography (CT) research. The accuracy of positioning of three-dimensional models of dentition on segmented models from comput-

ed tomography was evaluated. By a certain algorithm of actions, the segmented model was moved to the position corresponding to the central occlusion. **Results.** The study showed that the main reason for the inaccuracy of multi-stage positioning of the mandible are the automatic algorithms of model matching and poor detail of computed tomography slices. In this regard, zoning of the compared model's parts was used, which demonstrated its effectiveness and result's stability. The greatest inaccuracy of the results of measuring the position of the TMJ is associated with the quality of CT and manual correction of masks and contours of the surfaces of condyles. The algorithm was developed for obtaining the necessary information when assessing the position of the condyles before planning the orthodontic treatment. **Conclusion.** A reasonable technique for constructing condyle contours in central occlusion has been determined, which can be used as a basis for positioning the mandible in a digital orthodontic treatment planning.

Key words: cone-beam diagnostics, temporomandibular joint, positioning of the lower jaw

Введение

В современной ортодонтии основным критерием является точная диагностика, основанная на цифровых методах анализа и планирования. Зачастую к врачу-ортодонту пациентов направляют врачи смежных специальностей уже после КЛКТ-исследования. И чтобы вновь не направлять пациентов на дополнительные рентгенологические обследования, для получения необходимых параметров можно использовать комбинированный метод диагностики.

Обычно врач основывается на визуальных данных, не задумываясь о том, что цифровые диагностические данные содержат дополнительные параметры, которые можно использовать в комплексном планировании ортодонтического лечения. Путем комбинации различных данных, полученных при КТ-исследовании, и цифровых трехмерных моделей зубных рядов моделируется дополнительный блок диагностической информации о положении нижней челюсти и суставных головок, который необходим при точном цифровом планировании.

Исследование положения головок нижней челюсти и структур височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) в ходе ортодонтического лечения является на сегодняшний день особенно актуальным. Об этом свидетельствует множество исследований, которые опираются на различные методы лучевой диагностики [1]. Такие исследования полезны и для врача, и для пациента [2]. Методы, используемые авторами, могут различаться как по скорости, так и по удобству обработки

данных. Однако все результаты этих исследований очень востребованы в клинической практике [3–7].

Наложение результатов исследований, полученных разными методами (КЛКТ, внутривисочное сканирование зубных рядов, МРТ) также является важной темой в современной диагностике. Методы, предлагаемые в лабораториях рентгенодиагностики для быстрого позиционирования, не всегда оптимальны и удобны. Возникают неточности при анализе окклюзии и определении положения суставных головок [7, 8]. Необходимость получения точной картины правильного положения суставных головок отмечали различные авторы. Однако при использовании прикусных шаблонов и маркеров появляется еще один параметр, влияющий на позиционирование нижней челюсти по отношению к верхней [9, 10]. Ошибки позиционирования возникают на стадиях получения и применения прикусных шаблонов, ложек с рентгеноконтрастными маркерами и других конструкций, помогающих при сопоставлении КЛКТ и двойном переносе на трехмерную модель зубных рядов.

Существующие методы позиционирования трехмерных моделей по трем выбранным точкам позволяют совмещать большие площади с равномерным распределением. Однако существует возможность совмещать модели по небольшому участку выбранных поверхностей, что, с одной стороны, уменьшает статистическое наложение моделей, а с другой — помогает сопоставить только те области, которые должны совпадать. Данная методика подойдет в случае с репозицией

