

DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2017.3.01

УДК 531/534: [57+61]

## **БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КЛАММЕРНОЙ СИСТЕМЫ ФИКСАЦИИ ПРОТЕЗА-ОБТУРАТОРА**

**О.А. Шулятникова<sup>1</sup>, Г.И. Рогожников<sup>1</sup>, Л.Е. Леонова<sup>2</sup>,  
В.А. Лохов<sup>3</sup>, А.Ф. Шулятьев<sup>3</sup>, Л.А. Мозговая<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Кафедра ортопедической стоматологии Пермского государственного медицинского университета им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, 614000, Пермь, ул. Петропавловская, 26, e-mail: anasko06@mail.ru

<sup>2</sup> Кафедра стоматологии факультета дополнительного профессионального образования Пермского государственного медицинского университета им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, 614000, Пермь, ул. Петропавловская, 26, e-mail: anasko06@mail.ru

<sup>3</sup> Кафедра теоретической механики и биомеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета, Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, e-mail: shulyatev.af@gmail.com

<sup>4</sup> Кафедра терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний Пермского государственного медицинского университета им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, 614000, Пермь, ул. Петропавловская, 26, e-mail: anasko06@mail.ru

**Аннотация.** Рост уровня травматизма с повреждением челюстно-лицевой области и количества больных с наличием новообразований челюстных костей приводит к развитию стойких эстетико-функциональных нарушений, тяжесть которых определяется объемом дефекта. Наибольшую трудность при ортопедическом лечении представляют приобретенные дефекты верхней челюсти с наличием ороназальное сообщения, когда приходится решать вопросы фиксации протеза, восполнения функциональной и эстетической целостности зубочелюстной системы, создания герметизма на границе сообщения полости рта с полостью носа. Статья посвящена биомеханическому анализу напряженно-деформированного состояния в зубочелюстной системе человека, вызванного установкой протеза-обтуратора. Предложено изготавливать протез из полиамидного материала Vertex ThermoSens с добавлением наноразмерного диоксида титана в количестве до 1 мас. %. Особое внимание уделено оценке влияния окклюзионной накладке кламмера на распределение напряжений в зубе при действии максимальных окклюзионных нагрузок. Расчеты проведены на основе линейной теории упругости для изотропного тела. Геометрия расчетной области построена на основе 3D-сканирования протеза-обтуратора. В результате расчетов дано обоснование кламмерной системы фиксации протеза-обтуратора с использованием данного материала, выполненной по типу опорно-удерживающего кламмера. Полученные напряжения были меньше, чем максимально допустимые напряжения в материале. На границе зуб–плечо кламмера также не было зафиксировано критических напряжений.

**Ключевые слова:** протез-обтуратор, кламмер, метод конечных элементов.

---

© Шулятникова О.А., Рогожников Г.И., Леонова Л.Е., Лохов В.А., Шулятьев А.Ф., Мозговая Л.А., 2017  
Шулятникова Оксана Александровна, к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Пермь  
Рогожников Геннадий Иванович, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии, Пермь

Леонова Людмила Евгеньевна, д.м.н., профессор, заслуженный врач РФ, заведующая кафедрой стоматологии факультета дополнительного профессионального образования, Пермь

Лохов Валерий Александрович, к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической механики и биомеханики, Пермь

Шулятьев Андрей Федорович, аспирант кафедры теоретической механики и биомеханики, Пермь

Мозговая Людмила Александровна, д.м.н., профессор кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, Пермь

## ВВЕДЕНИЕ

Неуклонно растущий уровень новообразований челюстно-лицевой области обуславливает актуальность проблемы лечения и реабилитации пациентов с приобретенными дефектами челюстных костей [3, 12]. При этом более чем в половине случаев возникающие эстетико-функциональные нарушения требуют стоматологической реабилитации пациентов [2, 11]. Определенную трудность на ортопедическом этапе лечения имеют дефекты с нарушением целостности верхней челюсти, особенно при наличии ороназального сообщения [6] (рис. 1, 2).

За период 2013–2016 гг. сотрудниками кафедры ортопедической стоматологии на базе стоматологической клиники ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера (гл. врач – О.В. Поздеева) проведен анализ структуры пациентов, обратившихся за помощью по поводу приобретенных дефектов и деформаций челюстно-лицевой области. При этом повреждения верхней челюсти составили 13,5% от общего количества обратившихся пациентов. Оказание ортопедической помощи данной категории пациентов требует решения следующих задач: восполнение эстетических и функциональных параметров; решение вопроса о прочностных характеристиках конструкционного материала и способе фиксации сложночелюстного протеза.

