

Анализ искажений геометрии на цифровых ортопантомограммах

Я. Н. Харах*, Д. А. Лежнев, Н. Н. Мальгинов, С. Д. Арутюнов

ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России

Analysis of Geometry Distortions on Digital Orthopantomograms

Ya. N. Kharakh*, D. A. Lezhnev, N. N. Malginov, S. D. Arutyunov

Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia

Реферат

Измерения величин объектов исследования на цифровых ортопантомограммах, несмотря на проводимую предварительную калибровку, сопровождаются наличием погрешности, что связано с неравномерностью искажения ортопантомограммы. Учитывая данный факт, сформулирована гипотеза о влиянии выбора места калибровки цифровых ортопантомограмм на погрешность измерений. Результатом проведенного исследования явилось подтверждение наличия наиболее оптимальных зон для калибровки ортопантомограмм, а также определена тенденция репрезентативности определенной «оптимальной зоны» не только для отдельно взятой ортопантомограммы, но и для всех ортопантомограмм, полученных с помощью одного ортопантомографа.

Ключевые слова: ортопантомография, калибровка, точность, измерение, зоны, погрешность.

Abstract

Despite the preliminary calibration being conducted, the measurements of the sizes of the study objects on digital orthopantomograms are accompanied by the presence of an error, which is associated with the unevenness of the distortion of an orthopantomogram. Taking this fact into account, a hypothesis about the influence of the choice of the site of calibration of digital orthopantomograms on the measurement error was formulated. The performed study resulted in the confirmation of the presence of the most optimum zones for the calibration of orthopantomograms, and also a trend of the representativeness of a specific “optimum zone” not only for an individual orthopantomogram but also for all the orthopantomograms obtained using one orthopantomograph was determined.

Key words: Orthopantomography, Calibration, Accuracy, Measurement, Zones, Distortion.

* **Харах Ясер Насерович**, ассистент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4.

Тел.: +7 (495) 607-55-77. Электронная почта: y.kharakh@gmail.com

Kharakh Yaser Naserovich, Assistant, Department of Propaedeutics of Dental Diseases, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 4, ul. Dolgorukovskaya, Moscow, 127006, Russia.

Phone number: +7 (495) 607-55-77. E-mail: y.kharakh@gmail.com

Актуальность

Рентгенодиагностика в современной стоматологии стала неотъемлемой частью диагностического ресурса заболеваний зубочелюстного аппарата. В последнее время разработаны и внедрены в стоматологическую практику инновационные цифровые методы рентгенологического исследования. Диапазон их возможностей почти отвечает на все запросы практической стоматологии [2, 3].

Качество рентгеновского снимка с точки зрения отображения подлинности геометрии составляющих зубочелюстного аппарата зависит от таких фактов, как технические возможности самого аппарата, выбор экспозиции, установление соответствующих режимов, правильное выполнение укладки головы пациента и программного обеспечения соответствия виртуального изображения геометрии нативного объекта.

Сегодня традиционный качественный анализ рентгеновских снимков недостаточен. Все шире используется их количественный расчет, особенно цифровых изображений, которые позволяют определить границы перехода одних структур в другие, планировать и программировать ортодонтические вмешательства, конструктивные особенности зубных протезов, расстановку дентальных имплантатов и т. д. При этом выяснилось, что геометрия объектов на виртуальных рентгеновских снимках может быть искажена, что ведет к неизбежным ошибкам при диагностике стоматологических заболеваний.

Цель: определение истинности измерений линейных размеров объектов на цифровых ортопантомограммах в зависимости от их месторасположения.

Материалы и методы

Сформулирована нулевая гипотеза (H0): месторасположение калибровочных объектов на цифровых ортопантомограммах не влияет на величину погрешности проводимых измерений.

Для решения задач в рамках выдвинутой гипотезы выполнен ряд исследований на цифровых ортопантомограммах различных производителей: Kodak (8000C/Trophy TROPHYPAN), Planmeca (ProMax 3D), Cranex (Novus e), VILLA SISTEMI MEDICALI STRATO 2000 Digital (s/n: 09101806), VILLA SISTEMI MEDICALI STRATO 2000 Digital (s/n: 09101807), Sirona (Orthophos SL 3D), J. Morita (Veraviewepocs LT).