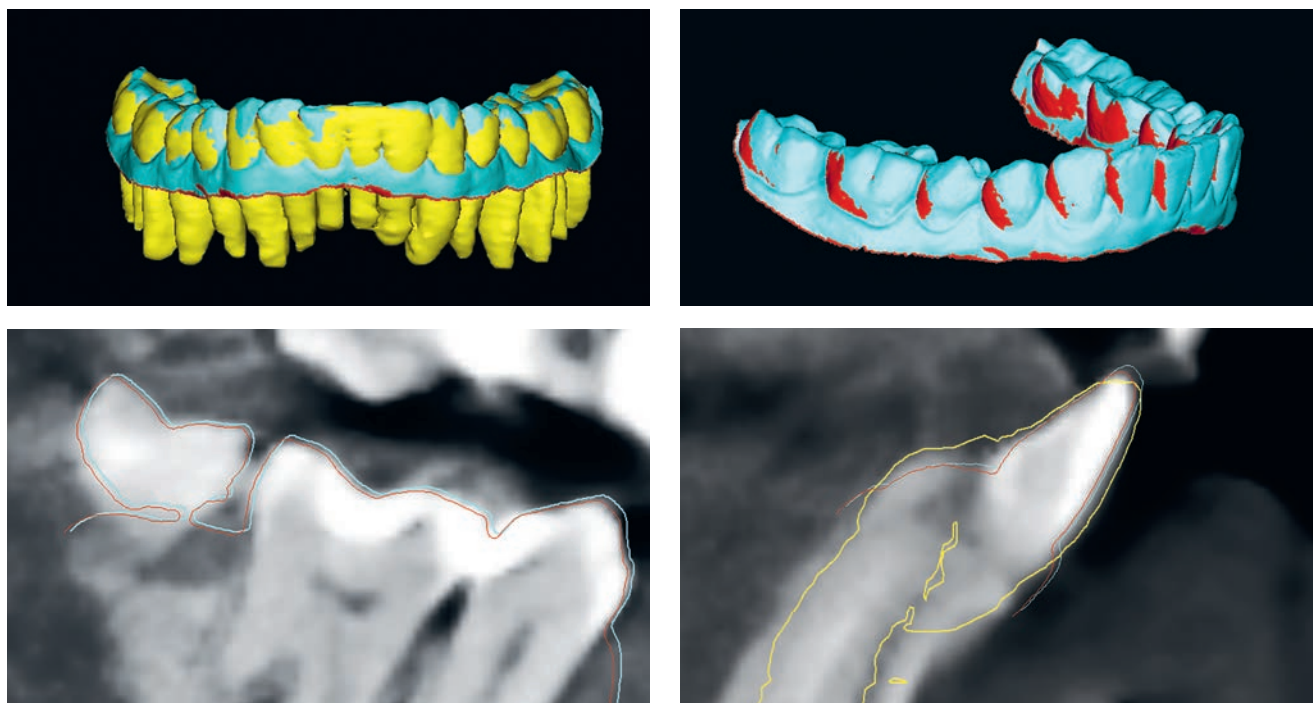


Рис. 1. Сравнение методов автоматического позиционирования с предварительным выравниванием трехмерных моделей и выравнивания по выделенным областям на сегментированных моделях из КТ-исследования. Желтый цвет — сегментированная модель из КТ-исследования, голубой цвет — автоматическое совмещение после предварительной ориентации модели, красный цвет — позиционирование модели по выделенной области

отдельных частей анатомических структур [11]. Ошибки при сопоставлении моделей могут быть нивелированы за счет однородности моделей и выбора различных точек сопоставления [12]. Однако метод наложения двух моделей с несовпадающей топологией будет давать большую погрешность и приводить к нежелательным отклонениям совмещения (рис. 1) [13, 14].

При совмещении КЛКТ и цифровых слепков необходимо учитывать, что несовпадения возможны из-за разрешающей способности метода, накопления системных ошибок обработки данных. Также существует возможность пренебрегать погрешностями во время планирования ортодонтического лечения. Методы оценки положения суставных головок нижней челюсти достаточно просто и точно позволяют провести индивидуальный анализ до, во время и после лечения [10, 15].

Цель исследования

Целью исследования было показать возможность получить дополнительные данные из относительных координат трехмерных цифровых моделей зубных рядов и применить их к позиционированию нижней челюсти при моделировании и оценке положения суставных головок.

Материалы и методы исследования

При написании статьи использовались данные, полученные в ходе исследования, в котором применя-

ли КЛКТ с полностью или частичным (достаточным для диагностики или оценки) охватом ВНЧС с прикусными шаблонами (открытое положение рта). Первичная оценка качества и анализ проводились в программном обеспечении Ez3D Plus (Vatech, Корея). Также использовались трехмерные модели зубных рядов, полученные внутриротовым сканером (Emerald, Planmeca, Хельсинки, Финляндия).

Была поставлена задача отобрать данные КЛКТ-исследований из общей базы пациентов, проходящих лечение и подходящих по критериям для проводимой работы, получить начальные трехмерные цифровые модели зубных рядов и сопоставить их с сегментированными моделями нижней и верхней челюстей при помощи специальных цифровых инструментов.

Затем выполнена оценка качества наложения моделей и проведено наложение сегментированной модели нижней челюсти на относительную окклюзионную модель отсканированных зубных рядов. После наложения и позиционирования нижней челюсти в положение центральной окклюзии по отсканированным моделям зубных рядов при помощи контурирования моделей проведена оценка положения суставных головок в центральной окклюзии.

Далее сделаны выводы о позиционировании нижней челюсти при составлении клин-чека (виртуального плана лечения) и анализа положения суставных головок после применения байт-джампа (скачка);

изменении положения окклюзионной плоскости и положении нижней челюсти при лечении на элайнерах с использованием полного цифрового протокола. Были получены исходные данные КЛКТ-исследований с частичным или полным охватом ВНЧС в открытом положении (рис. 2).

Проведена сегментация костной ткани пороговыми значениями по шкале Хаунсфилда с дополнительной ручной обработкой масок суставных голо-

вок для получения наилучшего результата и созданы трехмерные модели (рис. 3).

Трехмерные модели зубных рядов, полученные с помощью внутривидеосканера, были помещены в специальную программу обработки, и при помощи инструмента выделения области взаимодействия для совмещения моделей, сегментированных из КТ, произведено сопоставление по зубному ряду верхней челюсти (рис. 4).

