

DOI: <https://doi.org/10.17816/1728-2802-2022-26-4-287-297>

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ



Сравнительная оценка точности отображения зубной дуги при помощи современных интраоральных 3D-сканеров

И.Д. Бородина, Л.С. Григорьянц, М.А. Гаджиев, С.С. Апресян, Р.В. Батов, А.Г. Степанов, С.В. Апресян

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Использование стоматологических интраоральных 3D-сканеров сегодня является ежедневным рутинным механизмом работы современного врача-стоматолога. Получение оптического 3D-изображения зубов и зубных рядов позволяет не только избежать возможности возникновения погрешностей на этапе получения традиционных силиконовых оттисков, но и в значительной степени снизить уровень дискомфорта, который возникает у пациентов во время стоматологического приема. Сегодня на рынке представлено большое количество систем внутриротовых сканеров. Несмотря на большое количество преимуществ их использования взамен традиционных силиконовых оттисков, открытым остается вопрос о точности получаемых оптических слепков при тотальном и субтотальном протезировании на верхней и нижней челюсти.

Цель — оценить в эксперименте точность сканирования моделей зубных рядов пациента при использовании внутриротовых сканеров и определить доступные на сегодняшний день модели цифровых приборов, оптимальные по соотношению цены и качества работы.

Материал и методы. Эталонным сканом (мастер-моделью) в исследовании являлось полученное с помощью лабораторного сканера оптическое изображение изготовленной методом аддитивной технологии 3D-печати референсной модели верхней челюсти пациента с полным зубным рядом. Полученная модель для нивелирования погрешностей усадки фотополимеризационных материалов была отсканирована в тот же день с использованием выбранных для исследования внутриротовых сканеров. Полученные результаты сканирования сравнивались с эталонным сканом контрольной группы. По результатам произведенных замеров в референсных точках для каждого сканера высчитывали среднее значение погрешности относительно мастер-модели и его прецизионность. В дополнение к средним величинам высчитывались параметры погрешности сканеров во фронтальном и жевательном отделе, а также погрешность по дуге, которая была равна разности значений расхождения в референсных точках, в которых было получено максимальное и минимальное значение. Также учитывалась стоимость сканеров и их доступность на отечественном рынке в условиях санкционной политики зарубежных стран.

Результаты. Наилучшую точность по результатам исследования расхождений моделей показал сканер CEREC Primescan AC: величина его средней погрешности составила $13,72 \pm 7,34$. Погрешность по дуге оказалась равной 18,8 мкм, расхождение во фронтальной области составило 18 мкм, а в жевательной — 6,8 мкм. Наиболее близким по точности оказался сканер 3Shape Trios 3, средняя погрешность которого составила $16,28 \pm 5,94$ мкм. Величина погрешности внутриротового сканера Aoralscan 3 составила $42,08 \pm 18,34$ мкм, в то время как точность по дуге — 65 мкм, расхождение во фронтальной области составило 33 мкм, а в жевательной — 55,1 мкм. Сканер Emerald S mode C имел среднюю погрешность $35,84 \pm 22,29$ мкм, что было выше, чем у Medit i500 и Aoralscan 3, однако по параметру прецизионности Aoralscan 3 оказался лучше (18,34 против 22,29 мкм). По результатам сопоставления моделей в программе MeshLab наименьшую медиану расстояний (18 мкм) показал CEREC Primescan AC. Модели TRIOS 3 и Emerald S mode C отличались от эталона в среднем на 29 мкм. Сканеры Aoralscan 3 показали результат в 33 мкм, а Medit i500 — в 41 мкм.

Заключение. Прецизионность работы сканера Aoralscan 3, которая является наилучшей среди аналогов в одной ценовой категории, дает основание считать данный сканер наиболее доступным для работы в условиях стоматологического хирургического, ортодонтического и ортопедического приема. Из премиальных сканеров, участвующих в исследованиях и доступных на сегодняшний день на стоматологическом рынке, лидером является CEREC Primescan AC.

Ключевые слова: внутриротовые сканеры; цифровые стоматологические технологии; объемная печать; точность сканирования.

Как цитировать:

Бородина И.Д., Григорьянц Л.С., Гаджиев М.А., Апресян С.С., Батов Р.В., Степанов А.Г., Апресян С.В. Сравнительная оценка точности отображения зубной дуги при помощи современных интраоральных 3D-сканеров // Российский стоматологический журнал. 2022. Т. 26, № 4. С. 287–297. DOI: <https://doi.org/10.17816/1728-2802-2022-26-4-287-297>

Рукопись получена: 26.07.2022

Рукопись одобрена: 29.07.2022

Опубликована: 20.09.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/1728-2802-2022-26-4-287-297>

ORIGINAL STUDY ARTICLE

Comparative evaluation of the accuracy of the dental arch display using modern intraoral three-dimensional scanners

Irina D. Borodina, Leon S. Grigoryants, Magammed A. Gadjiev, Svetlana S. Apresyan, Roman V. Batov, Alexandr G. Stepanov, Samvel V. Apresyan

RUDN University of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: At present, modern dentists used dental intraoral three-dimensional (3D) scanners routinely in their daily work. Obtaining an optical 3D image of the teeth and dentition helps avoid errors at the stage of obtaining traditional silicone impressions and significantly reduces the level of discomfort during dental procedures. Intraoral scanner systems are commercially available today. Despite their advantages over traditional silicone impressions, the accuracy of the optical impressions obtained during total and subtotal prosthetics on the upper and lower jaw are still questionable.

AIM: This study aimed to evaluate the accuracy of scanning models of the patient's dentition obtained using intraoral scanners and to determine the currently available models of digital devices that are optimal in terms of price and quality.