При наличии ороназального сообщения возникает дополнительная задача: создание достаточного герметизма на границе сообщения полости рта и полости носа [4].

По мнению авторов, наиболее полно с представленными задачами справляется группа полиамидных материалов, а именно *Vertex ThermoSens (Vertex-Dental B.V., Нидерланды; ISO-сертификат 9001:2008)*, обладающих рядом привлекательных свойств. Предварительно проведенные нами исследования свидетельствуют об увеличении прочностных характеристик данного конструкционного материала при введении в его состав наноразмерного диоксида титана в количестве до 1 мас.%, а также ингибирующих свойств образования микробной пленки на поверхности модифицированного конструкционного материала [7, 10, 13]. Было интересно обосновать его использование для изготовления протезов-обтураторов с позиций биомеханического моделирования [9]. В связи с тем что традиционно используемые гнутые кламмеры имеют ряд общеизвестных недостатков [8], особый интерес представляет обоснование кламмерной системы фиксации с использованием данного базисного материала с введенным в состав наноразмерным диоксидом титана и выполненной по типу опорно-удерживающего кламмера.



Рис. 1. Дефект верхней челюсти



Рис. 2. Протез-обтуратор

Таким образом, целью данного исследования явилась оценка влияния окклюзионной накладке кламмера на распределение напряжений в зубе под действием максимальных окклюзионных нагрузок.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной задаче рассмотрен опорно-удерживающий кламмер в протезе-обтураторе из полимерного материала *Vertex ThermoSens* с добавлением наноразмерного диоксида титана  $TiO_2$  (см. рис. 2). Статическая окклюзионная нагрузка применялась к двум моделям: в одном случае с окклюзионной накладкой, в другом – без нее (рис. 3).

Использована классическая постановка задачи механики упругого изотропного тела, состоящая из уравнений равновесия, геометрических соотношений Коши и закона Гука:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} = 0, \mathbf{r} \in V, \quad (1)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \Delta \mathbf{u}^T), \mathbf{r} \in \bar{V}, \quad (2)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}, \mathbf{r} \in \bar{V}, \quad (3)$$

где  $V$  – область пространства, занятая телом,  $\bar{V} = V \cup S$  ( $S$  – граница тела);  $\boldsymbol{\sigma}$  – симметричный тензор напряжений;  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор точки;  $\boldsymbol{\varepsilon}$  – тензор малой деформации;  $\mathbf{u}$  – вектор перемещений;  $\mathbf{C}$  – тензор четвертого ранга упругих модулей.

Граничные условия схематично показаны на рис. 3. Граница  $S_\sigma$  подвержена сосредоточенной нагрузке  $\mathbf{F}$ , действующей вдоль вертикальной оси. Нижняя часть зуба и протеза  $S_u$  была закреплена во всех направлениях.

$$\mathbf{n} \cdot \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{F}, \mathbf{r} \in S_\sigma, \quad (4)$$

$$\mathbf{u} = 0, \mathbf{r} \in S_u. \quad (5)$$



Рис. 3. Схема граничных условий: *a* – без окклюзионной накладке; *б* – с применением окклюзионной накладке

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Построение конечно-элементной трехмерной модели на основе *CAD*-модели и ее анализ производились с помощью специализированного программного пакета *ANSYS Workbench*. Для построения трехмерной модели была использована модель протеза-обтуратора с отсечением не влияющих на расчет частей. В модель был добавлен компонент – зуб (рис. 4).