В качестве объектов исследования были использованы стальные шарики диаметром 4 мм, изготовленные в соответствии с ГОСТ 3722-81 (точность размера шариков $\pm 0,025$ мм) (рис. 1).

Известно, что зона выделения соответствует форме челюстей [1], в связи с чем для правильного позиционирования объектов исследования, а также для формирования выборочной совокупности случайным методом отобрано 5 идентичных гипсовых моделей нижних челюстей.

Оснастки изготовлены из гипсовых моделей с предварительно удаленными зубами 3.7, 3.5, 3.1, 4.5, 4.7 (рис. 2, а, б), в проекции которых липким воском приклеивались металлические шарики (рис. 2, в). Таким образом было изготовлено 5 оснасток, на каждой из которых



Рис. 1. Стальные шарики диаметром 4 мм



Рис. 2. Этапы подготовки оснастки: *а* — разметка на гипсовой модели для удаления зубов; *б* — гипсовая модель с подготовленными местами для фиксации стальных шариков; *в* — процесс фиксации стальных шариков на гипсовой модели

зафиксировано по 7 идентичных металлических шариков (рис. 3).

Изготовленные оснастки фиксировали на подбородочной опоре ортопантомографа и позиционировали с помощью лазерных направляющих и прикусной площадки для резцов (рис. 4, *а, б*).

Методика проведения исследования заключалась в получении ОПТГ в формате *.TIFF, их калибровке (путем масштабирования ОПТГ под встроенную в программе линейку) и измерения по каждому металлическому шарiku отдельно в компьютерной программе Corel Draw X7.

Изучалась степень необходимого масштабирования для достижения ли-

нейных размеров, совпадающих с нативными, а именно разница величины объекта исследования до (рис. 5, *а*) и после (рис. 5, *б*) масштабирования.

Полученные данные обрабатывались статистически в Microsoft Excel. Определение достоверности различия между объектами исследования для каждого случая калибровки проводилось по непараметрическому критерию Фридмана формулы

$$F_{\text{эмп}} = \frac{12}{n(k+1)k} \times \sum_j T_j^2 - 3k(k+1),$$

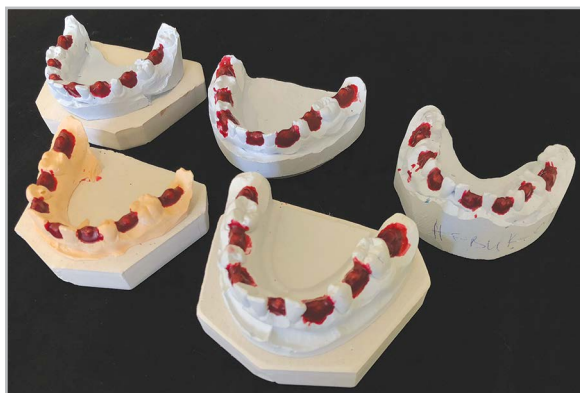


Рис. 3. Гипсовые оснастки

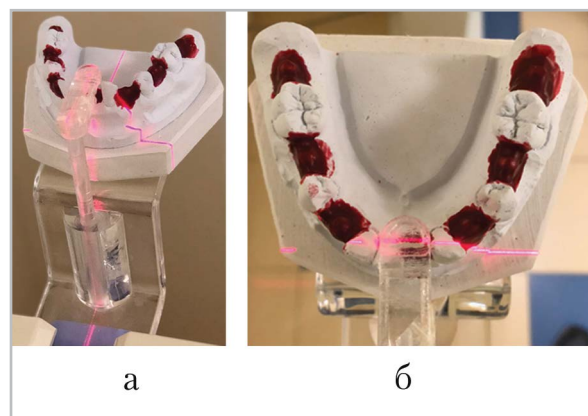


Рис. 4. Позиционирование оснастки на подбородочной опоре: *а* — вид сбоку; *б* — вид сверху

где k — количество калибровок (степень свободы); n — количество наблюдений; T_j — сумма рангов по условию j . Эмпирическое значение критерия ($F_{эмп}$) сравнивалось с критическим значением критерия ($F_{крит}$), равным 6,4 при заданном нами уровне значимости исследования 95 % ($p = 0,05$). Нулевая гипотеза отклоняется в случае $F_{эмп} \geq F_{крит}$.