MATERIAL AND METHODS: The reference scan (master model) was an optical image of the reference model of the upper jaw of a patient with a full dentition made by additive 3D-printing technology obtained using a laboratory scanner. To level out the shrinkage errors of photopolymerization materials, the resulting model was scanned on the same day using intraoral scanners selected for the study. The obtained scan results were compared with the reference scan of the control group. Based on the measurements made at reference points, the average error value relative to the master model and its precision were calculated for each scanner. In addition to the average values, the error parameters of the scanners in the frontal and chewing sections were calculated, as well as the arc error, which was equal to the difference in the values of the discrepancy at the reference points at which the maximum and minimum values were obtained. The cost and availability of scanners on the domestic market, under the sanctions policy of foreign countries, were also considered.

RESULTS: The CEREC Primescan AC scanner showed the best accuracy according to the results of model discrepancies. It has an average error of 13.72 ± 7.34 . The arc error was 18.8 microns, and the discrepancies in the frontal area and chewing area were 18 and 6.8 microns, respectively. 3Shape Trios 3 scanner has the closest accuracy, with an average error of 16.28 ± 5.94 microns. The error value of Aoralscan 3 was 42.08 ± 18.34 microns, its arc accuracy was 65 microns, and the discrepancies in the frontal and chewing areas were 33 and 55.1 microns, respectively. Emerald S Mode C had an average error of 35.84 ± 22.29 microns, which was higher than that of Medit i500 and Aoralscan 3; however, Aoralscan 3 showed better precision (18.34 microns versus 22.29 microns). According to the comparison results of the models in the MeshLab program, CEREC Primescan AC showed the smallest median of distances (18 microns). The TRIOS 3 and Emerald S Mode C differed from the standard by an average of 29 microns, and Aoralscan 3 scanners had of 33 microns and Medit i500 had 41 microns.

CONCLUSION: The precision of Aoralscan 3 scanner, which is the best among its analogs in the price category, makes it the most affordable scanner for dental surgical, orthodontic, and orthopedic fields. CEREC Primescan AC is the leader of the premium scanners involved in the study and available in the dental market.

Keywords: intraoral scanners; digital dental technologies; volumetric printing; scanning accuracy.

To cite this article:

Borodina ID, Grigoryants LS, Gadjiev MA, Apresyan SS, Batov RV, Stepanov AG, Apresyan SV. Comparative evaluation of the accuracy of the dental arch display using modern intraoral three-dimensional scanners. *Russian Journal of Dentistry*. 2022;26(4):287–297.

DOI: <https://doi.org/10.17816/1728-2802-2022-26-4-287-297>

Received: 26.07.2022

Accepted: 29.07.2022

Published: 20.09.2022

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие цифровых технологий дает возможность повысить качество работы врачей-стоматологов, снизить себестоимость изготавливаемых конструкций и уменьшить время, необходимое для лечения пациентов [1–4]. С каждым годом появляется большое количество новых моделей интраоральных сканеров, а производители имеющих не стоят на месте, постоянно обновляя программное обеспечение и выпуская более эргономичные модели, позволяющие снизить время получения цифровых моделей и увеличить их качество [5–7]. Проведенных научных исследований, изучающих точность получаемых с помощью интраоральных сканеров 3D-объектов, относительно темпа развития данной области недостаточно [8–11]. Большинство имеющихся статей по данной тематике приводят аналитику, подтверждающую низкую точность цифровых слепков всего зубного ряда [12–15].

Принцип работы интраоральных сканеров заключается в проецировании света на сканируемый объект, принятии и обработке отраженных лучей и передаче информации на компьютер для получения 3D-изображения, где специальное программное обеспечение обрабатывает облака треугольников и воссоздает объемное изображение объекта (рис. 1).

Выделяют интраоральные и лабораторные сканеры. Рабочая поверхность камеры интраорального сканера напрямую влияет на область его работы и составляет не более 20 мм. У лабораторных сканеров поверхность сенсора занимает около 60–80 мм, что дает возможность более быстрого и качественного получения объемного изображения, что особенно важно в случаях полного тотального протезирования. Для получения объемного изображения объекта на лабораторном сканере модель

закреплена в фиксаторе и располагается на одном расстоянии от лазера, что увеличивает качество оптического слепка в сравнении с работой внутриротового сканера, где точность получения цифрового оттиска может зависеть от навыков оператора и соблюдения протокола сканирования [16].

При выборе внутриротового сканера, помимо точности получаемого изображения, необходимо учитывать ряд других факторов. Также основополагающими критериями, которыми нужно руководствоваться при выборе внутриротового сканера, должны быть его производительные характеристики: скорость, объем захвата изображения, интеллектуальная обработка данных [17].

Скорость захвата изображения — это быстрота эффективного перемещения сканера в полости рта, при котором построение общего изображения не прерывается. Это важный показатель, позволяющий экономить время стоматологического приема и, главное, ограничить время пребывания во рту, что причиняет определенный дискомфорт пациенту.

Показатель объема захваченного изображения характеризует количество полезной информации, полученной при однократном проведении сканера по объекту. Данный показатель, как уже отмечалось выше, зависит от размера рабочей поверхности камеры и расположения сенсора и, безусловно, ниже у интраоральных сканеров по сравнению с лабораторными [18].

И наконец, важная и постоянно обновляемая производителями характеристика — качество интеллектуальной обработки данных, зависящее от программного обеспечения CAD/CAM-системы. При интраоральном сканировании, помимо важных для последующей работы элементов, в поле фиксации камеры попадают ткани протезного поля — язык, щеки, ретракторы, стоматологическое зеркало. Возможность отсеивания ненужных

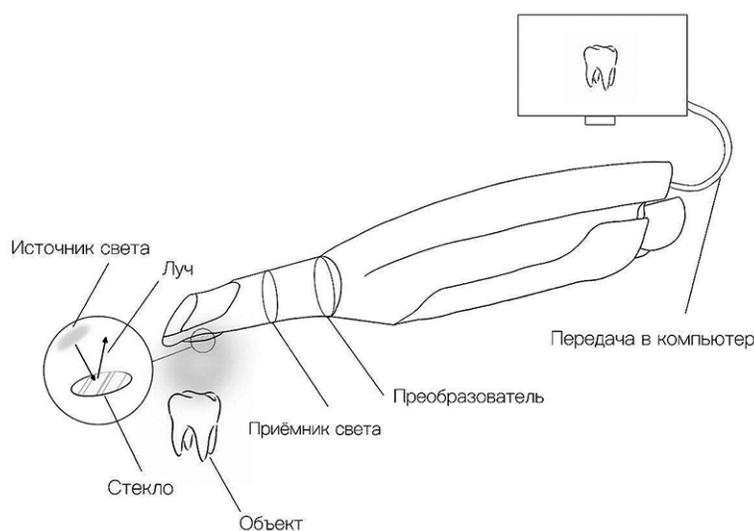


Рис. 1. Схематическое изображение принципа работы интраорального сканера.