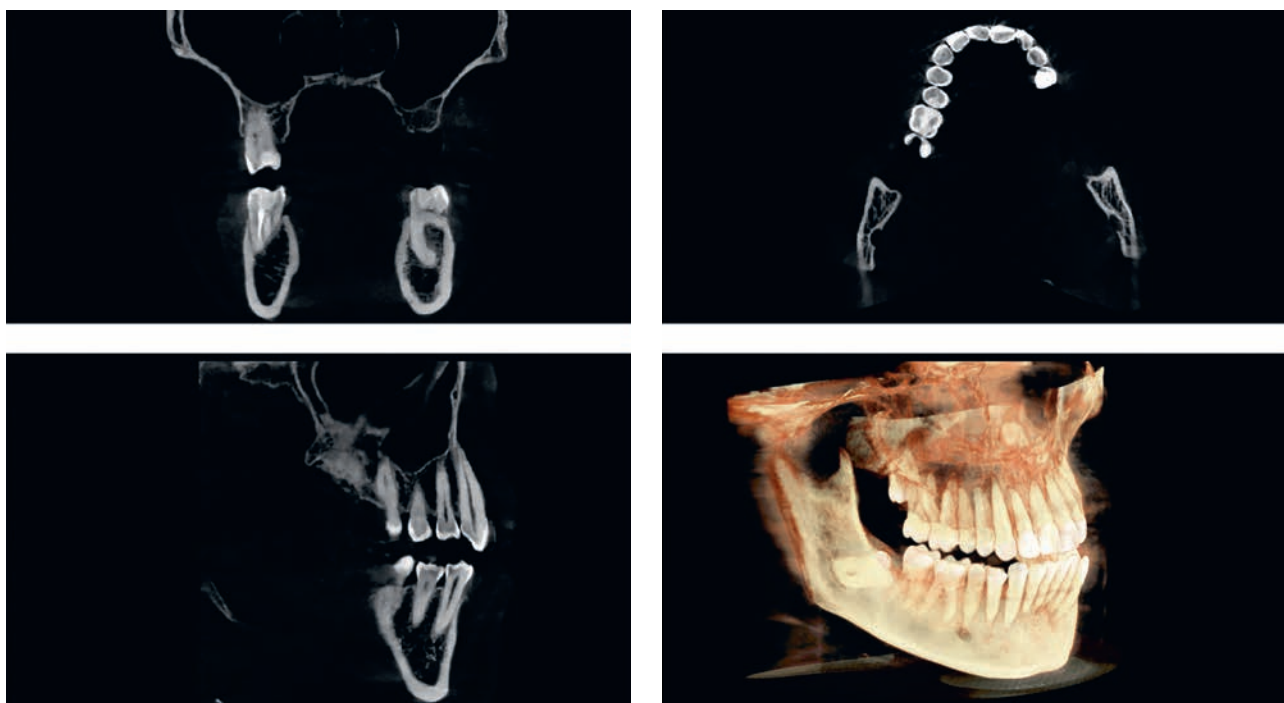


Рис. 2. КТ-исследование в открытом положении

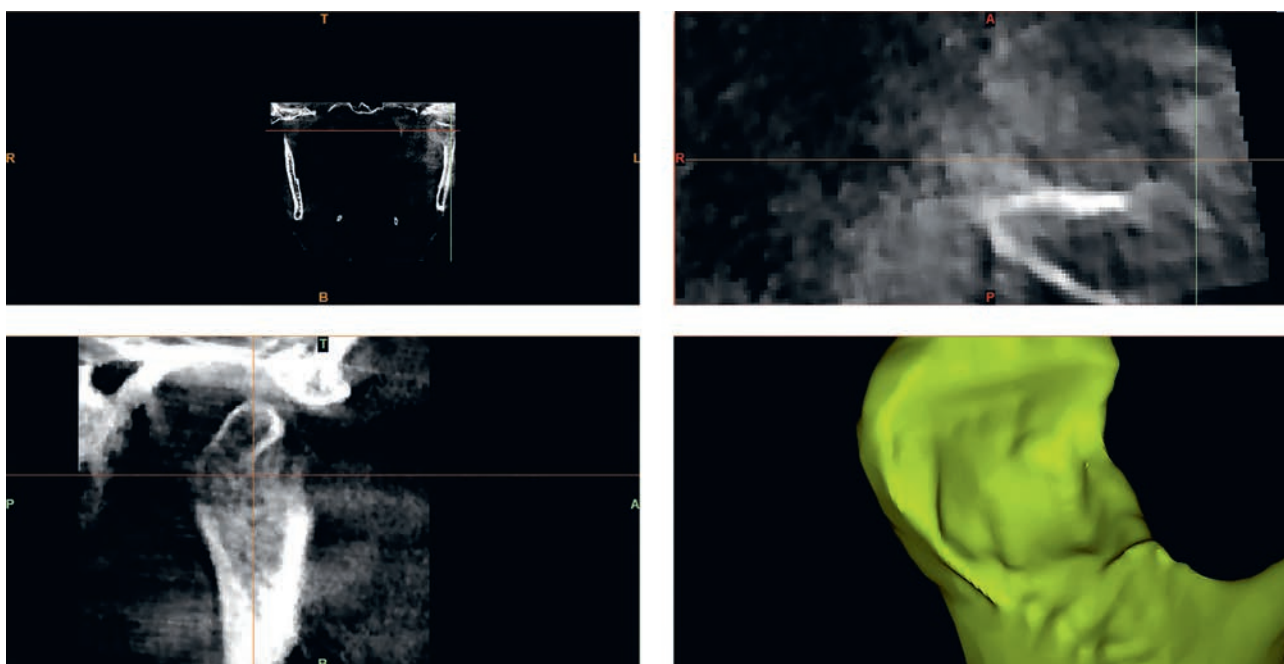


Рис. 3. Сегментированная модель суставных головок из КТ-исследований

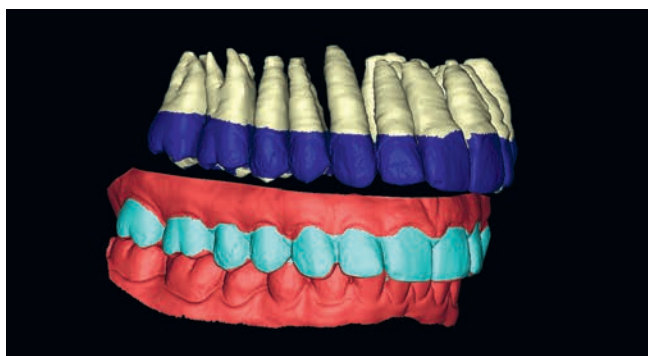


Рис. 4. Сопоставление зубных рядов в окклюзии при помощи выделенных областей на сегментированной модели зубных рядов из КТ-исследования

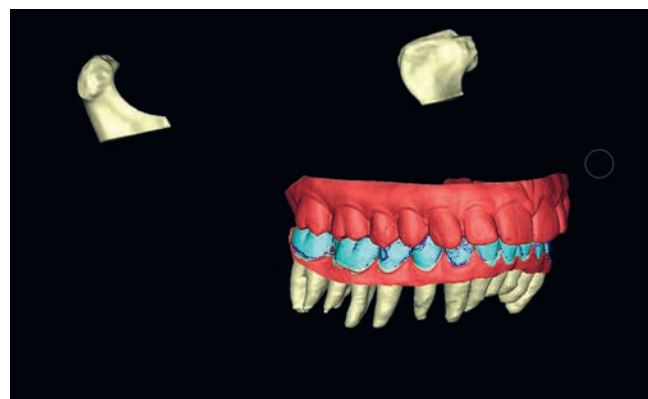
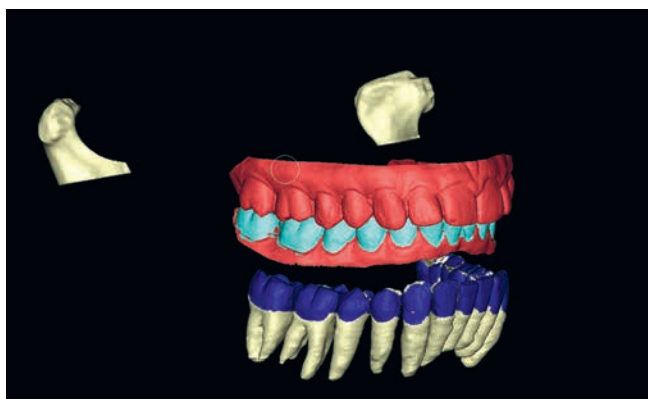