Для определения искажений на ОПТГ для каждого отдельного объекта исследования проверялась достоверность различия между значениями нативных размеров и значениями измерений на цифровых ортопантомограммах. Проверка осуществлялась по критерию Уилкоксона

$$T_{эмп} = \sum Rr,$$

где $\sum Rr$ — сумма рангов, соответствующих нетипичным изменениям показателя. Эмпирическое значение критерия ($T_{эмп}$) сравнивалось с критическим значением критерия ($T_{крит}$), равным 0 при заданном нами уровне значимости исследования 95 % ($p = 0,05$). Нулевая

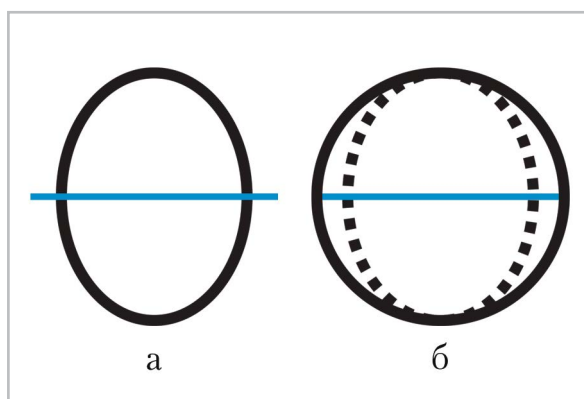


Рис. 5. Схема процесса масштабирования в компьютерной программе. На схеме изображен отрезок размером, соответствующим диаметру нативного объекта исследования: *а* — до масштабирования ОПТГ; *б* — после масштабирования ОПТГ

гипотеза отклоняется в случае $T_{эмп} \leq T_{крит}$.

Результаты и их обсуждение

На 35 цифровых ортопантомограммах, полученных с помощью ранее перечисленных ортопантомографов, проводили калибровку (масштабирование) по каждому объекту исследования (рис. 6) и последующее измерение «некалиброванных» объектов исследования (пример горизонтальных измерений на ортопантомограмме откалиброванной по контрольному шарика в области зуба 4.7, рис. 7).

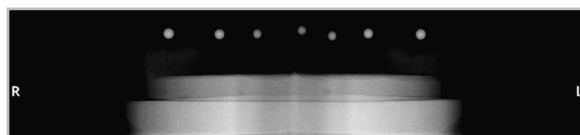


Рис. 6. Ортопантомограмма. Оснастка № 1

Таким образом, для каждой оснастки произведено по 294 горизонтальных и вертикальных измерения.

Разницу значений величин между исходным изображением и масштабированным определяли для каждого откалиброванного (контрольного) шарика, полученные значения вносили в таблицу (табл. 1). В результате анализа полученных данных сформулированы следующие альтернативные гипотезы:

НА1: Цифровые ортопантомограммы искажают масштабные параметры структур зубочелюстного аппарата.

НА2: Выбор объекта (контрольного шарика) для калибровки ортопантограммы влияет на величину погрешности измерений остальных объектов исследования.

Так, например, для оснастки № 1 при выборе объекта калибровки в области зуба 4.7 общая погрешность для дру-

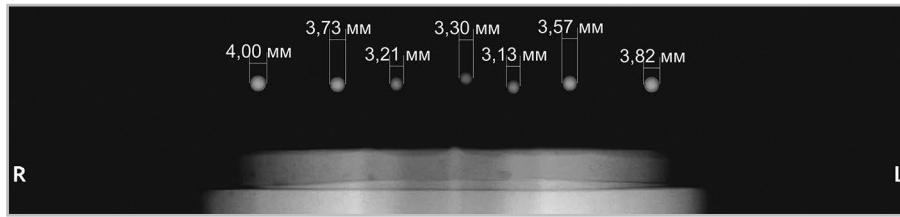


Рис. 7. Ортопантомограмма. Горизонтальные измерения линейных величин ортопантомограммы оснастки № 1, откалиброванной по шарикку в области зуба 4.7