Fig. 1. Schematic representation of the principle of operation of the intraoral scanner.

объектов при формировании окончательного изображения и точное сопоставление элементов сканируемой поверхности характеризуют качество программного обеспечения.

Условием, влияющим на точность сканирования зубной дуги, является соблюдение техники сканирования.

Существуют дополнительные опции внутриротовых сканеров, выделяемые рядом авторов как решающие в выборе системы. К данным опциям относятся прежде всего стоимость самой системы и технической поддержки программного обеспечения, наличие провода, соединяющего сканер с компьютером, сенсорного или тактильного управления, использование антибликового порошка при сканировании или других дополнительных аксессуаров [12, 14].

Обобщая все необходимые характеристики, были выработаны следующие критерии сравнения CAD/CAM-систем [19]:

- 1) скорость сканирования: большинством современных сканеров можно выполнить полноцветное сканирование всей дуги в течение 1 мин;
- 2) качество сканирования: определяет качество захвата поверхности и формы в процессе сканирования, непрерывность скана, скорость распознавания места остановки после возобновления прерванной работы, а также качество сшивки скана и самого полученного файла;
- 3) размер сканера: основан не только на размере головки, но и на общем размере и массе сканера;
- 4) простота использования: критерий показывает удобство оборудования, плавность сканирования, возможности программного обеспечения, обработки изображения и организации рабочего процесса;
- 5) цена / инвестиционная стоимость: относительно самой дешевой и самой дорогой модели в обзоре;
- 6) наличие платного обслуживания: наличие платных или бесплатных сервисов обновления программного обеспечения, технического обслуживания, техподдержки;
- 7) сенсорный экран: органы управления на самом сканере;
- 8) беспроводной сканер: возможность беспроводной работы, как правило, с подключением по Bluetooth или Wi-Fi;
- 9) обнаружение кариеса: наличие функции обнаружения кариеса, например, трансиллюминации или флуоресценции;
- 10) интеграция с системой автоматизированного проектирования (CAD): наличие в программном обеспечении функций системы автоматизированного проектирования.

Сегодня на рынке представлено большое количество систем внутриротовых сканеров. Несмотря на большое количество преимуществ их использования взамен традиционных силиконовых оттисков, открытым остается вопрос о точности получаемых оптических слепков

при тотальном и субтотальном протезировании на верхней и нижней челюсти [15, 17, 18].

Цель исследования — оценить в эксперименте точность сканирования моделей зубных рядов пациента при использовании внутриротовых сканеров и определить доступные на сегодняшний день модели цифровых приборов, оптимальные по показателю соотношения цены и качества работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве референса нами была изготовлена модель верхней челюсти пациента с полным зубным рядом методом аддитивной технологии SLA (стереолитографии) на 3D-принтере Formlabs Form 3B (Formlabs, США) из материала Dental Model Resin V2 (Formlabs, США). Полученная модель прошла постобработку изопропанолом в специальной станции Form Wash (Formlabs, США) с последующей окончательной фотополимеризацией в камере Form Cure (Formlabs, США). Указанные манипуляции были выполнены согласно инструкции производителя конструкционного материала (рис. 2).

Полученная модель для нивелирования погрешностей усадки фотополимеризационных материалов была отсканирована в тот же день с использованием выбранных для исследования 5 внутриротовых сканеров.

Всего было получено по 5 цифровых моделей каждым сканером. После каждого сканирования производилась калибровка. Полученные сканы модели сравнивались с эталоном (мастер-моделью), которым являлось оптическое изображение референсной модели (рис. 3),



Рис. 2. Модель верхней челюсти, напечатанная на 3D-принтере Formlabs (США).

Fig. 2. A model of the upper jaw printed on a 3D printer by Formlabs (USA).

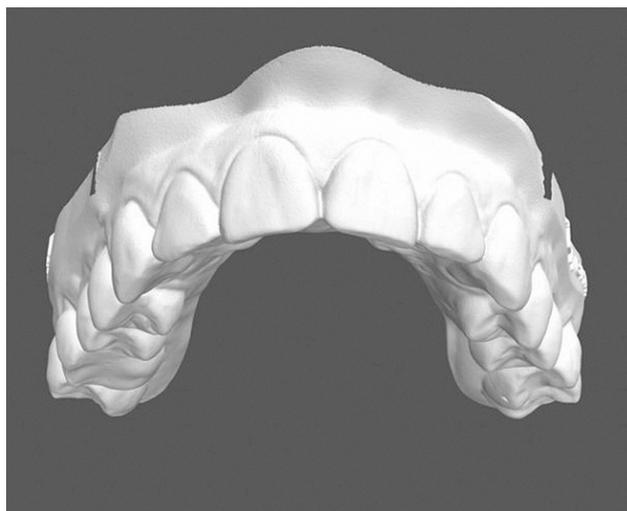


Рис. 3. Эталонная цифровая модель, полученная на лабораторном сканере.

Fig. 3. Reference digital model obtained on a laboratory scanner.

полученное с помощью лабораторного сканера ZirconZahn S300 (ZirconZahn, Италия).

