

УДК 616-03: 577-539.3

DOI: 10.17816/pmj384112-120

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И КОНЦЕПЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ВЫБОРА МАТЕРИАЛА И ПЛАНИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ ПАРОДОНТИТА

Н.Б. Асташина^{1*}, Е.П. Рогожникова¹, А.Ф. Мерзляков², В.Н. Никитин³

¹Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера,

²Пермский государственный национальный исследовательский университет,

³Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

INTERDISCIPLINARY SYSTEM APPROACH AND CONCEPT OF EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL METHOD OF MATERIAL SELECTION AND DESIGN PLANNING IN ORDER TO IMPROVE EFFECTIVENESS OF PERIODONTITIS TREATMENT

N.B. Astashina^{1*}, E.P. Rogozhnikova¹, A.F. Merzlyakov², V.N. Nikitin³

¹E.A. Vagner Perm State Medical University,

²Perm State Research University,

³Perm State Research Polytechnic University, Russian Federation

Цель. Одной из наиболее важных задач стоматологии на современном этапе является создание конструкций, обеспечивающих единство формы и функции зубочелюстной системы и приближающих ее к первоначальному естественному состоянию. Такой подход позволяет значительно расширить круг задач ортопедического лечения и реализовать медико-технические требования к материалам, конструкциям зубных протезов и шинирующих аппаратов.

© Асташина Н.Б., Рогожникова Е.П., Мерзляков А.Ф., Никитин В.Н., 2021

тел. +7 912 886 04 20

e-mail: nb.astashina@Gmail.com

[Асташина Н.Б. (*контактное лицо) – заведующая кафедрой ортопедической стоматологии; Рогожникова Е.П. – ассистент кафедры ортопедической стоматологии; Андрей Ф.М. – заведующий лабораторией термомеханических методов испытаний; Никитин В.Н. – доцент кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики].

© Astashina N.B., Rogozhnikova E.P., Merzlyakov A.F., Nikitin V.N., 2021

tel. +7 912 886 04 20

e-mail: nb.astashina@Gmail.com

[Astashina N.B. (*contact person) – MD, PhD, Associate Professor, Head of Department of Orthopedic Dentistry; Rogozhnikova E.P. – Assistant, Department of Orthopedic Dentistry; Merzlyakov A.F. – Head of Laboratory of Thermomechanical Testing Methods; Nikitin V.N. – Associate Professor, Department of Calculus Mathematics, Mechanics and Biomechanics].

Материалы и методы. Отражены результаты экспериментального исследования по определению коэффициента Пуассона термопластического материала Dental D, используемого в качестве конструкционного для изготовления новой лечебно-профилактической назубной шины, а также биомеханический анализ изменения амплитуды смещения зубов, включенных в шину.

Результаты. Дана точная количественная оценка разработанного метода иммобилизации зубов при пародонтите легкой степени тяжести с учетом поведения костной ткани нижней челюсти, твердых тканей зубов и периодонта, а также при воздействии на зубной ряд жевательной нагрузки.

Выводы. Анализ полученных данных позволил сформировать практические рекомендации по использованию разработанной конструкции на этапах ортопедического лечения пациентов с начальной стадией патологии пародонта с целью снижения функциональной перегрузки зубного ряда и сохранения подвижности зубов на физиологическом уровне.

Ключевые слова. Междисциплинарные исследования, термопластические материалы, коэффициент Пуассона, шинирование зубов, амплитуда смещения, подвижность зубов, пародонтит.

Objective. One of the most important tasks of dentistry at the present stage is creation of structures, which ensure a unity of dental system form and function and bring it closer to its original natural state. This approach permits to expand significantly the range of orthopedic treatment tasks and implement medical and technical requirements for materials, structures of dentures and splinting devices.

Materials and methods. The article reflects the results of an experimental study to determine the Poisson's ratio of the Dental D thermoplastic material used as a structural material for the manufacture of a new therapeutic and preventive dental splint as well as a biomechanical analysis of changes in the displacement amplitude of the teeth included in the splint.