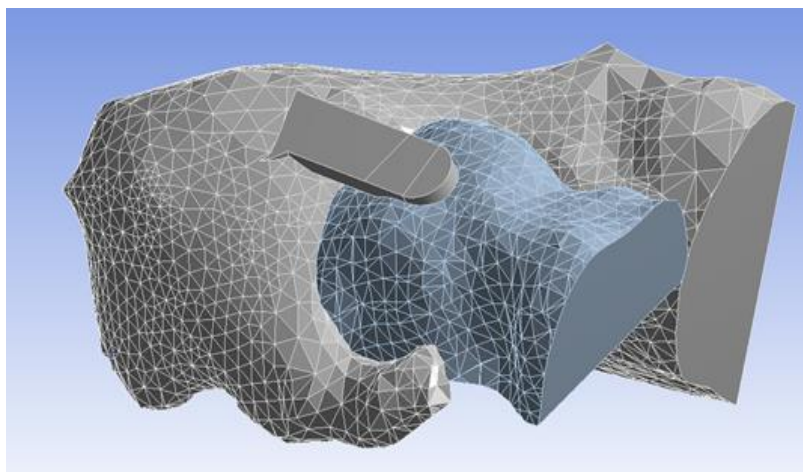


Рис. 4. Трехмерная модель

Основным фактором, влияющим на напряженно-деформированное состояние, является вертикальная окклюзионная нагрузка [7]. В модели с использованием окклюзионной накладки нагрузка прикладывалась непосредственно на ее поверхность.

Во втором варианте использовалась нагрузка, которая распределялась на определенную ограниченную область зуба. Значение усилия использовалось из литературных данных и составило 720 Н [1].

Модель была разбита на конечные элементы. Количество элементов и узлов представлено в табл. 1.

Материалы считаются изотропными. Материал для протеза был выбран *Vertex ThermoSens* с добавлением наноразмерного диоксида титана  $TiO_2$ . Исследовались материалы с соответствующими величинами модуля Юнга  $E$  и коэффициента Пуассона  $\mu$  (табл. 2).

Таблица 1

#### Количество узлов и элементов

Компонент	Количество элементов	Количество узлов
Зубы	10 360	18 366
Протезная часть	18 831	32 730

Таблица 2

#### Механические свойства

Компонент	Модуль Юнга $E$ , МПа	Коэффициент Пуассона $\mu$
Зубы	47 600	0,27
Протезная часть	1100	0,3

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Напряжения сжатия и растяжения, сдвиговые напряжения объединялись и анализировались как скалярное эквивалентное напряжение Мизеса, или интенсивность напряжений. На рис. 5 представлена интенсивность напряжений, возникающих в зубе после нагрузки.

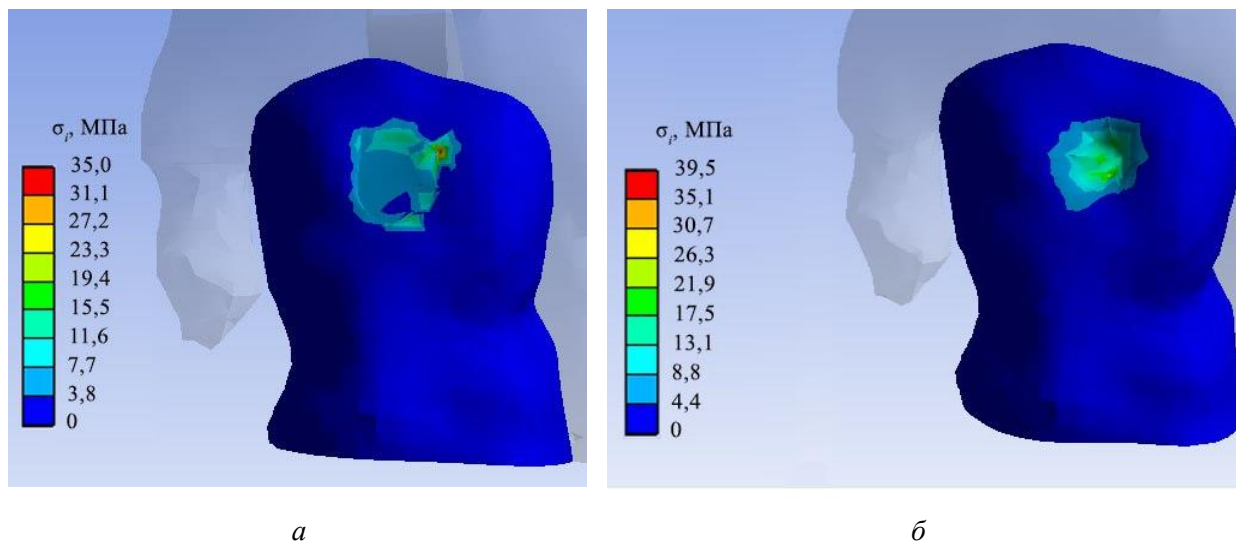


Рис. 5. Поле эквивалентных напряжений в зубе: *а* – с окклюзионной накладкой; *б* – без окклюзионной накладки

Максимальные напряжения в конструкции с окклюзионной нагрузкой были определены в зоне контакта с накладкой и равны 35 МПа. Для модели без накладки эквивалентные напряжения составили 39 МПа. Окклюзионная накладка позволяет снизить напряжения в зубе на 11 %, что является более физиологичным при окклюзионной нагрузке и щадящим при наличии дефекта костной ткани верхней челюсти. Если рассмотреть напряжения в самой окклюзионной накладке, то они составили 6 МПа. Данные напряжения меньше, чем максимально допустимые, т.е. выполняется условие прочности. На границе «зуб – плечо кламмера» также не было замечено критических напряжений. Уровень поля напряжений соответствует уже проведенным исследованиям нагружения зуба окклюзионными нагрузками [14–16].

