

УДК 616.716.1-007.1-089.23-07

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТЕЗА-ОБТУРАТОРА У ПАЦИЕНТОВ С ДЕФЕКТАМИ ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

<sup>1</sup>Шулятникова О. А., <sup>2</sup>Никитин В. Н.

*ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет  
им. акад. Е. А. Вагнера» Министерства здравоохранения России,*

*<sup>1</sup> кафедра ортопедической стоматологии,  
<sup>2</sup> кафедра медицинской физики и информатики,  
г. Пермь, Российская Федерация*

**Введение.** В статье представлено биомеханическое обоснование применения протезов-обтураторов верхней челюсти, изготовленных из термопластичного материала Vertex ThermoSens, армированного функциональным наноразмерным диоксидом титана, у пациентов онкостоматологического и челюстно-лицевого хирургического профиля.

**Цель работы** — биомеханический анализ модели пострезекционного протеза-обтуратора на верхнюю челюсть из полиамидного конструкционного материала, армированного наноразмерным диоксидом титана.

**Объекты и методы.** Проведено биомеханическое моделирование напряженно-деформированного состояния ортопедической конструкции с оценкой распределения функциональных нагрузок в области протезного ложа и опорных зубов.

**Результаты** исследования показали соответствие прочностных характеристик материала требованиям международного стандарта ISO 1567:1999, а также выявили снижение концентрации напряжений при использовании опорно-удерживающих элементов из аналогичного армированного термопластичного материала. Это имеет особое клиническое значение при медицинской реабилитации пациентов после резекционных вмешательств на верхней челюсти, сопровождающихся нарушением анатомии и снижением компенсаторных возможностей челюстно-лицевой области.

**Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения армированных термопластичных протезов-обтураторов в комплексной ортопедической реабилитации пациентов после онкологических операций, позволяя повысить стабильность конструкций, снизить травматизацию тканей и улучшить функциональные результаты лечения.

**Ключевые слова:** стоматология ортопедическая; лечение; верхняя челюсть; протез-обтуратор; диоксид титана; базисный материал.

## BIOMECHANICAL ASPECTS OF USING AN OBTURATOR PROSTHESIS IN PATIENTS WITH MAXILLARY DEFECTS

<sup>1</sup>*Shuliatnikova O. A.*, <sup>2</sup>*Nikitin V. N.*

*Perm State Medical University named by E. A. Wagner,*

<sup>1</sup> *Department of Orthopedic Dentistry,*

<sup>2</sup> *Department of Medical Physics and Computer Science,  
Perm, Russian Federation*

**Introduction.** The article presents a biomechanical justification for the use of upper jaw obturator prostheses made of thermoplastic Vertex ThermoSens reinforced with functional nanoscale titanium dioxide in patients with oncostomatological and maxillofacial surgery.

**Aim.** Biomechanical analysis of a model of a post-resection upper jaw obturator prosthesis made of polyamide structural material reinforced with nanoscale titanium dioxide.

**Objects and methods.** Biomechanical modeling of the stress-strain state of an orthopedic structure was performed with an assessment of the distribution of functional loads in the area of the prosthetic bed and supporting teeth.

**Results.** The results of the study showed that the strength characteristics of the material comply with the requirements of international standard ISO 1567:1999, and also revealed a decrease in stress concentration when using support and retaining elements made of a similar reinforced thermoplastic material. This is of particular clinical importance in the rehabilitation of patients after resection procedures on the upper jaw, accompanied by anatomical disorders and reduced compensatory capabilities of the maxillofacial region.

**Conclusion.** The data obtained indicate the expediency of using reinforced thermoplastic obturator prostheses in the complex orthopedic rehabilitation of patients after oncological operations, allowing to increase the stability of structures, reduce tissue injury and improve the functional results of treatment.