Results. As a result, an accurate quantitative assessment of the developed method of tooth immobilization in mild periodontitis is given taking into account the behavior of the bone tissue of the lower jaw, hard tissues of the teeth and periodontium as well as in case when the dentition is affected by the chewing load.

Conclusions. The analysis of the obtained data allowed us to form practical recommendations for use of the developed design at the stages of orthopedic treatment of patients with the initial stage of periodontal pathology in order to reduce functional overload of dentition and maintain mobility of teeth at physiological level.

Keywords. Interdisciplinary research, thermoplastic materials, Poisson's ratio, splinting of teeth, displacement amplitude, tooth mobility, periodontitis.

ВВЕДЕНИЕ

Перспективным направлением развития современной стоматологии является разработка и внедрение новых ортопедических конструкций, а также поиск и изучение свойств материалов для их изготовления [1–3]. Актуальным подходом в решении комплексных задач подобного рода является использование методов материаловедения и биомеханического моделирования, которые позволяют определить физико-механические характеристики конструкционных материалов и провес-

ти точную оценку характера распределения функциональных нагрузений при использовании лечебно-профилактических аппаратов и протезов [4–8].

Проектирование многоэлементных пространственных конструкций рационально с использованием четкого алгоритма последовательных действий – именно такой подход позволит повысить точность количественной оценки действующих напряжений в зависимости от типа и геометрии конструктивных элементов ортопедических аппаратов, исключить или минимизировать

вероятность ошибочного выбора их сочетания, которое выходило бы за рамки адекватного функционирования зубочелюстной системы с помощью выбранной расчетной модели [6–9].

Цель исследования – нормализация функционирования пародонтального комплекса в условиях начальной стадии воспалительно-деструктивного процесса при пародонтите при использовании авторской конструкции лечебно-профилактической назубной шины путем определения физико-механических характеристик основного конструкционного материала и биомеханического анализа распределения функциональных нагрузений в зубочелюстной системе человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На базе кафедры механики сплошных сред и вычислительных технологий Пермского государственного национально-исследовательского университета с использованием четырехвекторного испытательного стенда Zwick/Roell (Германия) проведено экспериментальное исследование по определению физико-механических характеристик термопластического материала, выбранного в качестве конструкционного для изготовления шинирующей конструкции (рис. 1, *а*). Образцы полимера, изготовленные методикой литьевого прессования, растягивались непрерывно с постоянной скоростью 50 мм/мин до момента появления пластических деформаций. Анализ диаграмм зависимости удлинения образца от величины нагрузки позволил определить область линейной деформации для нахождения коэффициента Пуассона.

На кафедре ортопедической стоматологии ПГМУ имени академика Е.А. Вагнера при помощи САЕ-программ создан 3D-прототип шинирующей конструкции для иммобилизации зубов при пародонтите (рис. 1, *б*). При моделировании лечебно-профилактической шины учитывали геометрию основных конструктивных элементов и известные физико-механические характеристики термопластического материала.

Биомеханические исследования по определению характера распределения функциональных напряжений в тканях пародонта проведены на кафедре вычислительной математики, механики и биомеханики Пермского национально-исследовательского политехнического университета. В рамках решения математических задач разработаны и реализованы численные методы решения, а также построены алгоритмы основных вычислительных процедур, основанные на использовании метода конечных элементов и возможностей лицензионного программного комплекса ANSYS 19.2 (ANSYS, Inc., США). Компьютерные кластеры с установленными на них программными продуктами позволили провести точный анализ процессов, происходящих в зубочелюстной системе человека, и оптимизировать параметры лечебно-профилактической шинирующей конструкции.