Максимальные деформации определены в области нагрузки и равны 0,001, что говорит о достаточной стабильности и хорошей фиксации конструкции.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием конечно-элементного анализа в этом исследовании было оценено распределение напряжений на поверхности зуба под действием окклюзионной нагрузки. Рассматривалось воздействие на зуб через окклюзионную накладку и прямое воздействие. На основе экспериментальных условий можно сделать следующие выводы: использование полиамидного материала *Vertex ThermoSens* с введенным в состав наноразмерным диоксидом титана показало положительные прочностные характеристики базисного конструкционного материала, которые соответствуют требованиям ГОСТ 31572-2012 «Материалы полимерные для базисных зубных протезов. Технические требования. Методы испытаний» и международному стандарту *ISO 1567:1999 Dentistry – Denture base polymers* (Стоматология. Полимеры для базисов зубных протезов); окклюзионная накладка уменьшает распределение напряжений в зубе, не нарушая фиксацию и стабилизацию протеза, не подвержена разрушению при повышенных нагрузках. Дополнительно к проведенным биомеханическим расчетам имеется практическая возможность изготовления прочного, облегченного и эстетичного сложночелюстного протеза без металлических частей в конструкции, не препятствующего, при необходимости, проведению лучевой терапии у пациентов с онкологическими заболеваниями и способствующего скорейшей социальной адаптации

пациентов, что в конечном счете улучшает качество лечения пациентов с приобретенными дефектами верхней челюсти на ортопедическом этапе в комплексном специализированном лечении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетельман А.И. Ортопедическая стоматология. – М.: Медицина, 1965. – 411 с.
2. Кислых Ф.И., Рогожников Г.И., Кацнельсон М.Д., Асташина Н.Б., Комлев В.В. Лечение больных с дефектами челюстных костей. – М.: Медицинская книга, 2006. – 196 с.
3. Копецкий И.С. Огнестрельные ранения челюстно-лицевой области мирного времени // Вестник РГМУ. – 2012. – № 1. – С. 12–15.
4. Летагина Р.А., Шулятникова О.А. Ортопедическая реабилитация пациентов после удаления части верхней челюсти по поводу новообразования // Материалы XIX Международной научной конференции «Онкология – XXI век», V Итало-российской научной конференции по онкологии и эндокринной хирургии, XIX Международной научной конференции «Здоровье нации – XXI век», 28 апреля – 3 мая 2015 г. – Светлогорск, 2015. – С. 194–199.
5. Лукьянов С.И., Бандура А.В., Эварестов Р.А. Температурная зависимость модуля Юнга нанотрубок на основе диоксида титана  $TiO_2$ : молекулярно-механическое моделирование // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 57, № 12. – С. 2391–2399.
6. Рогожников Г.И., Летагина Р.А., Шулятникова О.А., Мозговая С.В., Мартюшева М.В., Уразова И.В. Комплексное специализированное лечение больных с дефектами челюстно-лицевой области // Материалы XVIII Международной научной конференции «Онкология – XXI век», IV Итало-российско-бельгийской научной конференции по онкологии и эндокринной хирургии, XVIII Международной научной конференции «Здоровье нации – XXI век», 26 апреля – 3 мая 2014 г. – Брюссель, 2014. – С. 152–156.
7. Рогожников Г.И., Шулятникова О.А., Коробов В.П., Лемкина Л.М. Экспериментально-лабораторное исследование образования микробной пленки *Staphylococcus epidermidis* 33 на полимерном стоматологическом конструкционном материале с введенным в состав наноразмерным диоксидом титана // Проблемы стоматологии. – 2017. – № 1. – С. 41–45.
8. Шемонаев В.И., Столярчук А.С., Кузнецова Е.В., Трудов А.Ф. Анализ микротвердости гнutoго проволочного кламмера в зависимости от технологии его обработки // Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2010. – № 1. – С. 45–47.
9. Шулятникова О.А., Рогожников Г.И., Лохов В.А., Шулятьев А.Ф. Биомеханический анализ пострезекционного протеза-обтуратора, изготовленного из полиамида, армированного наноструктурированным диоксидом титана // Российский журнал биомеханики. – 2016. – Т. 20, № 4. – С. 326–332.
10. Шулятникова О.А., Рогожников Г.И., Порозова С.Е., Рогожников А.Г., Белоногов Н.С., Биккулова А.В. Экспериментальное исследование физико-механических характеристик полимерного базисного материала при введении в его состав наноструктурированного диоксида титана // Проблемы стоматологии. – 2017. – № 1. – С. 46–50.
11. Шулятникова О.А. Оптимизация ортопедического этапа лечения в комплексной специализированной помощи пациентам с дефектами челюстно-лицевой области // Российский стоматологический журнал. – 2016. – № 2. – С. 94–98.
12. Шулятникова О.А., Рогожников Г.И., Осипова О.О. Анализ ортопедического этапа лечения пациентов с переломами, приобретенными дефектами и деформациями челюстно-лицевой области в комплексной специализированной помощи // Сборник статей XXI Международной научной конференции «Онкология – XXI век», XXI Международной научной конференции «Здоровье нации – XXI век», VII Итало-российской конференции по онкологии и эндокринной хирургии, 6–12 мая 2017 года. – Тбилиси, 2017. – С. 202–206.
13. Шулятникова О.А., Рогожников Г.И., Порозова С.Е., Лохов В.А., Олесова В.Н., Гуров А.А. Пострезекционный протез-обтуратор для верхней челюсти. Формула полезной модели; заявка № 2016139173 от 05.10.2016 г.; опублик.: 18.07.2017. – Бюл. № 20.
14. Akay C., Yalug S. Biomechanical 3-dimensional finite element analysis of obturator prostheses retained with zygomatic and dental implants in maxillary defects // Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research. – 2015. – Vol. 21. – P. 604–611. DOI: 10.12659/MSM.892680
15. Hase H., Shinya A., Yokoyama D., Shinya A., Takahashi Y. Three-dimensional finite element analysis of Aramany Class IV obturator prosthesis with different clasp designs // Dental Materials Journal. – 2014. – Vol. 33, № 3. – P. 383–388.