**Keywords:** orthopedic dentistry; treatment; upper jaw; obturator prosthesis; titanium dioxide; base material.

**Введение.** Прогресс в области материаловедения привел к созданию высокофункциональных конструкционных материалов, которые находят все большее применение и в ортопедической стоматологии. Так, в последнее десятилетие большое внимание приковано к наноструктурированным керамикам на основе диоксида циркония [1], которое, в свою очередь обеспечило интерес к керамике на основе диоксида титана [2], имеющих близкие параметры биомеханических свойств. При этом проведенные ранее исследования свидетельствуют о том, что, введение в состав полимерного материала наноструктурированного диоксида титана (ДТ) приводит к увеличению предела прочности полимера на 30 % [3, 4]. Данный факт имеет особое значение при изготовлении съемных конструкций зубных протезов пациентам с дефектами челюстно-лицевой области [5], особенно на верхней челюсти с наличием oro-назального сообщения. Как правило, в подобных ситуациях протез-обтуратор имеет расширенные границы и, как следствие, увеличение веса, приводя к ухудшению фиксации, стабилизации конструкции и перегрузке оставшихся зубов. В связи

с этим, особую важность приобретает использование легких, функциональных, эстетичных конструкционных биоматериалов с достаточными параметрами прочности, а применение оригинальной конструкции зубного протеза и обоснование его с позиций биомеханики является залогом достижения структурно-функциональной полноценности ортопедического лечения.

**Цель работы** — биомеханический анализ модели пострезекционного протеза-обтуратора на верхнюю челюсть из полиамидного конструкционного материала, армированного наноразмерным диоксидом титана.

**Объекты и методы.** По совокупности физико-механических характеристик, внимание привлек термопластичный полиамид Vertex ThermoSens (Vertex-Dental B.V., Нидерланды). Отсутствие остаточного мономера, минимальная усадка, высокая плотность в сочетании с малым удельным весом ( $1,04 \text{ г/см}^3$ ), отсутствие металлических конструкционных элементов, предполагают ряд преимуществ при изготовлении зубочелюстных протезов. Кроме того, возможность применения денто-альвеолярных кламмеров из этого же материала позволяет снизить нагрузку на зубы здоровой половины челюсти и уменьшить вес протеза. Для улучшения прочностных характеристик полиамида, в его состав на этапе термопрессования было предложено введение наноразмерного порошка ДТ в качестве армирующего компонента (патент РФ на полезную модель № 172668 от 18.07.2017; патент на изобретение РФ № 2631050 от 15.09.2017).

Для обеспечения доказательной базы преимущества и рациональности предложенной конструкции проведен биомеханический расчет прочности элементов протеза. В качестве исследуемой области брали фрагмент протеза-обтуратора, а на границах области задавали пределы перемещений и нагрузок. Биомеханическая модель была построена при следующих допущениях: 1) материалы протеза однородны и изотропны; 2) среда сплошная, начальные напряжения отсутствуют; 3) небная часть жестко закреплена со стороны верхней челюсти; 4) к зубной части приложена распределенная нагрузка. Использована классическая постановка задачи механики упругого изотропного тела, состоящая из уравнений равновесия, геометрических соотношений Коши и закона Гука. Для исследования биомеханики протеза-обтуратора применяли метод математического моделирования. Построение расчетной конечно-элементной модели включало выполнение следующих этапов: определение механических свойств материалов; построение геометрической модели; создание конечно-элементной сетки; задание граничных условий (условий закрепления, силовых воздействий). Модель включала в себя конструкцию протеза, разделенную на две части: зубную и небную.

Для исследования механических свойств образцов модифицированного полиамидного материала наноразмерным ДТ проведены испытания на трехточечный изгиб на электромеханической системе Instron 5965 с максимальным развиваемым усилием 5кН. В результате испытаний были получены зависимости сила-прогиб и в дальнейшем был осуществлен переход к зависимостям напряжения-деформации. Определены модуль Юнга и максимальные напряжения.

Анализируя полученные данные отмечено, что введение в состав полиамида наноразмерного диоксида титана приводит к увеличению максимальных напряжений и модуля Юнга на 8,4 % и на 7,2 % соответственно. Механические свойства сравнивали с таковыми параметрами акриловой пластмассы, взятыми из справочной литературы [6].

Для создания трехмерной (3D) модели твердого тела с помощью 3D-сканера Artec Eva была получена серия обработанных для расчетов снимков протеза. Построение конечно-элементной трехмерной модели на основе CAD-модели и ее анализ производили с помощью специализированного программного пакета ANSYS Workbench (Ansys, USA). Расчеты были произведены методом конечных элементов с описанными выше структурой протеза, нагрузками и свойствами. Напряжения сжатия и растяжения, сдвиговые напряжения объединяли и анализировали как одноосный составной эквивалент напряжения Мизеса.

