



Глубина проникновения ионов серебра в дентин после обработки кариозной полости диаминфторидом серебра

В.М. Животова^{1*}, Е.Е. Маслак¹, А.Н. Гайдадин², Л.М. Гуревич²

¹Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Российская Федерация

²Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Для лечения кариеса у детей раннего возраста специалисты стремятся применять неинвазивные методы, чтобы сократить время лечения и избежать возникновения неприятных ощущений и боли, ведущих к формированию стоматофобии. Одним из известных неинвазивных методов лечения кариеса дентина временных зубов является применение препаратов диаминфторида серебра (ДФС), однако мало изученным остается вопрос распространения компонентов препарата в кариозном и здоровом дентине. Цель исследования: определение глубины инфильтрации дентина ионами серебра после обработки ДФС кариозных полостей временных зубов.

Материалы и методы. Исследование *in vitro* проводилось на 6 удаленных временных зубах с кариозными полостями. Кариозные ткани обрабатывали препаратом ДФС отечественного производства. Микрошлифы зубов изучались с помощью качественного и количественного микрорентгеноконтрастного анализа, оптического микроскопа и сканирующего электронного микроскопа с детектором элементного анализа.

Результаты. Установлено, что глубина проникновения ионов серебра составляла от $48,30 \pm 9,43$ до $875,00 \pm 35,76$ микрон и соответствовала глубине кариозного и деминерализованного дентина. Концентрация серебра увеличивалась по направлению от поверхности в глубину кариозного поражения и достигала максимума в деминерализованном слое вблизи кариозного дентина. В здоровом дентине ионы серебра не выявлены.

Заключение. После обработки кариозных полостей временных зубов ДФС ионы серебра инфильтрируют кариозную ткань на всю глубину, достигая наибольшей концентрации в деминерализованном слое дентина и не проникая в здоровый дентин.

Ключевые слова: кариес временных зубов, диаминфторид серебра, проникновение ионов серебра в дентин, *in vitro*.

Для цитирования: Животова ВМ, Маслак ЕЕ, Гайдадин АН, Гуревич ЛМ. Глубина проникновения ионов серебра в дентин после обработки кариозной полости диаминфторидом серебра. *Стоматология детского возраста и профилактика*. 2024;24(4):352-357. DOI: 10.33925/1683-3031-2024-851

***Автор, ответственный за связь с редакцией:** Животова Виктория Михайловна, кафедра стоматологии детского возраста, Волгоградский государственный медицинский университет, 400066, пл-дь Павших Борцов, д. 1, г. Волгоград, Российская Федерация. Для переписки: vikiku12@mail.ru

Конфликт интересов: Маслак Е.Е. является членом редакционной коллегии журнала «Стоматология детского возраста и профилактика», но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Благодарности: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования. Индивидуальные благодарности для декларирования отсутствуют.

Depth of silver ion penetration into dentin following treatment of carious lesions with silver diamine fluoride

V.M. Zhivotova^{1*}, E.E. Maslak¹, A.N. Gaidadin², L.M. Gurevich²

¹Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

²Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. Non-invasive methods are favoured for treating early childhood caries to reduce treatment time and prevent discomfort or pain, which can lead to dental anxiety. Among the well-established non-invasive approaches for managing dentinal caries in primary teeth is the application of silver diamine fluoride (SDF). However, the extent to which SDF components diffuse into carious and sound dentin remains insufficiently studied. This study aimed to evaluate the depth of dentin infiltration by silver ions after SDF treatment of carious lesions in primary teeth.

Materials and methods. An in vitro study was performed on six extracted primary teeth with carious lesions, which were treated using a domestically produced SDF preparation. Tooth microsections were analyzed through qualitative and quantitative micro-X-ray analysis, optical microscopy, and scanning electron microscopy equipped with elemental analysis detectors.

Results. The depth of silver ion penetration varied from $48.30 \pm 9.43 \mu\text{m}$ to $875.00 \pm 35.76 \mu\text{m}$, aligning with the depth of carious and demineralized dentin. The silver concentration progressively increased from the surface to the deeper layers of the carious lesion, reaching its peak in the demineralized layer adjacent to the carious dentin. No silver ions were detected in sound dentin.