В проведенном исследовании использовались наиболее часто применяемые на сегодняшний день в стоматологической практике сканеры Medit i500 (Medit, Южная Корея), CEREC Primescan AC (Dentsply Sirona, США), TRIOS 3 (3Shape, Дания), Aoralscan 3 (Shining 3D, Китай), Emerald S mode C (Planmeca, Финляндия), схожие по своей производительности, затрачиваемому на сканирование зубного ряда времени, точности сшивки изображения и дополнительным функциям. Однако стоимость данных аппаратов различна. Средняя стоимость указанных

сканеров на момент проведения исследования в рублях составляла: Primescan AC (Dentsply Sirona, США) — 3 250 000–3 502 000; Planmeca Emerald S (Planmeca, Финляндия) — 1 759 990–1 799 010; 3Shape (3Shape, Дания) — 1 499 000–1 700 000; Medit i500 (Medit, Южная Корея) — 821 572–869 000; Aoralscan 3 (Shining 3D, Китай) — 800 000–839 000.

Точность внутриротовых слепков, полученных с помощью указанных сканеров, определялась при помощи измерительных инструментов программы Exocad. Каждое полученное объемное изображение экспортировалось из программного обеспечения сканера в формате STL-файла, после чего импортировалось в программу для моделирования стоматологических конструкций Exocad, где сопоставлялось с мастер-моделью через модуль «Эксперт» и функцию «Добавить 3D-объект».

Два STL-файла сопоставлялись путем поочередного расположения 5 точек на моделях: в середине цервикальной линии вторых моляров справа и слева, по центру цервикальной линии клыков с правой и левой стороны, а также у режущего края центральных резцов у медиальных апроксимальных контактов (рис. 4).

В каждом случае производился расчет отклонений между каждой точкой на мастер-модели и моделью, отсканированной интраоральным сканером (рис. 5).

После сопоставления двух объемных изображений программа окрашивала модели в различные цвета, соответствующие величине расхождения: 10 мкм — в синий цвет, 11–22 мкм — голубой, 23–52 — зеленый, 53–62 — желтый, 63–80 — оранжевый. Далее расхождение до 100 мкм отображается красным цветом, при большем расстоянии область становится розового цвета (рис. 6).

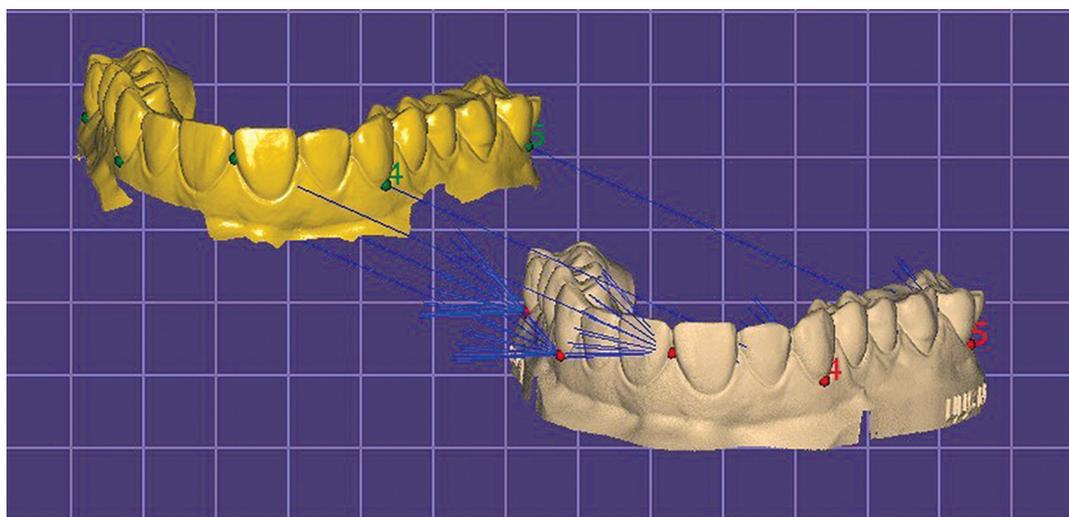


Рис. 4. Сопоставление двух моделей в программе Exocad.

Fig. 4. Comparison of two models in the Exocad program.

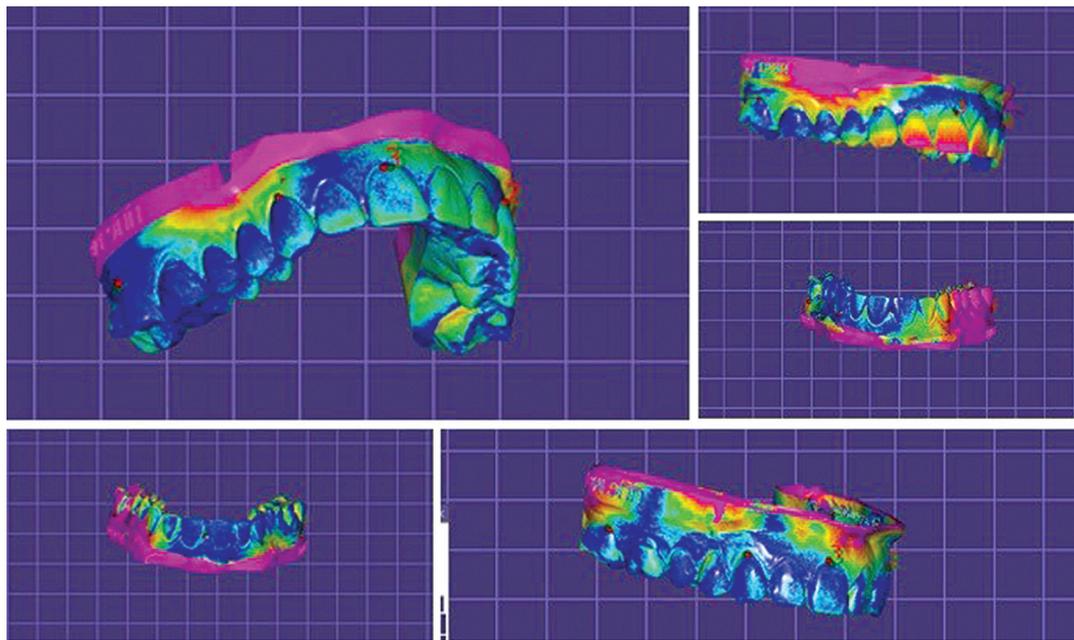


Рис. 5. Вид наложенных моделей после активации функции «Сопоставить точно».