Клиническое обследование и комплексное лечение пациентов молодого возраста (23 женщины и 11 мужчин в возрасте от 20 до 35 лет) с хроническим генерализованным пародонтитом легкой степени тяжести, включающее мероприятия по повышению уровня гигиенического состояния полости рта, местное медикаментозное антибактериальное и противовоспалительное лечение, а также избирательное шлифование и рациональное протезирование по показаниям,

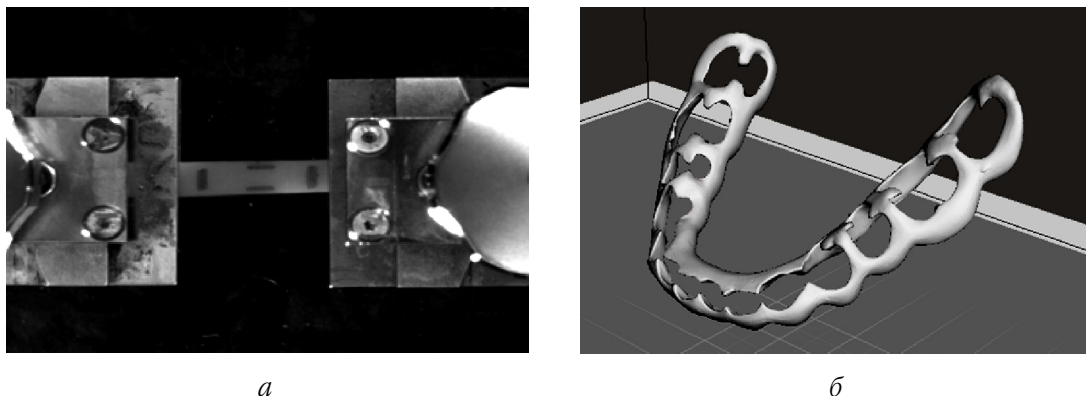


Рис. 1. Доклинические исследования: а – испытываемый образец с метками в захвате; б – 3D-прототип лечебно-профилактической шинирующей конструкции

проводили на базе кафедры ортопедической стоматологии ПГМУ имени академика Е.А. Вагнера и ООО «МЦ “Диомид”». Пациентам для иммобилизации зубов и перераспределения функциональных нагрузок были изготовлены съемные лечебно-профилактические назубные шины [10]. Динамику патологических изменений и эффективности сплнтинг-терапии оценивали при помощи комплексного стоматологического обследования, включающего анализ функциональных методов оценки гемодинамики тканей пародонта (реопародонтографии прибором «Минимакс Допплер Фоно», Россия) и подвижности зубов (перитестометрия – Periotest M, Германия).

Статистический анализ данных осуществлялся между средними величинами. Нормальность распределения показателей определяли при помощи критерия Шапиро – Уилка. Оценка статистической значимости различий показателей в динамике осуществлялась при помощи рангового *T*-критерия Уилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экспериментального определения величины продольной и поперечной деформации 12 образцов были ранжированы

по показателю «максимальное напряжение». Результаты испытаний четырех образцов термопласта Dental D, имеющих средние значения, отражены в табл. 1. В ходе эксперимента установлено, что изучаемый материал демонстрирует упругопластическое «поведение», характеризующееся существенным изменением формы и размеров образцов. К моменту разрушения в них развивались значительные деформации.

В зоне линейной (упругой) деформации были отдельно построены диаграммы временной зависимости продольной (рис. 2, а) и поперечной деформаций (рис. 2, б).

Следует отметить, что значительные продольные и поперечные деформации наступали практически одновременно и сохранялись после снятия напряжения. В результате математического вычисления величина коэффициента Пуассона термопластического материала Dental D составила $0,44 \pm 0,01$, что позволяет судить о достаточной эластичности предлагаемого конструкционного материала.





