

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЗИСОВ СЪЕМНЫХ ПРОТЕЗОВ

Ю.А. Вокулова¹, Е.Н. Жулев², Е.Ю. Николаева², И.В. Вельмакина², Н.А. Янова¹, А.А. Плишкина¹

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского» (Нижний Новгород, Российская Федерация)

²ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России (Нижний Новгород, Российская Федерация)

Для цитирования: Вокулова Ю.А., Жулев Е.Н., Николаева Е.Ю., Вельмакина И.В., Янова Н.А., Плишкина А.А. Сравнительная характеристика свойств полимерных материалов, применяемых для изготовления базисов съемных протезов. *Аспирантский вестник Поволжья*. 2025;25(1):58-62. DOI: <https://doi.org/10.35693/AVP655547>

■ Сведения об авторах

*Вокулова Юлия Андреевна – д-р мед. наук, старший преподаватель кафедры клинической стоматологии Института клинической медицины. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5220-2032> E-mail: Vokulova89@mail.ru

Жулев Е.Н. – д-р мед. наук, профессор кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии.

ORCID: 0000-0001-9539-3350 E-mail: hrustalev54@mail.ru

Николаева Е.Ю. – канд. мед. наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии.

ORCID: 0000-0002-2248-5446 E-mail: el.nikolaeva@yandex.ru

Вельмакина И.В. – канд. мед. наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии.

ORCID: 0000-0002-0198-9928 E-mail: velmakinairina@rambler.ru

Янова Н.А. – канд. мед. наук, доцент кафедры клинической стоматологии Института клинической медицины.

ORCID: 0000-0002-3436-5150 E-mail: nina-yanova@yandex.ru

Плишкина А.А. – канд. мед. наук, доцент кафедры клинической стоматологии Института клинической медицины.

ORCID: 0000-0002-2124-9740 E-mail: plishkina@unn.ru

*Автор для переписки

Получено: 11.02.2025

Одобрено: 01.03.2025

Опубликовано: 12.03.2025

■ Аннотация

Цель – провести сравнительную характеристику свойств полимерных материалов (водопоглощение и растворимость), применяемых для изготовления базисов съемных протезов традиционным и цифровым методами.

Материал и методы. Для проведения исследования изготовили экспериментальные образцы из базисной пластмассы холодной полимеризации на основе полиметилметакрилата Vertex Castapress (Vertex Dental, Нидерланды) и фотополимерного материала для 3D печати Next Dent Base (Next Dent, Нидерланды) в количестве 5 штук для каждого материала. Исследование проводили в соответствии с ГОСТ 31572-2012 «Материалы полимерные для базисов зубных протезов». Статистический анализ проводили с помощью критерия Манна – Уитни.

Результаты. Для фотополимерного базисного материала для 3D печати Next Dent Base среднее значение водопоглощения составляет $9,857 \pm 0,2165$ мкг/мм³, а растворимости – $0,22 \pm 0,1483$ мкг/мм³. Для базисной пластмассы холодной полимеризации на основе полиметилметакрилата Vertex Castapress среднее значение водопоглощения составляет $13,46 \pm 0,1826$ мкг/мм³, растворимости – $0,74 \pm 0,1342$ мкг/мм³.

Выводы. Критерии водопоглощаемости и растворимости используются для оценки способности базисных пластмасс противостоять воздействию слюны и являются показателями долговечности и биоинертности зубных протезов. Фотополимерный базисный материал для 3D печати Next Dent Base обладает лучшими показателями водопоглощения и растворимости в сравнении с пластмассой холодной полимеризации Vertex Castapress, что свидетельствует о том, что данный материал обладает большей прочностью и износостойкостью (медианы выборок по критерию водопоглощения отличаются на 32,4%, а по критерию растворимости – на 75,0%).

Ключевые слова: водопоглощение, растворимость, базисные пластмассы, съемные зубные протезы, 3D принтер, Next Dent Base, Vertex Castapress.