Fig. 5. View of superimposed models after activating the Match exactly function.

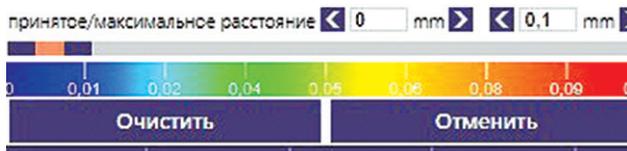


Рис. 6. Шкала визуализации цвета сопоставления двух объемных изображений.

Fig. 6. Color visualization scale for matching two three-dimensional images.

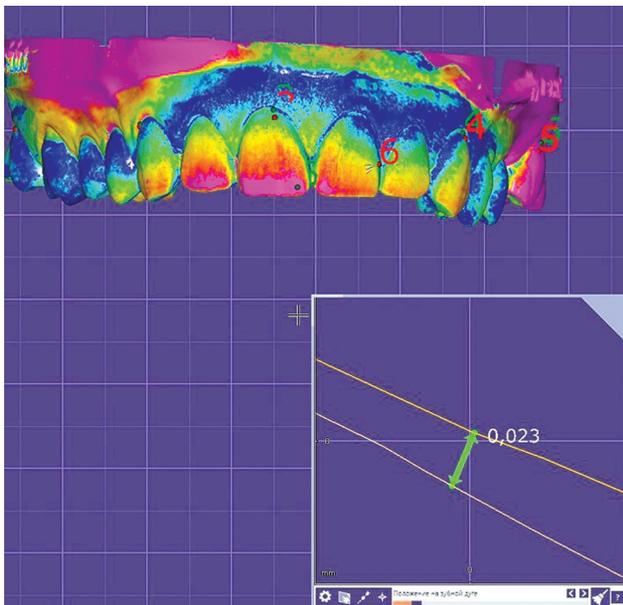


Рис. 7. Измерение значения величины расхождения моделей в референсной точке в перпендикулярном разрезе.

Fig. 7. Measurement of the value of the discrepancy of the models at the reference point in a perpendicular section.

Для определения точного значения величины расхождения двух моделей в указанных точках производилось измерение расстояния между вестибулярными поверхностями моделей в перпендикулярном разрезе (рис. 7). Для каждой референсной точки высчитывали среднее значение на основании 5 измерений.

Помимо измерений в референсных точках, осуществили совмещение полученных объемных изображений в программе MeshLab. Алгоритм работы программы состоит в рандомизированном выборе большого количества точек на объемных изображениях, равного числу вершин одного из объемных изображений. Для каждой точки одной модели высчитываются точки другого цифрового оттиска для нахождения наиболее близкой, которая отмечается и запоминается программой. Среди всех запомненных расстояний автоматически высчитывается медиана расстояний. Данная величина позволяет оценить объемную точность трехмерных моделей, при этом она не характеризует прецизионность и величину погрешности сканирования в различных участках модели [20].

После импорта STL-файлов мастер-модели и интраорального скана в программу использовали функцию «Выравнивание», аналогичным способом поочередно отмечали 5 точек: на цервикальной области вторых моляров правой и левой стороны, в центре цервикальной линии клыков справа и слева и в центре резцового сочоска (рис. 8).

Программа автоматически объединяла два цифровых изображения (рис. 9) и выводила значение медианы расстояний (рис. 10).



Рис. 8. Меню сопоставления двух объемных изображений.
Fig. 8. Menu for comparing two volumetric images.

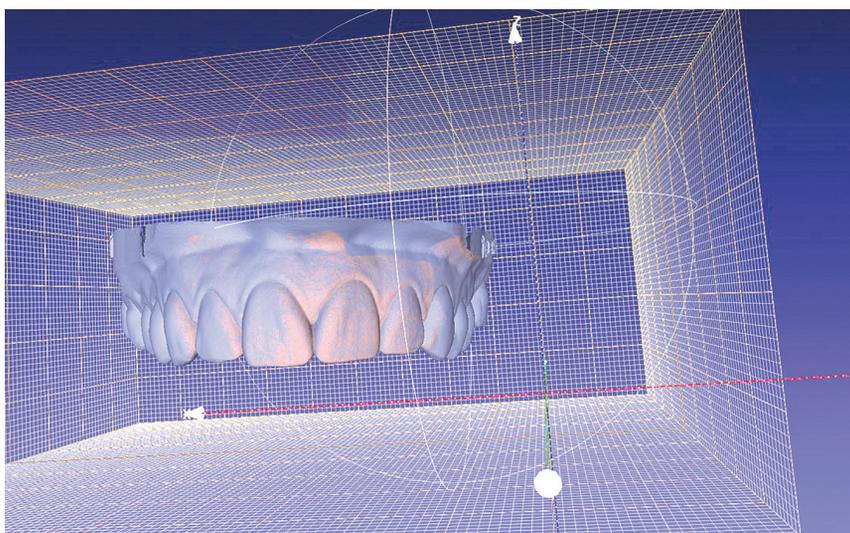


Рис. 9. Пример сопоставления цифровых слепков в программе MeshLab.
Fig. 9. Example of digital casts matching in MeshLab program.

```
Starting Processing of 2 glued meshes out of 2 meshes
Computing Overlaps 2 glued meshes...

Failure. There are no overlapping meshes?
No candidate alignment arcs. Nothing Done.
Starting Processing of 2 glued meshes out of 2 meshes
Computing Overlaps 2 glued meshes...
Arc with good overlap 1 (on 1)
0 preserved 0 Recalc
( 1/ 1) 0 -> 1 Aligned AvgErr dd=41.401676 -> dd=0.033974
Completed Mesh-Mesh Alignment: Avg Err 0.041; Median 0.041; 90% 0.041
Global Alignment...Completed Global Alignment (error bound 0.001000)
```

Рис. 10. Меню программы после нахождения медианы расстояний.
Fig. 10. Program menu after finding the median of distances.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам произведенных замеров в референсных точках для каждого сканера высчитывали среднее значение погрешности относительно мастер-модели и его прецизионность (табл. 1).