Conclusion. Following SDF treatment of carious lesions in primary teeth, silver ions fully infiltrated the carious tissue, with the highest concentration observed in the demineralized dentin layer, while sound dentin remained unaffected.

Key words: primary tooth caries, silver diamine fluoride, silver ion penetration into dentin, in vitro.

For citation: Zhivotova VM, Maslak EE, Gaidadin AN, Gurevich LM. Depth of silver ion penetration into dentin following treatment of carious lesions with silver diamine fluoride. Pediatric dentistry and dental prophylaxis. 2024;24(4):352-357. (In Russ.) DOI: 10.33925/1683-3031-2024-851

***Corresponding author:** Victoria M. Zhivotova, Department of the Pediatric Dentistry, Volgograd State Medical University, 1 Pavshih Bortsov Sq., Volgograd, Russian Federation, 400066, 170100. For correspondence: vikiku12@mail.ru

Conflict of interests: E.F. Maslak is a member of the Pediatric dentistry and dental prophylaxis journal's editorial board but was not involved in the decision-making process regarding the publication of this article. The article underwent the standard peer-review process of the journal. The authors have declared no other conflicts of interest

Acknowledgments: The authors declare that there was no external funding for the study. There are no individual acknowledgments to declare.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Кариес временных зубов является серьезной проблемой стоматологии, особенно у детей раннего возраста [1]. В связи с выраженным страхом боли, бормашины и уколов у детей и родителей, низким уровнем сотрудничества многих детей, невысокой эффективностью традиционных инвазивных методов лечения кариеса временных зубов у детей с негативным поведением, в детской стоматологии все большее внимание привлекают неинвазивные нереставрационные техники лечения кариеса, позволяющие сократить время лечения и предупредить у детей формирование стоматофобии [2]. За последнее десятилетие во многих странах мира все чаще для неинвазивного лечения кариеса зубов у детей раннего возраста стали применять препараты диаминофторида серебра (ДФС) [3]. Впервые ДФС разработан и применен для лечения кариеса в Японии в 1960-х годах. В настоящее время препараты ДФС используются для профилактики и лечения кариеса у детей и взрослых при невозможности инвазивных вмешательств, кариеса корней зубов у пожилых людей, для снижения гиперестезии зубов [4]. В исследованиях подтверждены антибактериальный и цитотоксический эффекты препаратов ДФС, симбиотические свойства ионов серебра и фтора в подавлении распада коллагена дентина, повышении реминерализации эмали и дентина временных и постоянных зубов [5].

Важным компонентом ДФС является серебро, концентрация ионов которого в различных препаратах составляет от 258,841 до 336,149 ppm [6]. Ионы серебра взаимодействуют с клеточной мембраной бактерий и бактериальными ферментами, подавляют рост бактерий, включаются в состав гидроксиапатита, придавая ему антибактериальные свойства, ингибируют катепсины и деградацию коллагена дентина зубов [7, 8]. Образующийся преципитат хлорида серебра закупоривает дентинные трубочки, под действием света восстанавливается и придает тканям темный цвет, обеспечивая клиническую эффективность лечения кариеса [9].

Одним из активно обсуждаемых вопросов является оценка глубины проникновения ионов серебра в глубину кариозных тканей и здоровый дентин, так как ряд авторов опасается негативного влияния компонентов ДФС на пульпу зуба [10].

Цель. Определение глубины инфильтрации дентина ионами серебра после обработки ДФС кариозных полостей временных зубов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

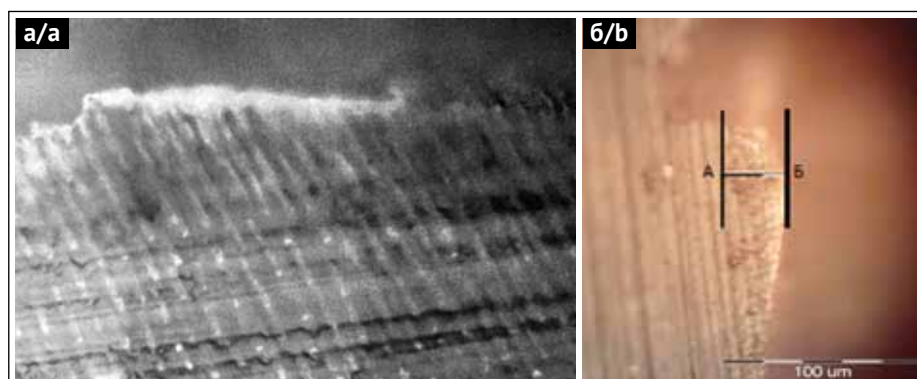
На проведение исследования получено разрешение локального этического комитета. Исследование проведено на 6 временных зубах с кариозными полостями различной глубины, удаленных по поводу