Таблица 1

Погрешности горизонтальных и вертикальных измерений контрольных шариков на ортопантомографе фирмы Kodak (%)

ОЗ	Модель									
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5	
	Г	В	Г	В	Г	В	Г	В	Г	В
4.7	6,0	6,0	16,1	8,5	11,0	8,5	8,5	6,0	11,0	8,5
4.5	13,5	11,0	19,0	13,7	16,2	13,5	11,0	11,0	13,5	11,0
4.3	31,7	19,0	35,5	22,0	22,0	19,0	28,3	22,0	28,5	16,1
3.1	28,5	25,0	35,5	28,0	28,3	22,0	31,9	25,4	35,5	28,5
3.3	35,5	19,0	47,7	22,0	32,0	19,0	39,5	19,0	39,3	19,0
3.5	19,0	11,0	22,0	13,7	22,0	11,0	25,0	13,5	19,0	13,5
3.7	10,8	8,5	13,5	8,8	11,0	11,0	19,2	11,0	19,0	8,5

Примечание: ОЗ — область зуба; Г — горизонтальное измерение; В — вертикальное измерение.

гих объектов измерения составит 26 %; при выборе для калибровки шарика в области зуба 4.5 — 16 % (рис. 8).

На основании данных табл. 1 проведена проверка альтернативной гипотезы НА1 с помощью критерия Уилкоксона, полученные значения $T_{эмп}$ для горизонтальных и вертикальных измерений имеют значение, равное 0, что удовлетворяет условию для отклонения нулевой гипотезы. Таким образом, принимается альтернативная гипотеза о наличии искажений масштабных параметров структур зубочелюстного аппарата на цифровых ортопантомографах.

Проверка альтернативной гипотезы НА2 произведена путем определения достоверности различия значений погрешностей — для каждой ортопантомограммы составлены сводные таблицы (выдержка расчета погрешностей горизонтальных и вертикальных измерений на примере оснастки № 1, табл. 2), отображающие значение погрешности каждого объекта исследования в зависимости от выбора того или иного шарика для калибровки.

Данные значения использовались в дальнейшем статистическом анализе при расчете критерия Фридмана, полу-

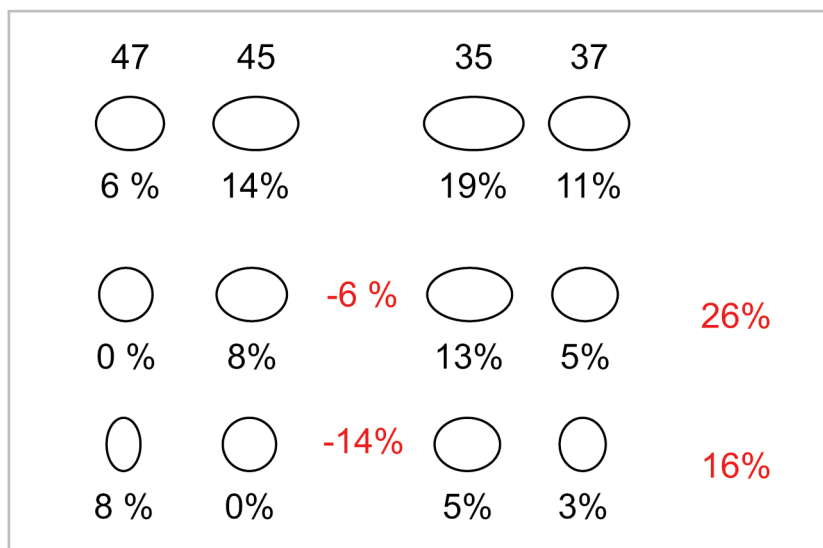


Рис. 8. Схематическое изображение примера зависимости общей погрешности от выбора контрольного объекта (горизонтальные измерения)

Таблица 2

Расчет погрешностей горизонтальных измерений для оснастки № 1 (%)

Область расположения объектов		Объекты исследования				Сумма погрешн.
ОК	Погрешность	4.7	4.5	3.5	3.7	
		6,0	13,5	19,0	10,8	
4.7	6,0	0	7,5	13,0	4,8	25,3
4.5	13,5	-7,5	0	5,5	-2,7	15,7
3.5	19,0	-13,0	-5,5	0	-8,2	26,7
3.7	10,8	5,0	2,5	8,0	0	15,7

Примечание: ОК – объекты калибровки.