**Результаты.** Анализ биомеханических расчетов показал, что максимальное перемещение протеза было достаточно стабильным, составив 0,37 мм. При интерпретации эффективных напряжений отмечены следующие закономерности: наиболее опасная область возникает на дуге, замещающей костную ткань верхней челюсти, где максимальные напряжения составили 80 МПа. Тем не менее, уровень максимальных напряжений, полученных в данной работе, находился в пределах условий прочности армированного диоксидом титана полиамида. В целом деформации и напряжения соответствовали физически предполагаемому представлению напряженно-деформированного состояния протеза-обтуратора.

**Заключение.** Результаты биомеханического моделирования протеза-обтуратора верхней челюсти, изготовленного из термопластичного материала Vertex ThermoSens, армированного функциональным наноразмерным ДТ, подтверждают его соответствие требованиям ГОСТ 31572–2012 и ISO 1567:1999, а также достаточный уровень прочности и деформационной устойчивости в условиях функциональных нагрузок.

Клинически значимым является установленное снижение концентрации напряжений в области опорных зубов и протезного ложа при использовании опорно-удерживающих элементов из аналогичного армированного материала, что особенно важно у пациентов после резекционных вмешательств на верхней челюсти, включая онкологические операции. Равномерное распределение нагрузок способствует уменьшению травматизации ослабленных тканей, снижению риска перегрузки опорных зубов и повышению стабильности ортопедической конструкции в условиях измененной анатомии и сниженных компенсаторных возможностей челюстно-лицевой области.

Применение армированных термопластичных материалов в конструкции протезов-обтураторов может рассматриваться как обоснованное и перспективное направление комплексной реабилитации пациентов челюстно-лицевого

хирургического и онкостоматологического профиля, направленное на улучшение функциональных результатов, повышение надежности протезирования и качества жизни пациентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Применение* цифровых технологий для изготовления диоксидциркониевых зубных протезов с учетом индивидуальных параметров зубочелюстной системы пациента / А. Г. Рогожников [и др.] // Российский стоматологический журнал. – 2015. – № 1. – С. 46–51.
2. *Study of a nanostructured anatase coating on the rutile surface* / S. E. Porozova [et al.] // Russian J. Non-ferrous Metals. – 2019. – Vol. 60, N 2. – P. 194–199. doi: 10.3103/S1067821219020093.
3. *Лукьянов, С. И.* Температурная зависимость модуля Юнга нанотрубок на основе диоксида титана TiO<sub>2</sub>: молекулярно-механическое моделирование / С. И. Лукьянов, А. В. Бандура, Р. А. Эварестов // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 57, № 12. – С. 2391–2399.
4. *Функциональные возможности керамических наноструктур, используемых для армирования полимерных конструкционных материалов стоматологического назначения* / Г. И. Рогожников [и др.] // Пермский медицинский журнал. – 2023. – Т. 40, № 5. – С. 80–90. doi: 10.17816/pmj40580-89.
5. *Зотов, А. И.* Базисные полимеры, применяемые в стоматологии для изготовления съёмных пластиночных протезов и аппаратов / А. И. Зотов, Д. Н. Демченко // Молодой ученый. – 2015. – Т. 93, № 13. – С. 270–274.

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
КОМИТЕТ ПО ЗДРАВООХРАНЕНИЮ МИНГОРИСПОЛКОМА  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
КАФЕДРА ХИРУРГИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ  
ОО «АССОЦИАЦИЯ ОРАЛЬНЫХ И ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВЫХ ХИРУРГОВ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВОПРОСЫ  
ХИРУРГИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ  
И ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ, ИННОВАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ И МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ РЕШЕНИЯ**

Материалы юбилейного X Национального конгресса  
с международным участием «Паринские чтения 2026»

*(Минск, 7–8 мая 2026 года)*



Минск БГМУ 2026

ISBN 978-985-21-2235-1

© УО «Белорусский государственный  
медицинский университет», 2026