**Рис. 1.**

Глубина точек исследования на шлифе зуба от поверхности кариозной полости

Fig. 1.

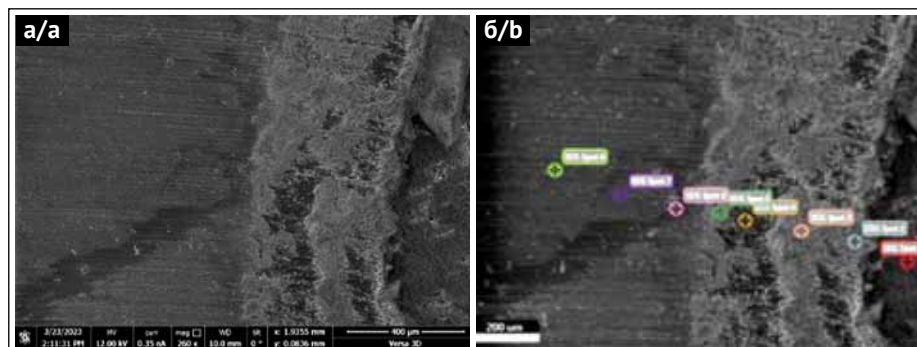
Depth of investigation points on the tooth microsection, measured from the surface of the carious lesion

**Рис. 2.**

ОМ: дентинные каналы на шлифе зуба (а), глубина кариозного поражения (б)

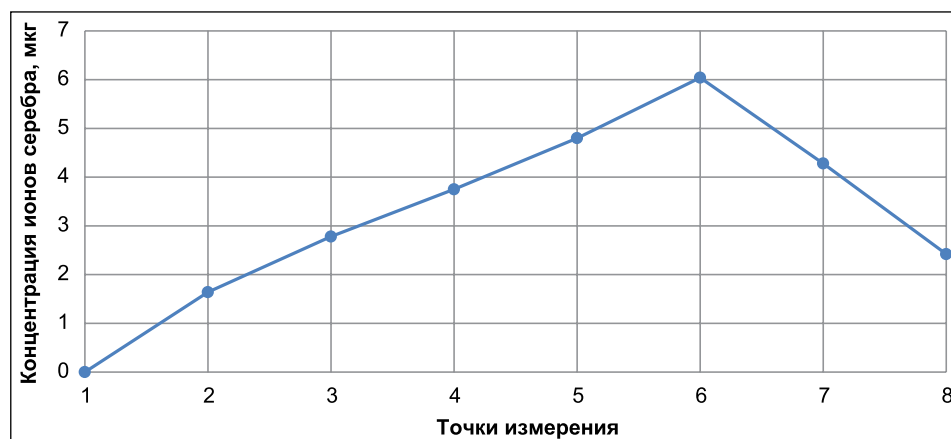
Fig. 2.

Optical microscopy: dentinal tubules in the tooth microsection (a) and depth of the carious lesion (b)

**Рис. 3. СЭМ:**

шлиф зуба, увеличение x260 (а), точки поиска серебра от кариозной полости к здоровым тканям дентина, увеличение x2000 (б)

Fig. 3. SEM: tooth microsection at 260x magnification (a), silver detection points from the carious lesion to sound dentin at 2000x magnification (b)

**Рис. 4.**

Концентрация ионов серебра (мкг) в шлифе зуба (объяснение в тексте)

Fig. 4.

Silver ion concentration (μg) in the tooth microsection (details provided in the text)

смены прикуса. Обработка кариозных тканей проводилась с помощью отечественного препарата, содержащего 38% ДФС («Аргенат» однокомпонентный, «ВладМиВа», РФ) в соответствии с инструкцией производителя.