В дополнение к средним величинам высчитывались параметры погрешности сканеров во фронтальном

и жевательном отделе, а также погрешность по дуге, которая была равна разности значений расхождения в референсных точках, в которых было получено максимальное и минимальное значение (табл. 2). Данная величина позволяет оценить величину максимально возможного расхождения в пределах одной модели, что является важным при планировании протяженных ортопедических конструкций.

Наилучшую точность по результатам исследования расхождений моделей, полученных при внутриротовом сканировании, в сравнении с мастер-моделью в референсных точках в программе Exocad показал сканер CEREC Primescan AC: величина его средней погрешности составила $13,72 \pm 7,34$. Погрешность по дуге оказалась равной 18,8 мкм, расхождение во фронтальной области составило 18 мкм, а в жевательной — 6,8 мкм. Наиболее близким по точности оказался сканер 3Shape Trios 3, средняя погрешность которого составила $16,28 \pm 5,94$ мкм. Величина погрешности внутриротового сканера Aoralscan 3 составила $42,08 \pm 18,34$ мкм, в то время как точность

Таблица 1. Погрешность внутриротовых сканеров относительно мастер-модели по данным измерений в программе Exocad**Table 1.** The error of intraoral scanners relative to the master model according to measurements in the Exocad program

Название сканера	Точка 1 (1.7), мкм	Точка 2 (1.3), мкм	Точка 3 (1.1, 2.1), мкм	Точка 4. (2.3), мкм	Точка 5 (2.7), мкм	Среднее значение (средняя погрешность±прецизионность), мкм
Medit i500	70,6	92,4	16,4	13,8	62,4	51,12±28,82
CEREC Primescan AC	8,8	9,2	22,2	23,6	4,8	13,72±7,34
TRIOS 3	16,8	10,4	12,4	30,6	11,2	16,28±5,94
Aoralscan 3	87,4	42,6	35,2	22,4	22,8	42,08±18,34
Emerald S mode C	25,2	14,2	62,2	12,4	65,2	35,84±22,29

Таблица 2. Погрешность внутриротовых сканеров по дуге, во фронтальном и в жевательном отделе зубного ряда**Table 2.** The error of intraoral scanners along the arc, in the frontal and in the chewing part of the dentition

Название сканера	Погрешность по дуге (макс. значение — мин. значение), мкм	Погрешность во фронтальном отделе, мкм	Погрешность в жевательном отделе, мкм
Medit i500	78,6	41	66,5
CEREC PrimeScan AC	18,8	18	6,8
TRIOS 3	20,2	18	14
Aoralscan 3	65	33	55,1
Emerald S mode C	52,8	30	45,2

по дуге — 65 мкм, расхождение во фронтальной области составило 33 мкм, а в жевательной — 55,1 мкм. Emerald S mode C имел среднюю погрешность 35,84±22,29 мкм, что было выше, чем у Medit i500 и Aoralscan 3, однако по параметру прецизионности Aoralscan 3 оказался лучше (18,34 против 22,29 мкм). Точность Emerald S mode C по дуге равнялась 52,8, во фронтальном и в жевательном отделе — 30 и 45,2 мкм соответственно. Среди всех наименее точным по совокупности параметров оказался Medit i500: среднее значение погрешности определялось в пределах 51,12±28,82, что было ниже, чем у аналогов, как и точность по дуге, которая составила 78,6 мкм, при этом значения во фронтальном отделе — 41 мкм, в жевательном — 66,5 мкм.

По результатам сопоставления моделей в программе MeshLab наименьшую медиану расстояний (18 мкм) показал CEREC Primescan AC. Модели TRIOS 3 и Emerald S mode C отличались от эталона в среднем на 29 мкм. Сканеры Aoralscan 3 показали результат в 33 мкм, а Medit i500 — в 41 мкм (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на различия в точности, достигнутые на данном этапе времени возможности получения 3D-моделей челюстей, постоянная модификация имеющихся технологий и программных обеспечений позволяют получать цифровые отпечатки полной зубной

Таблица 3. Значения медианы расстояний по данным сопоставления моделей в программе MeshLab**Table 3.** Median distance values according to model comparison data in the MeshLab program

Название сканера	Медиана расстояний, мкм
Medit i500	41
CEREC Primescan	18
TRIOS 3	29
Aoralscan 3	33
Emerald S mode C	29

дуги с точностью, достаточной для клинического применения.

В результате анализа полученных данных для премиущественного использования зарекомендовал себя внутриротовой сканер с минимальной среди аналогов погрешностью по дуге CEREC Primescan AC (Dentsply Sirona, США), показавший лучшую объемную точность и наименьшую величину средней погрешности.

Однако следует отметить, что на сегодняшний день в условиях санкций ряда зарубежных стран на территории Российской Федерации приостановлены продажи и техническая поддержка ряда интраоральных сканеров, тогда как продажи и обслуживание сканеров бюджетного

сегмента [Medit i500 (Medit, Южная Корея) и Aoralscan 3 (Shining 3D, Китай)] продолжают.