Рис. 5. Позиционирование сегментированной нижней челюсти (зубного ряда и привязанной к нему пары суставных головок) из КТ-исследования по моделям нижнего зубного ряда в окклюзии

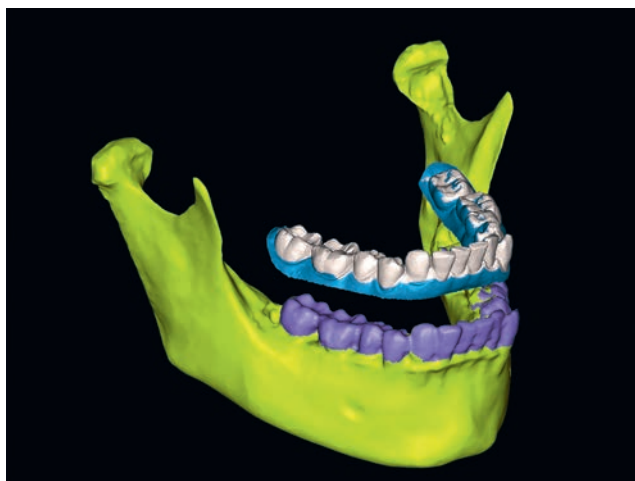


Рис. 6. Позиционирование сегментированной нижней челюсти из КТ-исследования по моделям нижнего зубного ряда в окклюзии по выделенным областям обеих моделей

Сегментированные данные суставных головок и зубных рядов (или эмали зубов) нижней челюсти были сопоставлены с нижним зубным рядом в окклюзии (рис. 5, 6).

Полученные данные с репозиционированной нижней челюстью были использованы для анализа положения суставных головок в суставной ямке (рис. 7, 8).

Выполнено контурирование трехмерной модели, спроецированное затем на рентгенологические срезы.

Результаты и их обсуждение

Результаты показали относительное положение суставных головок в центральной окклюзии, что и дало возможность провести планирование ортодонтического лечения с выдвиганием, ротацией или смещением нижней челюсти (рис. 9, 10).

За последние 15 лет было предложено множество вариантов наложения трехмерных сканов зубных рядов. Многие из них включают дополнительные геометрические конструкции с радиографическими маркерами, прикусными шаблонами с наружной ручкой и маркерами. И все варианты сопоставления основываются на одном и том же методе — наибольшем совпадении геометрии моделей, которая дает погрешность из-за большого объема «лишних» данных. Однако при использовании маркерного инструмента, выделяющего минимально необходимые поверхности, погрешность минимизируется.

Накопление системных погрешностей может дать незначительные отклонения. Однако они настолько

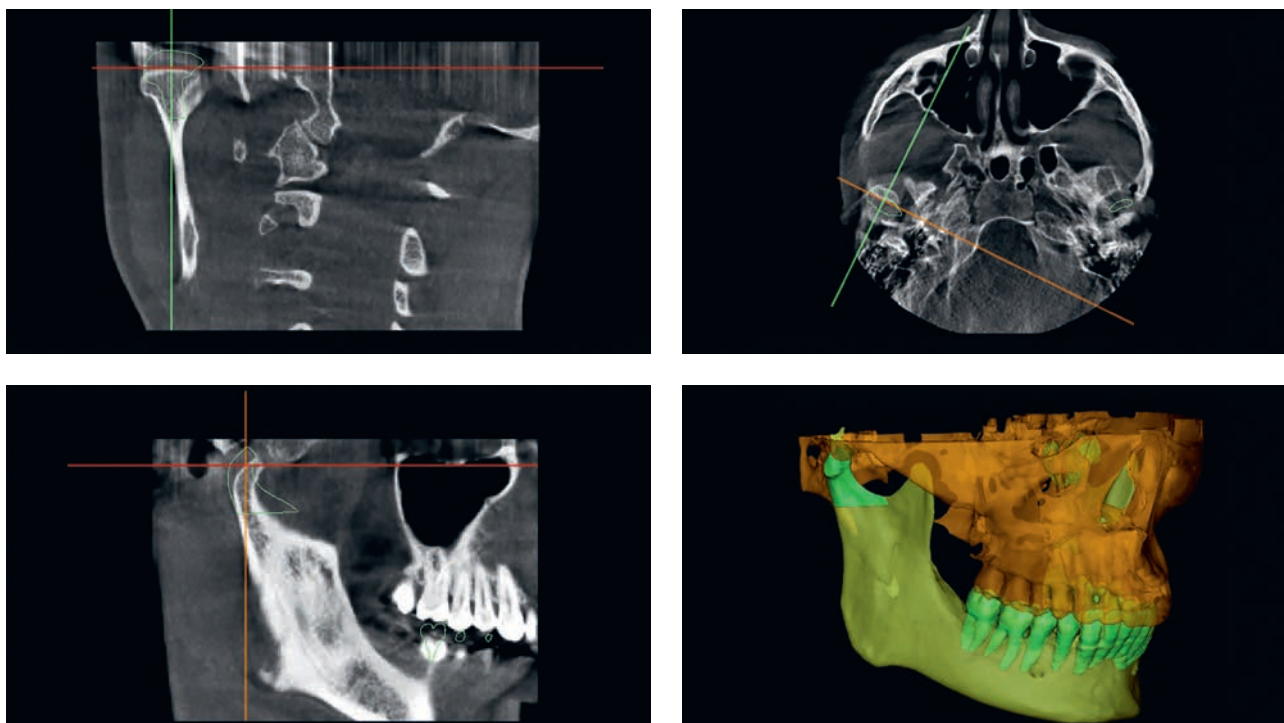


Рис. 7. Анализ контуров правой суставной головки на срезах, полученных при КТ-исследовании

