

**Д. В. Верстаков, Т. Ф. Данилина, В. П. Багмутов,  
Д. В. Михальченко, А. В. Шмаков**

Волгоградский государственный медицинский университет,  
кафедра ортопедической стоматологии

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «МОСТОВИДНЫЙ ПРОТЕЗ – ОПОРНЫЙ ЗУБ» У ПАЦИЕНТОВ С НИЗКОЙ КОРОНКОЙ ОПОРНЫХ ЗУБОВ**

УДК 616.314-089.23

---

На основе разработанного структурного биомеханического подхода сформирована система математических выражений для определения внутренних усилий и напряжений в несъемном мостовидном протезе и периодонте опорного зуба. Полученные результаты сравнительного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) биомеханической системы «мостовидный протез – опорный зуб», с учетом характеристик жесткости периодонта, позволят на этапе диагностики прогнозировать результаты лечения, осуществлять оптимальный выбор метода лечения для повышения ретенции ортопедической конструкции при низкой коронке опорного зуба.

*Ключевые слова:* биомеханика, напряжения, деформации, периодонт, низкая коронка опорного зуба.

---

**D. V. Verstakov, T. F. Danilina, V. P. Bagmutov,  
D. V. Mikhailchenko, A. M. Shmakov**

## **BIOMECHANICAL STUDY OF DENTAL FIXED BRIDGE-ABUTMENT CONNECTION IN PATIENTS WITH LOW-CROWN ABUTMENT TEETH**

Using a structural biomechanical approach, a system of mathematical equations for calculating internal and tension forces in a dental fixed bridge and in the periodontal membrane of the abutment tooth has been suggested. The results of the comparative analysis of the intensely deformed dental fixed bridge-abutment connection, taking into account stiffness characteristics of the periodontal membrane, will enable us to predict clinical outcomes at an early stage, and make the best treatment choice to improve orthopedic device retention in patients with low-crown abutment teeth.

*Keywords:* biomechanics, stress, strain, periodontal, low crown abutment.

---

В настоящее время наиболее полную информацию о закономерностях передачи нагрузок в зубочелюстной системе можно получить с помощью математического моделирования. На основе изучения физических характеристик объекта исследования создают модель, представляющую собой систему уравнений, которые описывают форму, особенности строения зуба и окружающих его тканей [1, 2].

Метод конечных элементов позволяет определить напряженно-деформированное состояние элементов и узлов конструкций с учетом их реальных геометрических размеров и формы, условий нагружения и закрепления, физико-математических свойств материалов, используемых в данной конструкции [6]. Однако без учета биомеханических характеристик, анализа напряжений и деформаций в системе «ортопедическая конструкция – опорный элемент» не представляется достаточно обоснованным определять конструктивные особенности зубных протезов.

Вместе с тем в литературе недостаточно сведений о расчетах зависимости напряженного

состояния периодонта опорных зубов в несъемном мостовидном протезе от его длины, степени резорбции стенок альвеол, а также от высоты коронки опорного зуба. В совокупности это определило цели и задачи настоящего исследования.

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Разработать математическую модель и дать сравнительную оценку напряженно-деформированного состояния биомеханической системы «мостовидный протез – опорный зуб» при низкой коронке опорного зуба.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

В настоящее время существуют два наиболее характерных подхода к анализу напряженно-деформированного состояния (НДС) мостовидного протеза и одиночного зуба:

а) аналитический метод сопротивления материалов;

б) численный метод теории упругости в рамках метода конечных элементов (МКЭ) с погружением корня в некоторую сплошную среду [4].

---

Определенным достоинством обладает разработанный структурный биомеханический подход при расчете одиночного зуба или зубных протезов, в основу которого положена базовая биомеханическая модель опорного зуба в альвеоле со сложной многоуровневой дискретной системой криволинейных волокон периодонта, с учетом характерного «перемещения» опорного зуба: вдоль, поперек и вокруг оси корня [3, 4]. Это позволяет:

а) ввести функции распределения как пучков периодонтальных волокон на поверхностях «конусов», так и самих «конусов» по длине корня;

б) описать пространственные формы любой части и выделенных в них элементов системы «мостовидная конструкция с опорами и окружающие их ткани, в системе связок периодонта и альвеолы» при помощи аппроксимирующих функций;

в) сформировать и использовать в расчете банк данных физико-механических характеристик всех компонентов неоднородной системы, их изменение во времени, в норме и патологии;

г) аналитическими методами определять внутренние усилия, НДС и перемещения модели протеза, опорного элемента при действии нагрузки, с учетом характера и местоположения;

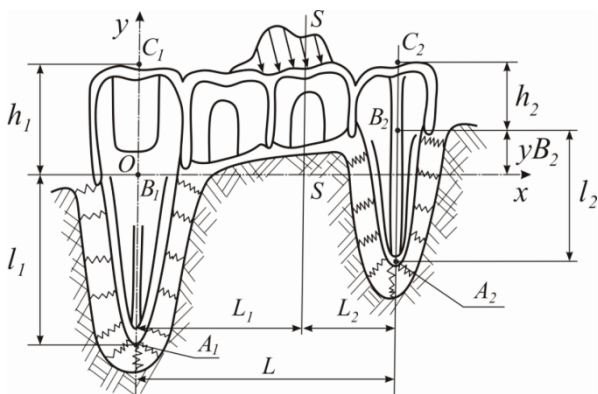


Рис. 1. Сечение мостовидного протеза и периодонта плоскостью симметрии XOY

Раскрытие внешней неопределенности произведено методом сил, в основу которого положено выделение основной системы – статически определимой, но кинематически неизменяемой, т. е. не превращающейся в механизм при отбрасывании «лишних», по терминологии метода сил, связей.