Прецизионность работы сканера Aoralscan 3, которая является наилучшей среди аналогов в ценовой категории, дает основание считать данный сканер наиболее доступным для работы в условиях стоматологического хирургического, ортодонтического и ортопедического приема. Из премиальных сканеров, участвующих в исследованиях и доступных на сегодняшний день на стоматологическом рынке, лидером является CEREC Primescan AC.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апресян С.В., Степанов А.Г., Варданян Б.А. Цифровой протокол комплексного планирования стоматологического лечения. Анализ клинического случая // *Стоматология*. 2021. Т. 100, № 3. С. 65–71. doi: 10.17116/stomat202110003165
2. Апресян С.В., Степанов А.Г., Ретинская М.В., Суонио В.К. Разработка комплекса цифрового планирования стоматологического лечения и оценка его клинической эффективности // *Российский стоматологический журнал*. 2020. Т. 24, № 3. С. 135–140. doi: 10.17816/1728-2802-2020-24-3-135-140
3. Апресян С.В., Суонио В.К., Степанов А.Г., Ковальская Т.В. Оценка функционального потенциала CAD-программ в комплексном цифровом планировании стоматологического лечения // *Российский стоматологический журнал*. 2020. Т. 24, № 3. С. 131–134. doi: 10.17816/1728-2802-2020-24-3-131-134
4. Костюкова В.В., Ряховский А.Н., Уханов М.М. Сравнительный обзор внутриворотковых трехмерных цифровых сканеров для ортопедической стоматологии // *Стоматология*. 2014. Т. 93, № 1. С. 53–59.
5. Ряховский А.Н., Костюкова В.В. Сравнительное исследование размерной точности отображения культи зуба и полной зубной дуги, полученного с помощью сканирования на различных интраоральных и лабораторных сканерах // *Стоматология*. 2016. Т. 95, № 4. С. 65–70. doi: 10.17116/stomat201695465-70
6. Жулев Е.Н., Вокулова Ю.А. Изучение размерной точности искусственных коронок, изготовленных с помощью CAD/CAM системы и 3D принтера // *Znanstvena Misel*. 2020. Т. 40, № 2. С. 20–24.
7. Вельмакина И.В., Жулев Е.Н., Богомолова Ю.Б. Сравнительная оценка размерной точности цифровых моделей челюстей, изготовленных по технологии стереолитографии // *Современные проблемы науки и образования*. 2018. № 3.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Наибольший вклад распределен следующим образом: И.Д. Бородина — сбор и формальный анализ данных, подготовка публикации; Л.С. Григорьянц — сбор данных, подготовка публикации; М.А. Гаджиев — сбор данных, подготовка публикации; С.С. Апресян — формальный анализ данных, подготовка публикации; Р.В. Батов — сбор данных, подготовка публикации; А.Г. Степанов — разработка методологии, валидация и формальный анализ данных, рецензирование и правка публикации; С.В. Апресян — концептуализация, дизайн и курирование исследования, рецензирование и правка публикации.

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. I.D. Borodina — data collection and formal analysis, publication preparation; L.S. Grigoryants — data collection, publication preparation; S.S. Apresyan — formal data analysis, publication preparation; R.V. Batov — data collection, publication preparation; A.G. Stepanov — methodology development, validation and formal data analysis, reviewing and editing publications; S.V. Apresyan — conceptualization, design and supervision of research, reviewing and editing of publications.

8. Emara A., Sharma N., Halbeisen F.S., et al. Comparative evaluation of digitization of diagnostic dental cast (plaster) models using different scanning technologies // *Dent J (Basel)*. 2020. Vol. 8, N 3. P. 79. doi: 10.3390/dj8030079
9. Jelichich A., Scialabba R., Lee S.J. Positional trueness of abutments by using a digital die-merging protocol compared with complete arch direct digital scans and conventional dental impressions // *J Prosthet Dent*. 2022. P. S0022-3913(22)00145-7. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.02.020
10. Joós-Kovács G., Vecsei B., Körmendi S., et al. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner — an in vitro study // *BMC Oral Health*. 2019. Vol. 19, N 1. P. 280. doi: 10.1186/s12903-019-0976-1
11. Kihara H., Hatakeyama W., Komine F., et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review // *J Prosthodont Res*. 2020. Vol. 64, N 2. P. 109–113. doi: 10.1016/j.jpor.2019.07.010
12. Cao Y., Chen J.K., Deng K.H., et al. Accuracy of three intraoral scans for primary impressions of edentulous jaws // *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2020. Vol. 52, N 1. P. 129–137. (In Chinese). doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2020.01.021
13. Diker B., Tak Ö. Comparing the accuracy of six intraoral scanners on prepared teeth and effect of scanning sequence // *J Adv Prosthodont*. 2020. Vol. 12, N 5. P. 299–306. doi: 10.4047/jap.2020.12.5.299
14. Abduo J., Elseyoufi M. Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors // *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2018. Vol. 26, N 3. P. 101–121. doi: 10.1922/EJPRD_01752Abduo21
15. Renne W., Ludlow M., Fryml J., et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons // *J Prosthet Dent*. 2017. Vol. 118, N 1. P. 36–42. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.09.024

16. Nedelcu R., Olsson P., Nyström I., Thor A. Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: an in vitro descriptive comparison // *BMC Oral Health*. 2018. Vol. 18, N 1. P. 27. doi: 10.1186/s12903-018-0489-3
17. Ferrini F., Sannino G., Chiola C., et al. Influence of intra-oral scanner (I.O.S.) on the marginal accuracy of CAD/CAM single crowns // *Int J Environ Res Public Health*. 2019. Vol. 16, N 4. P. 544. doi: 10.3390/ijerph16040544
18. Takeuchi Y., Koizumi H., Furuchi M., et al. Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and

- fixed dental prostheses // *J Oral Sci*. 2018. Vol. 60, N 1. P. 1–7. doi: 10.2334/josnugd.17-0444
19. Апресян С.В., Степанов А.Г., Антоник М.М., и др. Комплексное цифровое планирование стоматологического лечения. Москва: Мозартика, 2020. 396 с.
20. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Шалагинова А.В., Кусевичкий Л.Я. Сравнительная оценка in vitro точности стоматологических сканеров открытого типа при получении модели зубного ряда // *Пародонтология*. 2020. Т. 25, № 3. С. 231–236. doi: 10.33925/1683-3759-2020-25-3-231-236