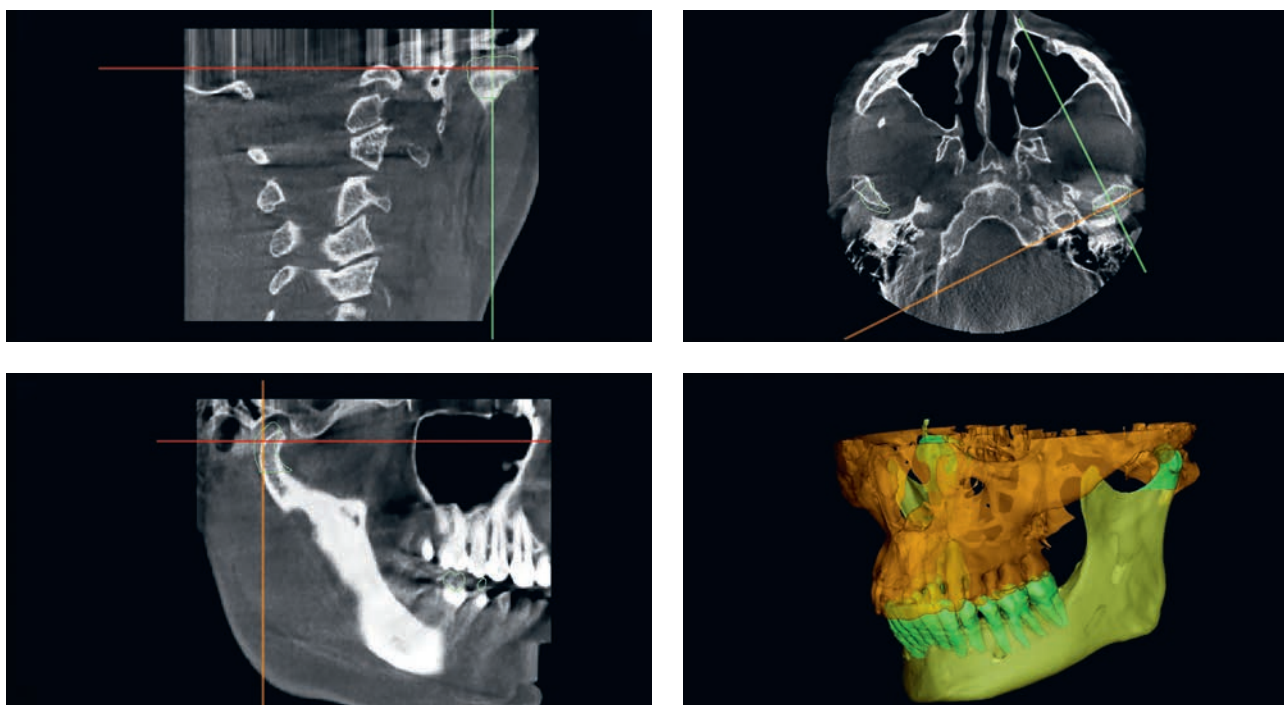


Рис. 8. Анализ контуров левой суставной головки на срезах, полученных при КТ-исследовании

малы и практически нивелируются статистическими алгоритмами обработки и сопоставлением моделей, что могут не учитываться, в особенности при использовании данных для оценки в диагностике, либо в анализе архивных данных, когда невозможно получить данные КТ в прошлом. Одной из замечательных возможностей этого метода является то, что модели

дают отличный результат для оценки девиации и дефлексии (рис. 11).

Отдельно стоит отметить возможность оценки погрешности позиционирования, которая может быть отмечена при использовании контурирования трехмерных моделей зубных рядов в проекции на рентгенологические срезы КТ (рис. 12).