Для обоснования использования авторской конструкции при проведении расчетов, основанных на применении метода биомеханического моделирования, рассматрива-

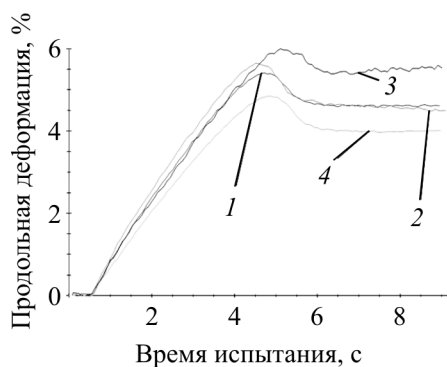
лось распределение функциональных нагрузений и величина перемещения зубов при начальной стадии пародонтита с учетом воздействия жевательной нагрузки, а также при иммобилизации зубов авторской шиной. Одной из задач биомеханического моделирования являлось определение напряжений, возникающих в зубах с периодонтом,

теле нижней челюсти и конструкции шины, полученные значения сравнивались с предельным значением прочности на разрыв конструкционного материала. По данным, представленным в табл. 2, видно, что использование шин из термопластического полимера снижает максимальные значения напряжений в конструкции и зубах.

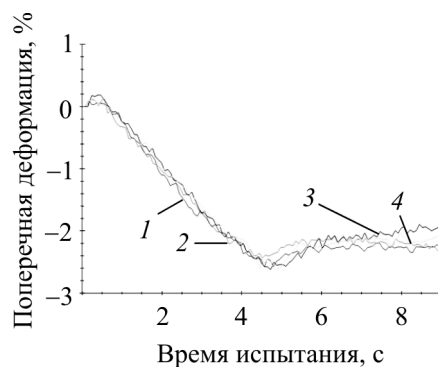
Таблица 1

Результаты механических испытаний образцов термопласта Dental D при скорости нагружения 50 мм/мин

Обозначение	$F_{\text{макс}}$ – максимальное напряжение	$\epsilon_{\text{макс}}$ – деформация при максимальном напряжении	a_0 – толщина образца	b_0 – ширина образца	S_0 – площадь поперечного сечения
	42,89	4,61	2,4	9,5	22,80
	43,90	4,47	2,3	9,5	21,85
	42,55	5,51	2,35	9,7	22,80
	42,65	4,00	2,45	9,7	23,77



а



б

Рис. 2. Диаграммы деформации образцов материала Dental D:
а – продольная; б – поперечная

Таблица 2

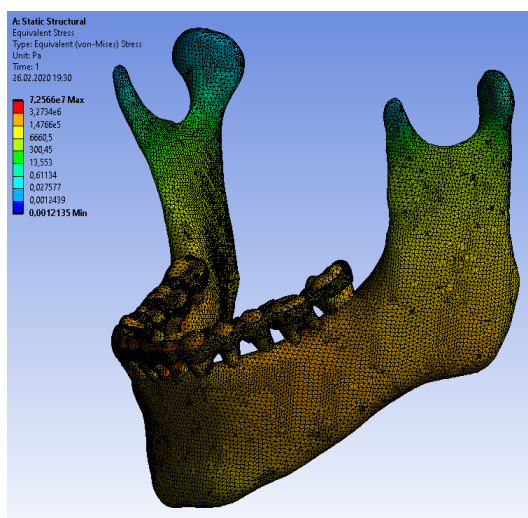
Сравнение максимальных значений напряжений, деформаций и перемещений в исследуемой области (зубы, шина (при наличии) и костная ткань)

Параметр	Максимальное значение		
	интенсивность напряжений, * 10^7 Па	интенсивность деформаций, * 10^{-3}	перемещения, * 10^{-5} м
Без шины	7,3	4,02	4,7–14,5
Dental D	7,26	4	4,4–8

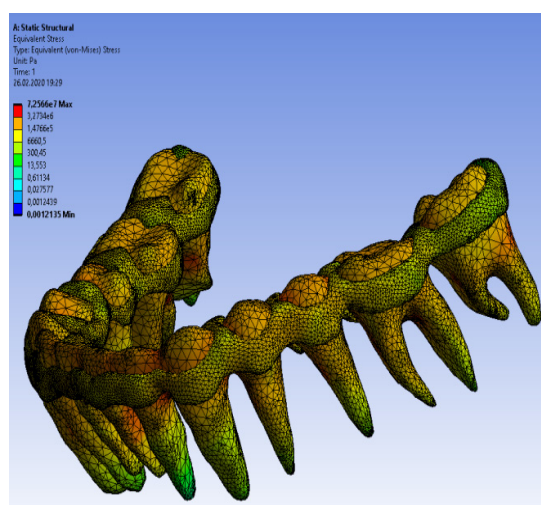
Примечание: перемещения в норме = 5–15 мкм [11].