REFERENCES

1. Apresyan SV, Stepanov AG, Vardanyan BA. Digital protocol for comprehensive planning of dental treatment. Clinical case analysis. *Stomatologiya*. 2021;100(3):65–71. (In Russ). doi: 10.17116/stomat202110003165
2. Apresyan SV, Stepanov AG, Retinskaya MV, Suonio VK. Development of complex of digital planning of dental treatment and assessment of its clinical effectiveness. *Russian Journal of Dentistry*. 2020;24(3):135–140. doi: 10.17816/1728-2802-2020-24-3-135-140
3. Apresyan SV, Suonio VK, Stepanov AG, Kovalskaya TV. Evaluation of functional potential of CAD-programs in integrated digital planning of dental treatment. *Russian Journal of Dentistry*. 2020;24(3):131–134. doi: 10.17816/1728-2802-2020-24-3-131-134
4. Kostiukova VV, Riakhovskiy AN, Ukhanov MM. Comparative study of intraoral 3D digital scanners for restorative dentistry. *Stomatologiya*. 2014;93(1):53–59. (In Russ).
5. Riakhovskiy AN, Kostiukova VV. Comparative analysis of 3D data accuracy of single tooth and full dental arch captured by different intraoral and laboratory digital impression systems. *Stomatologiya*. 2016;95(4):65–70. (In Russ). doi: 10.17116/stomat201695465-70
6. Zhulev EN, Vokulova YuA. Studying the dimensional accuracy of artificial crowns made using a CAD/CAM system and a 3D printer. *Znanstvena Misel*. 2020;40(2):20–24.
7. Velmakina IV, Zhulev EN, Bogomolova YuB. Comparative assessment of the dimensional accuracy of digital models of jaws made using stereolithography technology. *Modern Problems of Science and Education*. 2018;(3).
8. Emara A, Sharma N, Halbeisen FS, et al. Comparative evaluation of digitization of diagnostic dental cast (plaster) models using different scanning technologies. *Dent J (Basel)*. 2020;8(3):79. doi: 10.3390/dj8030079
9. Jelichich A, Scialabba R, Lee SJ. Positional trueness of abutments by using a digital die-merging protocol compared with complete arch direct digital scans and conventional dental impressions. *J Prosthet Dent*. 2022;S0022-3913(22)00145-7. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.02.020
10. Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, et al. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner — an in vitro study. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):280. doi: 10.1186/s12903-019-0976-1
11. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res*. 2020;64(2):109–113. doi: 10.1016/j.jpjor.2019.07.010
12. Cao Y, Chen JK, Deng KH, et al. Accuracy of three intraoral scans for primary impressions of edentulous jaws. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2020;52(1):129–137. (In Chinese). doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2020.01.021
13. Diker B, Tak Ö. Comparing the accuracy of six intraoral scanners on prepared teeth and effect of scanning sequence. *J Adv Prosthodont*. 2020;12(5):299–306. doi: 10.4047/jap.2020.12.5.299
14. Abduo J, Elseyoufi M. Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2018;26(3):101–121. doi: 10.1922/EJPRD_01752Abduo21
15. Renne W, Ludlow M, Fryml J, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*. 2017;118(1):36–42. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.09.024
16. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Thor A. Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: an in vitro descriptive comparison. *BMC Oral Health*. 2018;18(1):27. doi: 10.1186/s12903-018-0489-3
17. Ferrini F, Sannino G, Chiola C, et al. Influence of intra-oral scanner (I.O.S.) on the marginal accuracy of CAD/CAM single crowns. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(4):544. doi: 10.3390/ijerph16040544
18. Takeuchi Y, Koizumi H, Furuchi M, et al. Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *J Oral Sci*. 2018;60(1):1–7. doi: 10.2334/josnugd.17-0444
19. Apresyan SV, Stepanov AG, Antonik MM, et al. *Complex digital planning of dental treatment*. Moscow: Mozartika; 2020. 396 p. (In Russ).
20. Rozov RA, Trezubov VN, Shalaginova AV, Kusevickiy LYa. Comparative in vitro evaluation of the accuracy of dental open system scanners. *Parodontologiya*. 2020;25(3):231–236. (In Russ). doi: 10.33925/1683-3759-2020-25-3-231-236

ОБ АВТОРАХ

* **Апресян Самвел Владиславович**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3281-707X>;
e-mail: dr.apresyan@mail.ru

Бородина Ирина Денисовна, аспирант;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4278-2026>;
e-mail: 7599839@gmail.com

Григорьянц Леон Сергеевич, студент;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8658-8834>;
e-mail: leongrigoriants@mail.ru

Гаджиев Магаммед Азер оглы, аспирант;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1878-503X>;
e-mail: dr.gadjievma@mail.ru

Апресян Светлана Сергеевна, ординатор,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3360-2601>;
e-mail: s-apresyan@bk.ru

Батов Роман Владимирович, ординатор;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1889-6274>;
e-mail: rbatov123@yandex.ru

Степанов Александр Геннадьевич, д-р. мед. наук, профессор;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6543-0998>;
e-mail: stepanovmd@list.ru

AUTHORS INFO

* **Samvel V. Apresyan**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
address: 6, Miklukho-Maklay str., Moscow, 117198, Russia;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3281-707X>;
e-mail: dr.apresyan@mail.ru

Irina D. Borodina, Postgraduate Student;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4278-2026>;
e-mail: 7599839@gmail.com

Leon S. Grigoryants, Student;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8658-8834>;
e-mail: leongrigoriants@mail.ru

Magammed A. Gadzhiev, Postgraduate Student;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1878-503X>;
e-mail: dr.gadjievma@mail.ru

Svetlana S. Apresyan, Resident;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3360-2601>;
e-mail: s-apresyan@bk.ru

Roman V. Batov, Resident;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1889-6274>;
e-mail: rbatov123@yandex.ru

Alexander G. Stepanov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6543-0998>;
e-mail: stepanovmd@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author