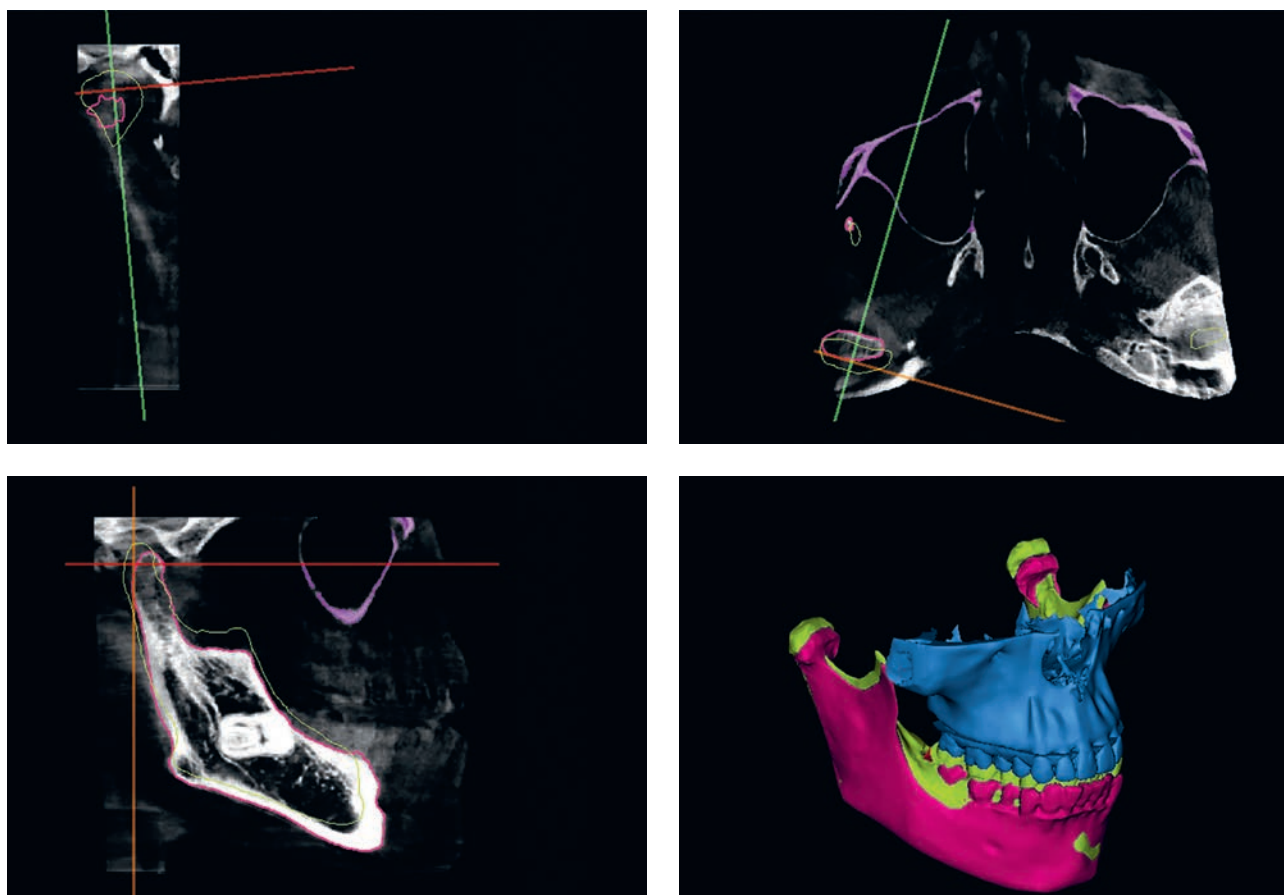


Рис. 9. Анализ контуров правой суставной головки на срезах КТ-исследования в открытом и закрытом положениях

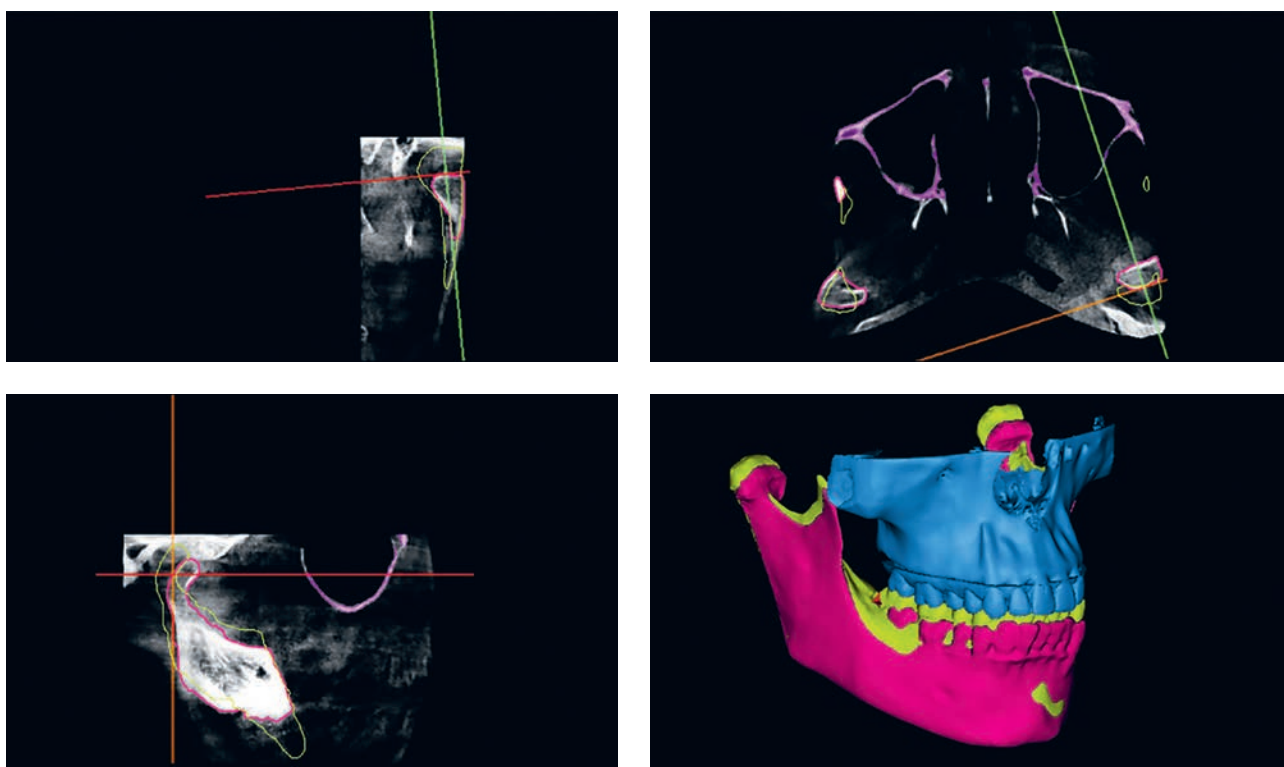


Рис. 10. Анализ контуров левой суставной головки на срезах КТ-исследования в открытом и закрытом положениях