Конфликт интересов: не заявлен.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS USED FOR THE MANUFACTURE OF REMOVABLE DENTURE BASES

Yuliya A. Vokulova¹, Evgenii N. Zhulev², Elena Yu. Nikolaeva², Irina V. Velmakina²,
Nina A. Yanova¹, Anna A. Plishkina¹

¹National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (Nizhny Novgorod, Russian Federation)

²Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation)

Citation: Vokulova YuA, Zhulev EN, Nikolaeva EYu, Velmakina IV, Yanova NA, Plishkina AA. *Comparative characteristics of the properties of polymer materials used for the manufacture of removable denture bases. Aspirantskiy vestnik Povolzhya*. 2025;25(1):58-62.

DOI: <https://doi.org/10.35693/AVP655547>

Information about authors

*Yuliya A. Vokulova – MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor at the Department of Clinical Dentistry at the Institute of Clinical Medicine.

ORCID: 0000-0001-5220-2032 E-mail: Vokulova89@mail.ru

Evgenii N. Zhulev – MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor of the Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics.

ORCID: 0000-0001-9539-3350 E-mail: hrustalev54@mail.ru

Elena Yu. Nikolaeva – MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics.

ORCID: 0000-0002-2248-5446 E-mail: el.nikolaeva@yandex.ru

Irina V. Velmakina – MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor of the Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics.

ORCID: 0000-0002-0198-9928 E-mail: velmakinairina@rambler.ru

Nina A. Yanova – MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor at the Department of Clinical Dentistry at the Institute of Clinical Medicine.

ORCID: 0000-0002-3436-5150 E-mail: nina-yanova@yandex.ru

Anna A. Plishkina – MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor at the Department of Clinical Dentistry at the Institute of Clinical Medicine.

ORCID: 0000-0002-2124-9740 E-mail: plishkina@unn.ru

*Corresponding Author

Received: 11.02.2025

Accepted: 01.03.2025

Published: 12.03.2025

Abstract

Aim – to conduct a comparative characterization of the properties of polymer materials (water absorption and solubility) used for the manufacture of removable denture bases using traditional and digital methods.

Material and methods. To conduct the study, experimental samples were made from cold polymerized base resin based on polymethylmethacrylate Vertex Castapress (Vertex Dental, the Netherlands) and photopolymer material for 3D printing Next Dent Base (Next Dent, the Netherlands) in the amount of 5 pieces for each material. The study was conducted in accordance with GOST 31572-2012 “Polymer materials for denture bases”. Statistical analysis was performed using the Mann – Whitney test.

Results. For the photopolymer base material for 3D printing, Next Dent Base, the average value of water absorption is 9.857 ± 0.2165 micrograms/mm³, and solubility is 0.22 ± 0.1483 micrograms/mm³. For the basic cold-polymerized resin based on polymethylmethacrylate Vertex Castapress, the average value of water absorption is 13.46 ± 0.1826 micrograms/mm³, solubility is 0.74 ± 0.1342 micrograms/mm³.

Conclusions. Criteria of water absorption and solubility are used to assess the ability of basic plastics to withstand the effects of saliva and are indicators of durability and bioinertness of dentures. Next Dent Base, a photopolymer base material for 3D printing, has better water absorption and solubility in comparison with Vertex Castapress cold polymerization resin, which indicates that this material has greater strength and wear resistance (the medians of the samples differ by 32.4% according to the criterion of water absorption, and by 75.0% according to the criterion of solubility).

Keywords: water absorption, solubility, basic plastics, removable dentures, 3D printer, Next Dent Base, Vertex Castapress.

Conflict of interest: nothing to disclose.