В ходе исследования установлено, что зона максимальных напряжений в зубах располагается в области контакта с шиной в обоих случаях и равномерно распределяется по всему зубному ряду (рис. 3, а, б). Анализ полученных результатов позволяет констатировать, что использование шинирующих конструкций из термопластического материала при действии нагрузки показало себя как эффективный метод снижения подвижности зубов до физиологического уровня

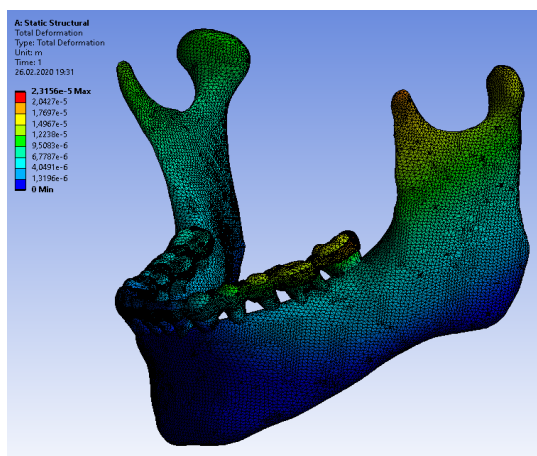
(рис. 3, в, г). Сравнение напряженного деформированного состояния в модели, состоящей из зубов, тела нижней челюсти с периодонтом и шинирующих конструкций из термопласта, показало, что величины интенсивностей напряжений в материале не превышают допустимых значений предела прочности. Это позволяет утверждать, что рассматриваемый материал можно применять в качестве конструкционного для изготовления шин при пародонтите.



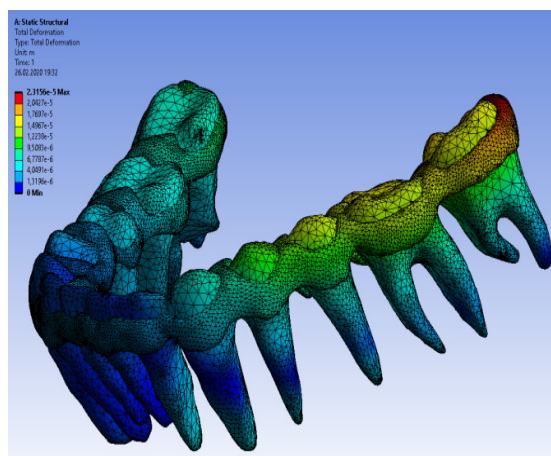
а



б



в



г

Рис. 3. Результаты биомеханического анализа в теле нижней челюсти, зубах и шинирующей конструкции: а, б – интенсивность напряжений по Мизесу; в, г – амплитуда перемещения зубов

Таблица 3

Средние значения результатов клинического обследования в динамике лечения

Показатель	До лечения	Через месяц	Через 6 месяцев	Через 12 месяцев
<i>Vam</i> , см/с	0,284 ± 0,005	0,327 ± 0,005*	0,342 ± 0,005*	0,397 ± 0,004*
<i>Qam</i> , мл/мин	0,012 ± 0,001	0,014 ± 0,001	0,016 ± 0,001*	0,018 ± 0,001*
<i>PI</i>	2,216 ± 0,008	2,209 ± 0,008	2,200 ± 0,007*	2,196 ± 0,008*
<i>RI</i>	0,840 ± 0,004	0,838 ± 0,004	0,835 ± 0,004	0,832 ± 0,003*
Периотестометрия	5,07 ± 0,22	3,92 ± 0,17*	3,19 ± 0,14*	2,42 ± 0,15*

Примечание: * – статистически значимые значения от исходного уровня, $p \leq 0,05$ по критерию Уилкоксона