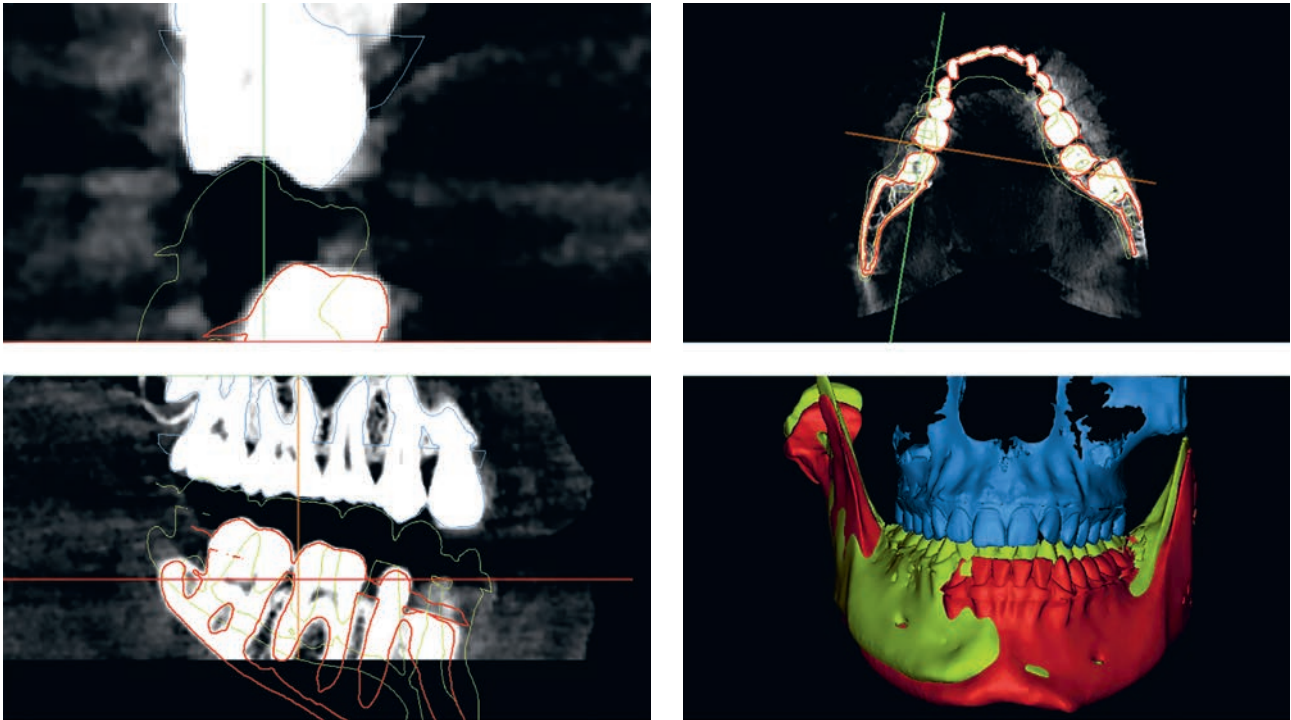


Рис. 11. Смещение нижней челюсти вправо при плотном смыкании. Наложение трехмерных моделей для оценки возможности смещения во время ортодонтического лечения

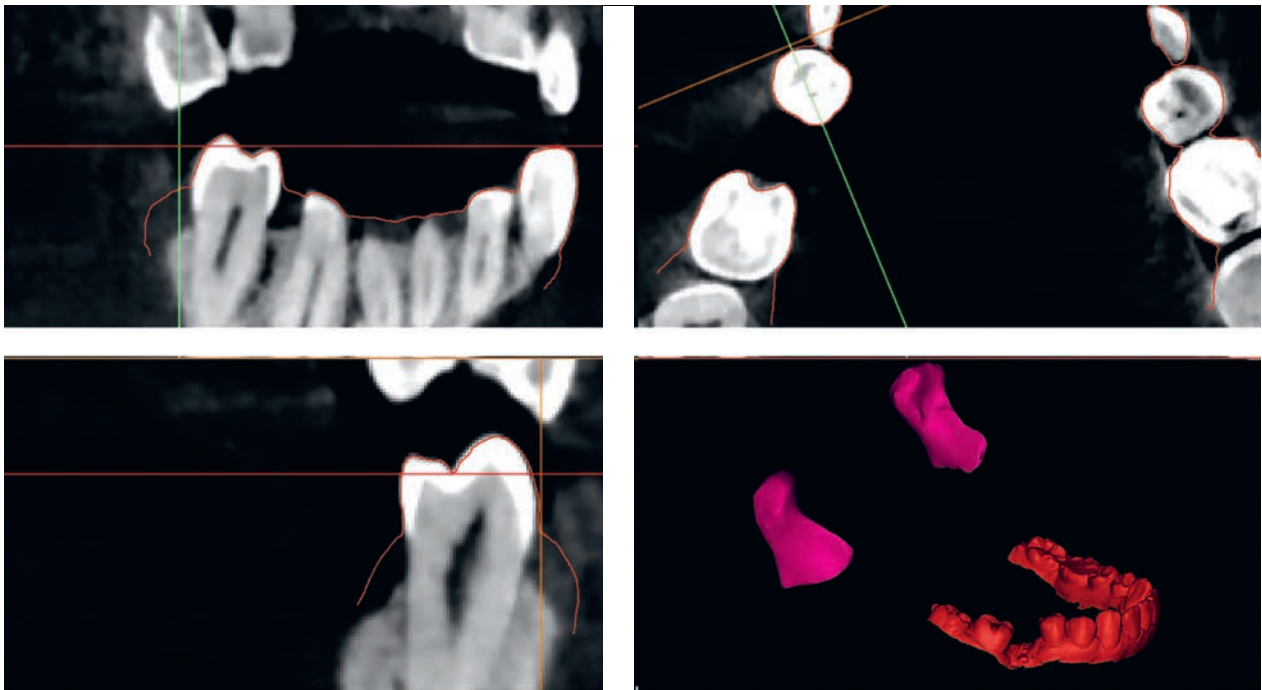


Рис. 12. Оценка позиционирования трехмерных моделей на срезах КТ-исследования сравнением совпадения контуров