ВВЕДЕНИЕ

Ортопедическое лечение пациентов пожилого и старческого возраста с частичной или полной потерей зубов чаще всего осуществляется с применением съемных протезов. Важнейшими свойствами материалов для базисов таких протезов являются водостойкость и растворимость. Водостойкость – это способность полимеров сохранять свойства при продолжительном воздействии воды. Водостойкость полимера характеризуется водопоглощением. Этот параметр обозначает количество воды, которое материал способен впитать. Если вода попадает внутрь полимера, он набухает, что может привести к изменению геометрической формы базиса протеза, ухудшению показателей прочности, твердости, жесткости, сопротивлению вдавливания. Чем выше показатели водопоглощения, тем более полимер подвержен проникновению микроорганизмов [1–4].

Такое свойство базисных пластмасс, как растворимость, может влиять на состояние слизистой оболочки протезного ложа и тканей зубочелюстной системы в целом. Это обусловлено прежде всего содержанием в базисном полимере остаточного мономера, который выделяется в ротовую жидкость и является основным этиологическим фактором развития аллергических реакций на съемный зубной протез [5, 6].

В настоящее время наряду с традиционной технологией изготовления базисов съемных протезов методом горячей или холодной полимеризации акриловой пластмассы широкое применение в клинической практике получили цифровые методы изготовления протезов с помощью 3D принтеров и фрезерно-шлифовальных станков [7–13].

В специальной литературе имеются сведения о физико-химических свойствах базисных пластмасс, применяемых при традиционном методе изготовления съемных протезов (модуль упругости, твердость, плотность, ударная вязкость, пластичность, относительное удлинение, предел прочности, величина светопропускания, электропроводность и др.) [14, 15]. Однако научные публикации, посвященные сравнительной оценке свойств полимерных материалов, применяемых для изготовления базисов съемных протезов традиционным и цифровым методом, единичны [16, 17] и содержат достаточно противоречивые сведения, что требует дополнительных исследований.

ЦЕЛЬ

Провести сравнительную характеристику свойств полимерных материалов (водопоглощение и растворимость), применяемых для изготовления базисов съемных протезов традиционным и цифровым методом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследования нами были изготовлены экспериментальные образцы из базисной пластмассы холодной полимеризации на основе полиметилметакрилата Vertex Castapress (Vertex Dental, Нидерланды) и фотополимерного материала для 3D печати Next Dent Base (Next Dent, Нидерланды) в количестве 5 экземпляров для каждого материала. Каждый образец имел диаметр 20 ± 1 мм и толщину $0,5 \pm 0,1$ мм с плоскими верхней и нижней торцевыми поверхностями.

Таблица 1 / Table 1

Описательные статистики распределения значений величин водопоглощения и растворимости базисных пластмасс (n – количество образцов)

Descriptive statistics of the distribution of water absorption and solubility values of basic plastics (n is the number of samples)

Элементы описательной статистики	Водопоглощение		Растворимость	
	Vertex Castapress	Next Dent Base	Vertex Castapress	Next Dent Base
n	5	5	5	5
Среднее ± стандартное отклонение (мкг/мм ³)	13,46 ± 0,1826	9,857 ± 0,2165	0,74 ± 0,1342	0,22 ± 0,1483
Медиана	13,09	8,845	0,8	0,2
Минимум	11,86	7,72	0,6	0
Максимум	16,43	12,62	0,9	0,4
25-й процентиль	12,15	8,399	0,6	0,2
75-й процентиль	13,76	11,7	0,8	0,3
Стандартная ошибка среднего	0,08164	0,09681	0,06	0,06633