ченные значения по горизонтальным и вертикальным измерениям для всех ортопантомографов приведены в табл. 3.

Все эмпирические значения критерия Фризмана ($F_{эмп}$) горизонтальных измерений превышают критическое значение ($F_{крит}$), следовательно, гипотезу H_0 следует отклонить. Таким образом, подтверждается альтернативная гипотеза (H_{A2}) о влиянии выбора места калибровки на погрешность ортопантомограмм.

Нулевая гипотеза для вертикальных измерений отклоняется в 4 случаях из 7, а именно для аппаратов фирм Kodak, Villa SM и Sirona. Такое расхождение согласуется с литературными данными о меньшем вертикальном искажении ортопантомограмм, что связано с техническими особенностями ортопантомографов. Однако факт наличия связи между расположением калибровочного объекта и точностью измерений в большинстве случаев говорит о необходимо-

Таблица 3

Достоверность различий горизонтальных и вертикальных измерений по непараметрическому критерию Фригмана при калибровке по объектам с различным расположением ($F_{ЭМП}$)

ОК	И	Kodak	Planmeca	Cranex	Villa SM 1	Villa SM 2	Sirona	Morita
4.7	Г	11,82	9,78	9,78	10,62	12,78	8,7	10,02
	В	12,78	3,66	3,78	8,1	8,7	9,78	1,38
4.5	Г	10,5	11,64	8,58	10,5	10,92	7,02	11,46
	В	9,54	4,38	4,38	7,98	7,74	3,66	2,1
3.5	Г	10,5	10,2	8,34	11,7	13,08	10,86	8,22
	В	9,78	3,42	1,5	7,62	4,86	9,42	1,62
3.7	Г	6,9	12,84	8,28	8,7	11,64	10,5	8,1
	В	5,82	4,38	1,98	8,34	6,54	8,34	2,58

Примечание: ОК – объект калибровки; И – измерения; Г – горизонтальное измерение; В – вертикальное измерение.

сти более детального изучения данного вопроса.

Также на основании полученных данных были сопоставлены общие погрешности (суммы всех отклонений от нативных размеров на отдельно взятой ортопантограмме) для каждой оснастки (см. табл. 3). Проанализировав значения общих погрешностей по всем оснасткам для каждого ортопантомографа, определена тенденция, при которой одна и та же зона калибровки имела

наименьшее значение общей погрешности на всех 5 ортопантограммах. Так, например, для ортопантомографа Kodak контрольные объекты для масштабирования ортопантограмм в области зуба 4.5 являются оптимальным выбором для каждой из исследуемых 5 ортопантограмм – для горизонтальных и вертикальных измерений оптимальным является объект в области зуба 3.7 (для всех 5 ортопантограмм) (табл. 4, 5).

Таблица 4

Частота определения минимальных общих погрешностей горизонтальных измерений ортопантомограммы для каждого объекта калибровки

ОК	Kodak	Planmeca	Cranex	Villa SM 1	Villa SM 2	Sirona	Morita
4.7	2	4	4	1	2	3	4
4.5	5	2	1	4	5	5	5
3.5	1	5	3	2	3	3	1
3.7	4	1	5	5	4	3	3

Примечание: ОК – объект калибровки.

Таблица 5

Частота определения минимальных общих погрешностей вертикальных измерений ортопантомограммы для каждого объекта калибровки

ОК	Kodak	Planmeca	Cranex	Villa SM 1	Villa SM 2	Sirona	Morita
4.7	1	4	4	5	3	4	4
4.5	4	4	4	2	4	5	5
3.5	3	5	5	4	5	3	3
3.7	5	4	4	3	3	4	4

Примечание: ОК — объект калибровки.