Выводы

Таким образом, проведенное исследование показало, что выбранная методика обратного позиционирования нижней челюсти по трехмерным моделям зубных рядов отлично подходит для оценки поло-

жения суставных головок нижней челюсти в суставной ямке до начала лечения как при использовании архивных данных, так и при планировании сложных клинических случаев. Метод позволяет получить дополнительные данные, записанные в исследованиях рентгенодиагностики и трехмерных цифровых

моделях зубных рядов, которые и раскрываются при их сопоставлении. Преимущество метода заключается в меньшей лучевой нагрузке на пациента, экономии его финансовых средств и получении дополнительных данных при планировании лечения. Использование контурированных данных суставных головок ничем не отличается от стандартных методик исследований ВНЧС и даже превосходит по степени контроля правильности смыкания зуб-

ных рядов во время проведения КТ-исследования. Основной недостаток КТ-исследования в закрытом положении — плохой контроль смыкания зубных рядов или размытие границ эмали антагонистов, что, в свою очередь, означает потерю данных. Это может привести к ошибкам в планировании ортодонтического лечения, однако метод, описанный выше, исключает подобные проблемы и увеличивает точность используемых данных.

Список литературы

1. Iwaszenko S., Munk J., Baron S., Smoliński A. New method for analysis of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. *Sensors* 2021; May 1; 21 (9).
2. Pauwels R., Araki K., Siewersden J.H., Thongvigittanee S.S. Technical aspects of dental CBCT: State of the art; Vol. 44. *Dentomaxillofacial Radiology*. British Institute of Radiology; 2015.
3. Brosset S., Dumont M., Bianchi J., Ruellas A., Cevidanes L., Yatabe M. et al. 3D Auto-Segmentation of Mandibular Condyles. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. EMBS. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*; 2020: 1270–1273.
4. Han Y.T., Lin W.C., Fan F.Y., Chen C.L., Lin C.C., Cheng H.C. Comparison of dental surface image registration and fiducial marker registration: An *in vivo* accuracy study of static computer-assisted implant surgery. *Journal of Clinical Medicine* 2021; 10 (18).
5. Larheim T.A., Abrahamsson A.K., Kristensen M., Arvidsson L.Z. Temporomandibular joint diagnostics using CBCT. *Dentomaxillofacial Radiology* 2015; 44 (1).
6. Liu Q., Lian C., Xiao D., Ma L., Deng H., Chen X. et al. Skull Segmentation from CBCT Images via Voxel-Based Rendering. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 2021; 12966 LNCS: 615–623.
7. Swennen G.R.J., Mommaerts M.Y., Abeloos J., de Clercq C., Lamoral P., Neyt N. et al. A cone-beam CT based technique to augment the 3D virtual skull model with a detailed dental surface. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2009; 38 (1): 48–57.
8. Surgery G., Galante J.M. *Digital Dental Implantology*. Digital Dental Implantology. 2021.
9. Schiavoni R., Contrafatto R., Pacella B. A methodology to have a reliable condylar position during CBCT scans. *Vol. 35. Cranio. Journal of Craniomandibular Practice*. Taylor and Francis Ltd.; 2017: 271–273.
10. Imanimoghaddam M., Madani A.S., Mahdavi P., Bagherpour A., Darijani M., Ebrahimnejad H. Evaluation of condylar positions in patients with temporomandibular disorders: A cone-beam computed tomographic study. *Imaging Science in Dentistry* 2016; 46 (2): 127–131.
11. Nicolielo L.F.P., van Dessel J., Shaheen E., Letelier C., Codari M., Politis C. et al. Validation of a novel imaging approach using multi-slice CT and cone-beam CT to follow-up on condylar remodeling after bimaxillary surgery. *International Journal of Oral Science* 2017 Sep. 1; 9 (3): 139–144.
12. Nada R.M., Maal T.J.J., Breuning K.H., Bergé S.J., Mostafa Y.A., Kuijpers-Jagtman A.M. Accuracy and reproducibility of Voxel based superimposition of Cone Beam Computed Tomography Models on the anterior cranial base and the zygomatic arches. *PLoS ONE* 2011; 6 (2).
13. Baan F., Bruggink R., Nijsink J., Maal T.J.J., Ongkosuwito E.M. Fusion of intra-oral scans in cone-beam computed tomography scans. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03336-y>.
14. Dai F., Chen S., Chen G., Han B. Accuracy of Integration of Dental Cast and Cephalograms Compared with Cone-Beam Computed Tomography: A Comparative Study; 2021: 1–16.
15. Shrestha A., Song S.H., Aung H.N., Sangwatanakul J., Zhou N. Three-Dimensional Cephalometric Analysis: The Changes in Condylar Position Pre- and Post-Orthognathic Surgery With Skeletal Class III Malocclusion. *The Journal of craniofacial surgery* 2021 Mar 1; 32 (2): 546–551.

Поступила в редакцию 14.11.2022 г.

Сведения об авторах:

Соколович Наталья Александровна — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: lun_nat@mail.ru; ORCID 0000-0002-5621-7247;

Рыбаков Александр Владимирович — ассистент кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: Rybakov.aleksandr@gmail.com; ORCID 0000-0002-3385-7460;

Саунина Анастасия Андреевна — ассистент кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: s4unina@yandex.ru; ORCID 0000-0002-0328-2248;

Михайлова Екатерина Станиславовна — доктор медицинских наук; доцент кафедры терапевтической стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: e.mikhailova@spbu.ru; ORCID 0000-0002-0835-7253;

Пономарева Карина Геннадьевна — доцент кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: karon2007@mail.ru; ORCID 0000-0003-3380-0306;

Крутикова Юлия Сергеевна — студентка 5 курса Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: jtolmacheva@gmail.com; ORCID: 0009-0005-8624-6080;

Окулова Елена Анатольевна — ассистент кафедры стоматологии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: med-ezhik@mail.ru; ORCID 0000-0002-3889-0737.