Плотность кариозных тканей до и после обработки ДФС оценивалась по тактильным ощущениям при зондировании. После получения эффекта уплотнения кариозного дентина, обработанного ДФС, были

изготовлены микропрепараты (образцы) в виде шлифов зубов (секционирование проводилось через центр кариозных поражений).

Для определения глубины проникновения ионов серебра в дентин зуба проводился качественный и количественный микрорентгеноконтрастный анализ в трех выбранных точках обработанного кариозного участка зуба на разной глубине, определялось распределение элементов по линии и на площади.

Глубина 8 точек, в которых выполнены измерения, варьировала от $48,30 \pm 9,43$ до $875,00 \pm 35,76$ микрон от поверхности кариозной полости (рис. 1).

Для подтверждения наличия ионов серебра в тканях зуба образцы были также проанализированы на электронном микроскопе, который имеет детектор элементного состава. Использовались оптический микроскоп (ОМ) Olympus BX 61 и сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) Versa 3D DualBeam. Определяли глубину кариозного поражения и глубину проникновения ионов серебра в дентинные каналы за пределы кариозного поражения (рис. 2, 3).

Полученные данные обрабатывали методами вариационной статистики с использованием критерия хи-квадрат для оценки значимости различий при пороговом значении $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что ионы серебра распределялись на всю глубину кариозного поражения, окрашивая кариозный дентин в темный цвет. В здоровом дентине ионы серебра не обнаружены. Распределение ионов серебра в тканях зуба представлено на рисунке 4.

Ионы серебра не определялись в точке 1, которая выходила за пределы образца исследования (не являлась частью зуба). В точках 2-5, относящихся к кариозному дентину, концентрация ионов серебра увеличивалась соответственно увеличению глубины кариозных тканей с $1,64 \pm 0,55$ мкг до $4,80 \pm 0,62$ мкг, $p < 0,01$. Максимальное количество ионов серебра – $6,04 \pm 0,56$ мкг определялось в зоне деминерализованного дентина вблизи границы с кариозным дентином – точка 6. При приближении к здоровому дентину (точки 7 и 8) содержание ионов серебра снижалось и достигало $4,28 \pm 1,51$ и $2,42 \pm 1,53$ мкг соответственно ($p > 0,05$), причем ионы серебра не определялись в точке 7 в 33,3% образцов, в точке 8 – 66,7%. В здоровом дентине ионы серебра не выявлены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Uribe SE, Innes N, Maldupa I. The global prevalence of early childhood caries: A systematic review with meta-analysis using the WHO diagnostic criteria. *Int J Paediatr Dent.* 2021;31(6):817-830.
doi: 10.1111/ipd.12783
2. BaniHani A, Santamaría RM, Hu S, Maden M, Albadri S. Minimal intervention dentistry for managing carious lesions into dentine in primary teeth: an umbrella review. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2022;23(5):667-693.
doi: 10.1007/s40368-021-00675-6
3. Zheng FM, Yan IG, Duangthip D, Gao SS, Lo ECM, Chu CH. Silver diamine fluoride therapy for dental care. *Jpn Dent Sci Rev.* 2022;58:249-257.
doi: 10.1016/j.jdsr.2022.08.001.
4. Seifo N, Robertson M, MacLean J, Blain K, Grosse S, Milne R, et al. The use of silver diamine fluoride (SDF)

Таким образом, после обработки кариозных тканей ДФС происходит проникновение ионов серебра на всю глубину кариозного дентина. Концентрация ионов серебра увеличивается в более глубоких слоях дентина, достигая максимума в деминерализованном дентине на границе с кариозным дентином. а в деминерализованном дентине уменьшается по направлению к здоровому дентину.

Полученные данные коррелируют с результатами исследований Mulder R. et al., 2023, показавших повышение концентрации серебра по направлению от кариозного дентина к здоровому после применения препаратов SDF и AgF [11]. В исследовании Li Y et al., 2019, было также показано, что проникновение серебра в здоровый дентин маловероятно. Однако авторы выявили ионы серебра в пульповой камере при обработке ДФС глубоких кариозных поражений [10]. В нашем исследовании подобных случаев не было, что, по-видимому, объясняется разной концентрацией ионов серебра в примененных препаратах: «Аргенат однокомпонентный» содержит меньшую концентрацию ионов серебра, чем зарубежные препараты, используемые другими исследователями [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате исследования установлено, что после обработки кариозных полостей временных зубов ДФС ионы серебра инфильтрируют кариозную ткань. Концентрация серебра нарастает в глубине кариозного поражения, достигая максимума в деминерализованном слое вблизи кариозного дентина, но не проникая в здоровый дентин. По-видимому, отложение серебра в дентинных каналах деминерализованного дентина останавливает развитие кариеса и создает защитный барьер вокруг кариозной полости.