Исследование проводили в соответствии с ГОСТ 31572-2012¹. На первом этапе помещали образцы в эксикатор, содержащий свежесушенный силикагель. Эксикатор устанавливали в сушильный шкаф и выдерживали при температуре 37,0°C в течение 23 часов, после чего эксикатор вынимали из сушильного шкафа и образцы переносили во второй эксикатор и выдерживали в течение 60 мин., образцы взвешивали на аналитических весах с погрешностью 0,2 мг. После взвешивания всех образцов заменяли силикагель в первом эксикаторе на свежесушенный и помещали эксикатор в термостат. Повторяли испытание до тех пор, пока не будет достигнута постоянная масса M_1 , то есть пока потеря массы каждого образца при очередном взвешивании не будет более 0,2 мг. Подсчитывали объем V (мм³), каждого образца, вычисленный по среднему значению диаметра трех измерений и среднему арифметическому значению пяти измерений толщины. Измерение последней проводили в центре и в четырех равноудаленных от центра точках окружности. Далее погружали образцы в воду температурой 37°C на 168 часов. По истечении этого времени вынимали диски из воды, вытирали сухим полотенцем до исчезновения видимой влаги, оставляли на воздухе для просушки в течение 15 сек., а затем через 60 сек. после извлечения из воды взвешивали с точностью до 0,2 мг и записывали массу образцов M_2 . После взвешивания проводили вторичное высушивание образцов в эксикаторе до постоянной массы и записывали полученные данные M_3 .

Для каждого образца значение водопоглощения W_B (мкг/мм³) определяли по формуле:

$$W_B = \frac{(M_2 - M_3)}{V}$$

где M_2 – масса образца после погружения в воду, мкг; M_3 – постоянная масса образца после вторичного высушивания, мкг; V – объем образца, мм³.

Водопоглощение базисных материалов по ГОСТу не должно превышать 32 мкг/мм³ [18].

Затем для каждого образца определяли массу растворимого вещества на единицу объема W_P , мкг/мм³, по формуле:

$$W_P = \frac{(M_1 - M_3)}{V}$$

где M_1 – начальная постоянная масса образца, мкг.

Растворимость (потеря массы на единицу объема) базисных материалов, согласно вышеуказанному ГОСТу, не должна превышать 1,6 мкг/мм³.

Полученные в ходе эксперимента данные заносили в таблицы и проводили статистический анализ в программной среде R с помощью критерия Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования по изучению водопоглощения и растворимости базисных пластмасс представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

В таблице 2 приведены значения критерия Манна – Уитни и соответствующие ему уровни значимости p для каждого признака для попарного сравнения групп.

Из полученных данных следует, что для фотополимерного базисного материала для 3D печати Next Dent Base среднее значение водопоглощения составляет $9,857 \pm 0,2165$ мкг/мм³, а растворимости – $0,22 \pm 0,1483$ мкг/мм³. Для базисной пластмассы холодной полимеризации на основе полиметилметакрилата Vertex Castapress среднее значение водопоглощения составляет $13,46 \pm 0,1826$ мкг/мм³, растворимости – $0,74 \pm 0,1342$ мкг/мм³. Эти данные

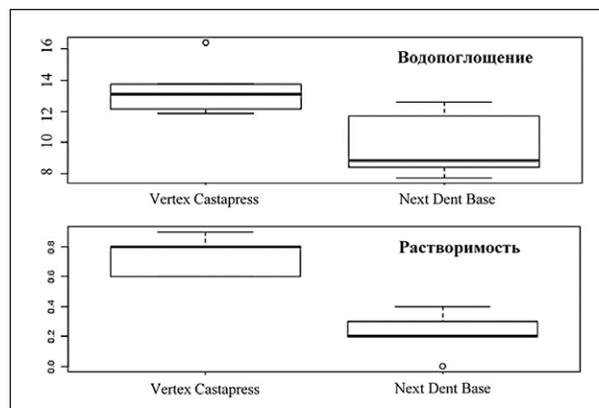


Рисунок 1. Коробчатые графики распределения значений водопоглощения и растворимости базисных пластмасс.

Figure 1. Box-shaped graphs of the distribution of water absorption and solubility values of basic plastics.

¹ ГОСТ Р 31572-2012 (ИСО 1567-99) «Материалы полимерные для базисов зубных протезов. Технические требования. Методы испытаний». Дата введения 01.01.2015.