Таким образом, использование шинирующей конструкции из полимерного материала Dental D позволяет перераспределить функциональную нагрузку по зубному ряду и снизить нагрузку на альвеолярную часть нижней челюсти, являющуюся опорной зоной зубов, вступивших в процесс жевания. Термопластический полимер, предложенный в качестве конструкционного материала, и тип разработанной лечебно-профилактической конструкции отвечают всем требованиям, предъявляемым к шинирующим аппаратам, и могут эффективно применяться на этапах лечения заболеваний пародонта с целью обеспечения «физиологического поведения» зубов при жевательных нагрузках (до 250 Н).

Результаты проведенной ультразвуковой доплерографии у пациентов с начальной стадией пародонтита до лечения демонстрировали умеренное изменение гемодинамики и свидетельствовали о сохранении компенсаторно-приспособительных механизмов регуляции тканевого кровотока на начальной стадии генерализованного пародонтита. Анализ результатов клинических исследований в динамике показал, что включение мероприятий по нормализации оптимальных окклюзионных взаимоотношений и перераспределению функциональных нагрузок в тканях пародонта в комплекс

традиционных лечебно-профилактических мероприятий обеспечивает уменьшение воспалительных явлений и, как результат, стойкое достоверное улучшение средних реологических показателей в ближайшие и отдаленные сроки наблюдения (табл. 3).

Результаты периотестометрии пациентов до лечения в среднем составляли $5,01 \pm 0,93$ усл. ед., что соответствовало крайним показателям физиологической подвижности зубов и компенсированному состоянию опорного аппарата зуба. Проведенное консервативное лечение привело к снятию воспалительного процесса в тканях пародонта зубов. Результатом ортопедического этапа лечения хронического генерализованного пародонтита, включающего иммобилизацию зубов авторской конструкции шины, стало уменьшение очагов остеопороза костной ткани альвеолярной части нижней челюсти и сужение периодонтальных щелей, вызванное улучшением гемодинамики тканей пародонта, что в комплексе привело к уменьшению амплитуды смещения зубов в отдаленные сроки наблюдения.

Выводы

1. Изученные свойства термопластического материала и результаты биомеханического анализа параметров разработанной

шинирующей конструкции позволили предположить, что применение полимера в качестве конструкционного для изготовления лечебно-профилактических шин и их конструкционные особенности позволяют уменьшить уровень растягивающих напряжений в тканях пародонта, сохранить подвижность зубов в пределах физиологической нормы и стабилизировать гемодинамику.

2. В ходе проведенных клинических исследований определено, что при использовании шинирующей конструкции из материала с упругопластичными свойствами при начальной стадии хронического генерализованного пародонтита происходит равномерное перераспределение функциональных нагрузжений по всему зубному ряду, плавно переходящее на костную ткань альвеолярной части нижней челюсти, а также ограничение амплитуды смещения зубов, включенных в шину, до нормальных значений вне зависимости от направления нагрузки и расположения кламмеров шинирующей конструкции.