- in dental practice. *Br Dent J.* 2020;228(2):75-81.
doi: 10.1038/s41415-020-1203-9

5. Куркина ОН, Маслак ЕЕ, Осокина АС, Хмызова ТГ, Куркина ВМ. Диаминфторид серебра для стабилизации кариеса зубов: результаты исследований in vitro (обзор литературы). *Институт стоматологии.* 2020;(1):95. Режим доступа:
<https://elibrary.ru/item.asp?id=43932842>
6. Yan IG, Zheng FM, Gao SS, Duangthip D, Lo ECM, Chu CH. Ion Concentration of silver diamine fluoride solutions. *Int Dent J.* 2022;72(6):779-784.
doi: 10.1016/j.identj.2022.04.005
7. Mei ML, Lo ECM, Chu CH. Arresting dentine caries with silver diamine fluoride: what's behind it? *J Dent Res.* 2018;97(7):751-758.
doi: 10.1177/0022034518774783

8. Kaur M, Shahid S, Karpukhina N, Anderson P, Wong FSL. Characterization of chemical reactions of silver diammine fluoride and hydroxyapatite under remineralization conditions. *Front Oral Health*. 2024;5:1332298.

doi: 10.3389/froh.2024.1332298

9. Kaur M, Anderson P, Shahid S, Wong FSL. Chemical kinetics of silver diammine fluoride in demineralization and remineralization solutions-an in vitro study. *Front Oral Health*. 2024;5:1374333.

doi: 10.3389/froh.2024.1374333

REFERENCES

1. Uribe SE, Innes N, Maldupa I. The global prevalence of early childhood caries: A systematic review with meta-analysis using the WHO diagnostic criteria. *Int J Paediatr Dent*. 2021;31(6):817-830.

doi: 10.1111/ipd.12783

2. BaniHani A, Santamaría RM, Hu S, Maden M, Albadri S. Minimal intervention dentistry for managing carious lesions into dentine in primary teeth: an umbrella review. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2022;23(5):667-693.

doi: 10.1007/s40368-021-00675-6

3. Zheng FM, Yan IG, Duangthip D, Gao SS, Lo ECM, Chu CH. Silver diamine fluoride therapy for dental care. *Jpn Dent Sci Rev*. 2022;58:249-257.

doi: 10.1016/j.jdsr.2022.08.001.

4. Seifo N, Robertson M, MacLean J, Blain K, Grosse S, Milne R, et al. The use of silver diamine fluoride (SDF) in dental practice. *Br Dent J*. 2020;228(2):75-81.

doi: 10.1038/s41415-020-1203-9

5. Kurkina ON, Maslak EE, Osokina AS, Khmizova TG, Kurkina VM. Silver diamine fluoride for caries arrest: the results of studies in vitro (literature review). *The Dental Institute*. 2020;1(86):95 (In Russ.). Available from:

<https://elibrary.ru/item.asp?id=43932842>

6. Yan IG, Zheng FM, Gao SS, Duangthip D, Lo ECM, Chu CH. Ion Concentration of silver diamine fluoride solutions. *Int Dent J*. 2022;72(6):779-784.

doi: 10.1016/j.identj.2022.04.005

10. Li Y, Liu Y, Psoter WJ, Nguyen OM, Bromage TG, Walters MA, et al. Assessment of the silver penetration and distribution in carious lesions of deciduous teeth treated with silver diamine fluoride. *Caries Res*. 2019;53(4):431-440.

doi: 10.1159/000496210

11. Mulder R, Potgieter N, Noordien N. Penetration of SDF and AgF from the infected dentine towards the unaffected tooth structure. *Front Oral Health*. 2023;4:1298211.