Таблица 2 / Table 2

Результаты сравнения базисных пластмасс по критериям водопоглощения и растворимости**The results of the comparison of basic plastics according to criteria of water absorption and solubility**

Критерий	W критерий Манна - Уитни	P
Водопоглощение	23	0,032*
Растворимость	25	0,011*

Примечания. * – наличие статистически значимого различия на уровне значимости $p < 0,05$.

свидетельствуют о том, что у всех базисных материалов, из которых были изготовлены образцы, показатели водопоглощения и растворимости находятся в пределах допустимой ГОСТом нормы. Однако у фотополимерного базисного материала Next Dent Base данные показатели оказались существенно ниже в сравнении с пластмассой холодной полимеризации Vertex Castapress (медианы выборок по критерию водопоглощения отличаются на 32,4%, а по критерию растворимости – на 75,0%).

В плане оценки полученных результатов представляют интерес исследования других авторов, занимавшихся изучением данной проблемы. В частности, L.Perea-Lowery и соавт. (2021), изучая физико-химические свойства

фотополимерной смолы для 3D печати Imprimo LC Denture (Scheu-Dental GmbH, Германия), пластмассы горячей полимеризации Paladon (Kulzer GmbH, Германия) и пластмассы холодной полимеризации Palapress (Kulzer GmbH, Германия), не выявили среди исследуемых групп статистически значимой разницы по критерию «водопоглощение» [17]. Растворимость же в воде для пластмассы горячей полимеризации была значительно ниже, чем в других группах ($p < 0,001$). Различия в полученных нами результатах объясняются, на наш взгляд, исследованием разных базисных полимерных материалов и применяемыми 3D принтерами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критерии водопоглощаемости и растворимости используются для оценки способности базисных пластмасс противостоять воздействию слюны и являются показателями долговечности и биоинертности зубных протезов. Фотополимерный базисный материал для 3D печати Next Dent Base обладает лучшими показателями водопоглощения и растворимости в сравнении с пластмассой холодной полимеризации Vertex Castapress, что свидетельствует о том, что данный материал обладает большей прочностью и износостойкостью.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Greil V, Mayinger F, Reymus M, et al. Water sorption, water solubility, degree of conversion, elastic indentation modulus, edge chipping resistance and flexural strength of 3D-printed denture base resins. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2023;137:105565. DOI: [10.1016/j.jmbbm.2022.105565](https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105565)
- Zafar MS. Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. *Polymers (Basel).* 2020;12(10):2299. DOI: [10.3390/polym12102299](https://doi.org/10.3390/polym12102299)
- Prosthetic dentistry: national guidelines*. Eds. Lebedenko IYu, Arutyunov SD, Ryahovskij AN. Vol 2. М., 2022. (In Russ.). [Ортопедическая стоматология: национальное руководство. Том 2. Под ред. Лебедеко И.Ю., Арутюнова С.Д., Ряховского А.Н. М., 2022].
- Alqutaibi AY, Baik A, Almuzaini SA, et al. Polymeric Denture Base Materials: A Review. *Polymers (Basel).* 2023;15(15):3258. DOI: [10.3390/polym15153258](https://doi.org/10.3390/polym15153258)
- Mohd Farid DA, Zahari NAH, Said Z, et al. Modification of Polymer Based Dentures on Biological Properties: Current Update, Status, and Findings. *Int J Mol Sci.* 2022;23(18):10426. DOI: [10.3390/ijms231810426](https://doi.org/10.3390/ijms231810426)
- Zhulev EN. *Prosthetic dentistry*. М., 2012. (In Russ.). [Жулев Е.Н. *Ортопедическая стоматология*. М., 2012].
- Srinivasan M, Kamnoedboon P, McKenna G, et al. CAD-CAM removable complete dentures: A systematic review and meta-analysis of trueness of fit, biocompatibility, mechanical properties, surface characteristics, color stability, time-cost analysis, clinical and patient-reported outcomes. *J Dent.* 2021;113:103777. DOI: [10.1016/j.jdent.2021.103777](https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103777)