3. Упругопрочностные характеристики и пластичность термопластического материала в разработанной конструкции соответствуют упругому поведению пародонта, сохраняя при этом автономность зубов и единство зубного ряда, что подтверждено результатами клинических методов исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнов С.Д. Фрезерованные шины для иммобилизации подвижных зубов. М.: ООО «Новик» 2015; 32.
2. Асташина, Н.Б., Казаков, С.В., Рогожникова, Е.П., Горячев, П.С. Разработка неинвазивной шинирующей конструкции как лечебно-профилактического аппарата, используемого при лечении пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом. Проблемы стоматологии 2018; 14 (1): 52–56.
3. Ортопедическая стоматология: национальное руководство. Под ред. И.Ю. Лебеденко, С.Д. Арутюнова, А.Н. Ряховского М.: ГЭОТАР-медиа 2016: 214–226.
4. Гажва С.И., Гулуев Р.С., Гажва Ю.В. Анализ механических свойств материалов для шинирования зубов при заболеваниях пародонта. Современные проблемы науки и образования 2013; 1: 4.
5. Ибрагимов Г.С. Биомеханические основы шинирования при заболеваниях пародонта. Бюллетень медицинских интернет-конференций 2016; 6 (6): 1080.
6. Караваева Е.М., Рогожников Г.И., Няшин Ю.И., Никитин В.Н. Биомеханическое моделирование применения шинирующего волокна на основе базальта при лечении пациентов с заболеваниями пародонта. Российский журнал биомеханики 2015; 1; 106–115.
7. Трегубов И.Д. Сравнительная характеристика базисных материалов при изготовлении шинирующих конструкций. Научный альманах 2017; 3: 371–374.
8. Лохов В.А., Кучумов А.Г., Мерзляков А.Ф., Асташина Н.Б., Ожгихина Е.С., Тропин В.А. Экспериментальное исследование материалов новой конструкции спортивной зубной шины. Российский журнал биомеханики 2015; 4: 409–420.
9. Наумович С.С., Наумович С.А. Современные возможности и практическое применение математического моделирования в стоматологии. Современная стоматология 2011; 1: 38–42.
10. Асташина Н.Б., Казаков С.В., Рогожникова Е.П., Мартюшева М.В. Назубная

шина. Патент РФ на изобретение RU 183187 U1. 2018.

11. Тимофеев А.А., Ушко Н.А., Ярифа М.А., Фесенко Е.И. Показатели периотестометрии зубов у здоровых людей. Современная стоматология 2016; 3: 71–73

REFERENCES

1. Arutyunov S.D. Milled bus for the immobilization of mobile teeth. Moscow.: OOO "Novik" 2015; 32 (in Russian).

2. Astashina N.B., Kazakov S.V., Rogozhnikova E.P., Goryachev P.S. Development of non-invasive splinting designs as therapeutic and preventive apparatus used in the treatment of patients with chronic generalized periodontitis. *Actual problems of dentistry* 2018; 14 (1): 52–56 (in Russian).

3. Orthopaedic dentistry. National Guide. Ed. I.Yu. Lebedenko, S.D. Arutyunova, A.N. Ryakhovsky Moscow.: GEOTAR-media 2016: 214–226 (in Russian).

4. Gazhva S.I., Guluev R.S., Gazhva Yu.V. Analysis of mechanical properties of materials for splinting teeth in periodontal diseases. *Modern problems of science and education* 2013; 1: 4 (in Russian).

5. Ibragimov G.S. Biomechanical bases of splinting in periodontal diseases. *Bulletin of medical Internet conferences* 2016; 6 (6): 1080 (in Russian).

6. Karavaeva E.M., Rogozhnikov G.I., Nyashin Yu.I., Nikitin V.N. Biomechanical modeling of the use of basalt-based splinting fiber in

the treatment of patients with periodontal diseases. *Russian Journal of Biomechanics* 2015; 1: 106–115 (in Russian).

7. Tregubov I.D. Comparative characteristics of basic materials in the manufacture of splinting structures. *Scientific Almanac* 2017; 3: 371–374 (in Russian).

8. Lokbov V.A., Kuchumov A.G., Merzlyakov A.F., Astashina N.B., Ozhgikhina E.S., Tropin V.A. Experimental study of materials of a new construction of a sports dental splint. *Russian Journal of Biomechanics* 2015; 4: 409–420 (in Russian).

9. Naumovich S.S., Naumovich S.A. Modern possibilities and practical application of mathematical modeling in dentistry. *Modern dentistry* 2011; 1: 38–42 (in Russian).

10. Timofeev A.A., Ushko N.A., Yarif M.A., Fesenko E.I. Indicators of dental periostometry in healthy people. *Modern dentistry* 2016; 3: 71–73 (in Russian).

11. Astashina N.B., Kazakov S.V., Rogozhnikova E.P., Martyusheva M.V. Dental splint. Patent of the Russian Federation for the invention RU 183187 U1. 2018 (in Russian).

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90147.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Материал поступил в редакцию 25.05.2021