doi: 10.3389/froh.2023.1298211

7. Mei ML, Lo ECM, Chu CH. Arresting dentine caries with silver diamine fluoride: what's behind it? *J Dent Res*. 2018;97(7):751-758.

doi: 10.1177/0022034518774783

8. Kaur M, Shahid S, Karpukhina N, Anderson P, Wong FSL. Characterization of chemical reactions of silver diammine fluoride and hydroxyapatite under remineralization conditions. *Front Oral Health*. 2024;5:1332298.

doi: 10.3389/froh.2024.1332298

9. Kaur M, Anderson P, Shahid S, Wong FSL. Chemical kinetics of silver diammine fluoride in demineralization and remineralization solutions-an in vitro study. *Front Oral Health*. 2024;5:1374333.

doi: 10.3389/froh.2024.1374333

10. Li Y, Liu Y, Psoter WJ, Nguyen OM, Bromage TG, Walters MA, et al. Assessment of the silver penetration and distribution in carious lesions of deciduous teeth treated with silver diamine fluoride. *Caries Res*. 2019;53(4):431-440.

doi: 10.1159/000496210

11. Mulder R, Potgieter N, Noordien N. Penetration of SDF and AgF from the infected dentine towards the unaffected tooth structure. *Front Oral Health*. 2023;4:1298211.

doi: 10.3389/froh.2023.1298211

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за связь с редакцией:

Животова Виктория Михайловна, аспирант кафедры стоматологии детского возраста, Волгоградского государственного медицинского университета, Волгоград, Российская Федерация

Для переписки: vikiku12@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6137-1449>

Маслак Елена Ефимовна, доктор медицинских наук, профессор кафедры стоматологии детского возраста Волгоградского государственного медицинского университета, Волгоград, Российская Федерация

Для переписки: eemaslak@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2011-9714>

Гайдадин Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры химии и технологии переработки эластомеров Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Российская Федерация

Для переписки: lit@vstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2192-5913>

Гуревич Леонид Моисеевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой материаловедения и композиционных материалов Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Российская Федерация

Для переписки: mv@vstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3805-6977>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Corresponding author:

Victoria M. Zhivotova, DMD, PhD student, Department of the Pediatric Dentistry, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

For correspondence: vikiku12@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6137-1449>

Elena E. Maslak, DMD, PhD, DSc, Professor, Department of the Pediatric Dentistry, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

For correspondence: eemaslak@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2011-9714>

Alexei N. Gaidadin, PhD, Associate Professor, Department of Chemistry and Elastomer Processing Technology, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

For correspondence: lit@vstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2192-5913>

Leonid M. Gurevich, PhD, DSc, Head of the Department of Materials Science and Composite Materials, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

For correspondence: mv@vstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3805-6977>

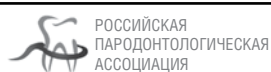
Поступила / Article received 26.09.2024

Поступила после рецензирования / Revised 13.11.2024

Принята к публикации / Accepted 14.11.2024

Вклад авторов в работу. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE, а также согласны принять на себя ответственность за все аспекты работы. Животова В.М. – разработка концепции, проведение исследования, написание черновика рукописи. Маслак Е.Е. – научное руководство, написание рукописи – рецензирование и редактирование рукописи. Гайдадин А.Н. – научное руководство, разработка методологии, выполнение исследования, написание черновика рукописи, рецензирование и редактирование. Гуревич Л.М. – формальный анализ, визуализация данных, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Authors' contribution. All authors confirm that their contributions comply with the international ICMJE criteria and agrees to take responsibility for all aspects of the work. V.M. Zhivotova – conceptualization, investigation, writing – original draft. E.E. Maslak – supervision, writing – review & editing. A.N. Gaidadin – supervision, methodology, investigation, writing – original draft, review & editing. L.M. Gurevich – formal analysis, data visualization, writing – review & editing.



ЖУРНАЛЫ ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ГРУППЫ РПА

Журнал «Пародонтология»

Стоимость годовой подписки в печатном виде на 2025 год по России – 5000 рублей

Подписной индекс в каталоге «Урал-Пресс» – ВН018904

Электронная версия в открытом доступе

www.parodont.ru

PubMed NLM ID: 101535619

Импакт-фактор: 1.8