- Srinivasan M, Kalberer N, Kamnoedboon P, et al. CAD-CAM complete denture resins: an evaluation of biocompatibility, mechanical properties, and surface characteristics. *J Dent.* 2021;114:103785. DOI: [10.1016/j.jdent.2021.103785](https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103785)
- Zandinejad A, Floriani F, Lin WS, et al. Clinical outcomes of milled, 3D-printed, and conventional complete dentures in edentulous patients: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont.* 2024;33(8):736-747. DOI: [10.1111/jopr.13859](https://doi.org/10.1111/jopr.13859)
- Kalberer N, Mehl A, Schimmel M, et al. CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: An in vitro evaluation of trueness. *J Prosthet Dent.* 2019;121(4):637-643. DOI: [10.1016/j.prosdent.2018.09.001](https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.09.001)
- Srinivasan M, Cantin Y, Mehl A, et al. CAD/CAM milled removable complete dentures: an in vitro evaluation of trueness. *Clin Oral Investig.* 2017;21(6):2007-2019. DOI: [10.1007/s00784-016-1989-7](https://doi.org/10.1007/s00784-016-1989-7)
- Stilwell C, Kalberer N, Mojon P, et al. Extra-oral assessment of conventional and CAD-CAM complete denture appearance by dental professionals and CRDP wearers: A randomized survey. *J Dent.* 2021;115:103843. DOI: [10.1016/j.jdent.2021.103843](https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103843)
- Srinivasan M, Kalberer N, Fankhauser N, et al. CAD-CAM complete removable dental prostheses: A double-blind, randomized, crossover clinical trial evaluating milled and 3D-printed dentures. *J Dent.* 2021;115:103842. DOI: [10.1016/j.jdent.2021.103842](https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103842)
- Korexov BN, Ryahovskij AN, Poyurovskaya IYa, et al. Physical-mechanical characteristics of elastic materials for removable prosthetics. *Stomatologija.* 2009;88(6):55-59. (In Russ.). [Корехов Б.Н., Ряховский А.Н., Поюровская И.Я., и др. Физико-механические характеристики эластичных материалов для съемных зубных протезов. *Стоматология*. 2009;88(6):55-59].
- Kostrov YaV, Belokonova NA, Vshivkov SA, et al. Analysis of methods of evaluating of dental polymer materials. *Advances in current natural sciences.* 2016;5:25-32. (In Russ.). [Костров Я.В., Белоконова Н.А., Вшивков С.А., и др. Анализ методов оценки свойств стоматологических полимерных материалов. *Успехи современного естествознания*. 2016;5:25-32]. Доступно по: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35892/>
- Gad MM, Alshehri SZ, Alhamid SA et al. Water Sorption, Solubility, and Translucency of 3D-Printed Denture Base Resins. *Dent J (Basel).* 2022;10(3):42. DOI: [10.3390/dj10030042](https://doi.org/10.3390/dj10030042)
- Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, et al. 3D-Printed vs. Heat-Polymerizing and Autopolymerizing Denture Base Acrylic Resins. *Materials (Basel).* 2021;14(19):5781. DOI: [10.3390/ma14195781](https://doi.org/10.3390/ma14195781)

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ADDITIONAL INFORMATION
Источник финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.	Study funding. The study was the authors' initiative without external funding.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.	Conflict of interest. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest associated with the content of this article.
Участие авторов. Вокулова Ю.А. – идея и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста; Жулев Е.Н. – одобрение и окончательная научная редакция; Николаева Е.Ю., Вельмакина И.В. – дизайн исследования, редактирование статьи; Янова Н.А., Плишкина А.А. – обзор литературы, редактирование текста. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.	Contribution of individual authors. Vokulova Yu.A.: idea and design of research, data collection and processing, writing of the text; Zhulev E.N.: approval and final scientific revision; Nikolaeva E.Yu., Velmakina I.V.: research design, editing of the article; Yanova N.A., Plishkina A.A.: literature review, text editing. The authors gave their final approval of the manuscript for submission, and agreed to be accountable for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.