Выводы

Величина погрешности объектов исследований на цифровых ортопантомограммах не является постоянной, а определяется в момент измерения и зависит от выбора месторасположения калибровочного объекта, исходя из чего на каждой ортопантомограмме можно определить оптимальную зону для калибровки, для последующего проведения измерений и получения данных с наименьшими возможными погрешностями для данной цифровой ортопантомограммы.

Наличие «оптимальных зон» для калибровки (масштабирования) связано с их значениями погрешности, которые являются наиболее усредненными, что позволяет максимально «компенсировать» искажения других измеряемых объектов на данной ортопантомограмме при калибровке изображения с помощью масштабирования либо использования виртуальной измерительной линейки. Определена тенденция стабильности расположения «оптимальных зон» для каждого ортопантомографа, что позволяет предположить о возможности однократного вычисления данной зоны для конкретного цифрового ортопантомографа и проводимых

на нем последующих измерений. Более детальное изучение репрезентативности подобных «оптимальных зон» является следующей целью исследования, и в случае ее подтверждения появится возможность сформулировать рекомендации по выбору места расположения калибровочных объектов при проведении цифровой ортопантомографии с последующими измерениями для минимизирования значений погрешностей.

Список литературы

1. Бессонов В. Б. Методы повышения эффективности интраоральных панорамных рентгенодиагностических систем: Дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2014. 146 с.
2. Васильев А. Ю., Воробьев Ю. И., Трутень В. П. и др. Лучевая диагностика в стоматологии. М.: Медика, 2007. 495 с.
3. Трутень В. П. Рентгеноанатомия и рентгенодиагностика в стоматологии. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 216 с.

References

1. Bessonov V. B. Methods of increasing the effectiveness of intra-oral radiograph panoramic systems. Cand. sci. dis. St. Petersburg, 2014. 146 p. (in Russian).

2. *Vasil'ev A. Yu., Vorob'ev Yu. I., Truten V. P. et al.* Radiology in dentistry. Moscow: Medika. P. 495. (in Russian).
3. *Truten V. P.* Dental radiology anatomy and diagnostics. Moscow: GEOTAR-Media. 2017. P. 216 (in Russian).

Сведения об авторах

Харак Ясер Насерович, ассистент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4.
Тел.: +7 (495) 607-55-77. Электронная почта: y.kharakh@gmail.com

Kharakh Yaser Naserovich, Assistant, Department of Propaedeutics of Dental Diseases, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 4, ul. Dolgorukovskaya, Moscow, 127006, Russia.
Phone number: +7 (495) 607-55-77. E-mail: y.kharakh@gmail.com

Лежнев Дмитрий Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.
Тел.: +7 (495) 611-01-77. Электронная почта: lezhnev@mail.ru

Lezhnev Dmitriy Anatol'evich, M. D. Med., Professor, Head of Department of Radiology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 9a, ul. Vucheticha, Moscow, 127206, Russia.
Phone number: +7 (495) 611-01-77. E-mail: lezhnev@mail.ru

Мальгинов Николай Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой технологий протезирования в стоматологии ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.
Электронная почта: malginov_nn@mail.ru

Malginov Nikolay Nikolaevich, M. D. Med., Professor, Head of Department of Prosthetic Technology in Dentistry, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 9a, ul. Vucheticha, Moscow, 127206, Russia.
E-mail: malginov_nn@mail.ru

Арутюнов Сергей Дарчоевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтики стоматологических заболеваний ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4.
Тел.: +7 (495) 607-55-77. Электронная почта: sd.arutyunov@mail.ru

Arutyunov Sergey Darchoevich, M. D. Med., Professor, Head of Department of Propaedeutics of Dental Diseases, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 4, ul. Dolgorukovskaya, Moscow, 127006, Russia.
Phone number: +7 (495) 607-55-77. E-mail: sd.arutyunov@mail.ru

Финансирование исследования и конфликт интересов.

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.