16. Wang M., Qu X., Cao M., Wang D., Zhang C. Biomechanical three-dimensional finite element analysis of prostheses retained with/without zygoma implants in maxillectomy patients // Journal of Biomechanics. – 2013. – Vol. 46. – P. 1155–1161.

## **BIOMECHANICAL ANALYSIS OF CLAMPING SYSTEM FOR FIXATION OF PROSTHESIS-OBTURATOR**

**O.A. Shulyatnikova, G.I. Rogozhnikov, L.E. Leonova, V.A. Lokhov,  
A.F. Shulyatyev, L.A. Mozgovaya (Perm, Russia)**

The increase of the level of injuries with damage in the maxillofacial region and the number of patients with jaw bone formation leads to the development of persistent esthetic and functional disorders. The severity of these disorders is determined by the volume of the defect. The greatest difficulty in orthopedic treatment is acquired defects of the upper jaw with the presence of oronasal compound. In this case, it is necessary to solve the problems of fixing the prosthesis, substitution of the functional and esthetic integrity of the maxillofacial system, creation of hermeticism at the border of connection of the oral cavity with the nasal cavity. Paper deals with biomechanical analysis of stress-strain state in the human dentofacial system induced by prosthesis-obturator installation. Prosthesis is made from suggested polyamide material Vertex ThermoSens with inclusion of nanostructured titanium dioxide up to one percent of mass. Main attention is paid to influence of clasper occlusion plate on stress distribution in the tooth at the maximal occlusion loads. Computations are conducted in the frame of linear theory of elasticity for isotropic body. The computer-aided design model is constructed based on 3D-scanning of the prosthesis-obturator. As a result of calculations, a substantiation of the clamping system for fixing the prosthesis-obturator with the use of suggested material and a type of supporting-retaining clamp is given. The obtained stresses are less than the maximum permissible stresses in the material. At the border of the tooth-clasper arm, there are also no critical stresses.

**Key words:** prosthesis-obturator, clasper, finite element method.

*Получено 12 апреля 2017*