Формирование основной системы метода сил зависит от многих факторов: выделения тех или иных внутренних усилий, удобства расчета, наличия плоскостей симметрии и др.

д) учитывать высоту опорной части конструкции, ее объем в интервале выделенного сегмента зубного ряда.

Как частный случай базовой модели периодонта сформирована упрощенная дискретная модель, представленная двумя дисками прямолинейных и ортогональных к оси корня пучков волокон периодонта на уровне десневого края, верхушки зуба и семейством вертикальных волокон в области апикального отверстия. Данная модель, как базовая, прошла успешную апробацию в стоматологической практике при расчете некоторых ортопедических и ортодонтических конструкций [3, 5].

В работе описан общий подход к раскрытию внутренней и внешней неопределенности системы «мостовидный протез (МП) – опорный зуб-периодонт (П)», далее в тексте «МП-П».

Для упрощения изложения методики решения будем рассматривать «МП-П» как систему, имеющую плоскость симметрии – XOY упруго-геометрических характеристик. В исследованиях МКЭ-ов рассматриваются: расчетная схема двухопорного мостовидного протеза с дискретными системами связок-волокон периодонта вдоль осей корней зубов (рис. 1), структурная модель периодонта в аксонометрии (рис. 2), раскрытие внешней (рис. 1, 2) и внутренней (рис. 3) статической неопределенности.

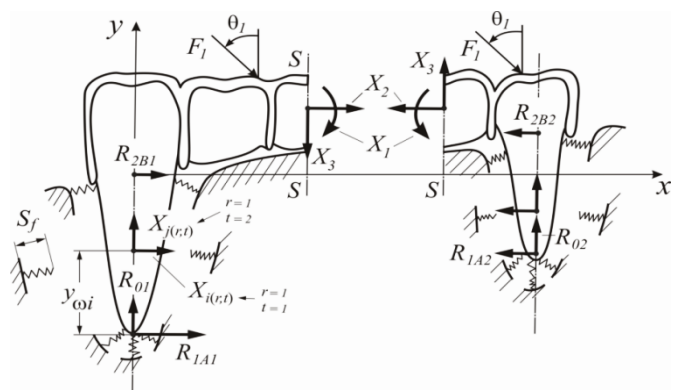


Рис. 2. Эквивалентные системы метода сил

В работе использованы два варианта построения основной системы.

Первый – путем рассечения мостовидного протеза плоскостью  $s-s$  (рис. 1, 2) с сохранением двух опорных дисков только в сечениях  $A_r, B_r$  (здесь и далее  $r$  – номер корня,  $r = 1$  – левый,  $r = 2$  – правый).

Во втором – основная система цельная с конусами периодонта только в сечениях левого корня  $A_1, B_1$ .

На эквивалентных системах действие отброшенных связей заменено действием «лишних» неизвестных  $X_i$ , где  $i = i(r, t)$  – номер усилия  $\omega$ -конуса на некотором  $\omega$ -уровне  $r$ -корня. Буква  $t$  – обозначает здесь и далее направление действия усилия:  $t = 1$  – поперек,  $t = 2$  – вдоль оси соответствующего корня.

Отметим, что, во-первых, при отсутствии плоскости симметрии ХОУ в системе усилий действует и крутящий момент, вызывающий ротацию корня зуба; во-вторых, каждое из сечений  $A_r$  объединяет несколько разориентированных конусообразных систем волокон, одни из которых моделируют систему апикальных волокон, другие – группу косых волокон (рис. 1).

Сложность решения задачи по раскрытию статической неопределенности «МП-П» заключается в ее связанности, поскольку расчетный аппарат решения задачи внешней и внутренней неопределенности не может формулироваться изолированно друг от друга.

Так, определение усилий  $X_i$  на этапе раскрытия внешней неопределенности невозможно без расчета характеристик жесткости  $C_{it}$  конусов периодонта, что возможно при раскрытой внутренней неопределенности самих конусообразных систем волокон.

При этом требуется знание усилий  $X_i$ , т. к. коэффициенты  $C_{it}$  связывают линейной зависимостью типа (рис. 1, 2) усилия  $X_i$  с соответствующими перемещениями  $u_x, u_y$  нормальных сечений корня радиуса  $r_k$  на  $\omega$ -уровне (рис. 3).

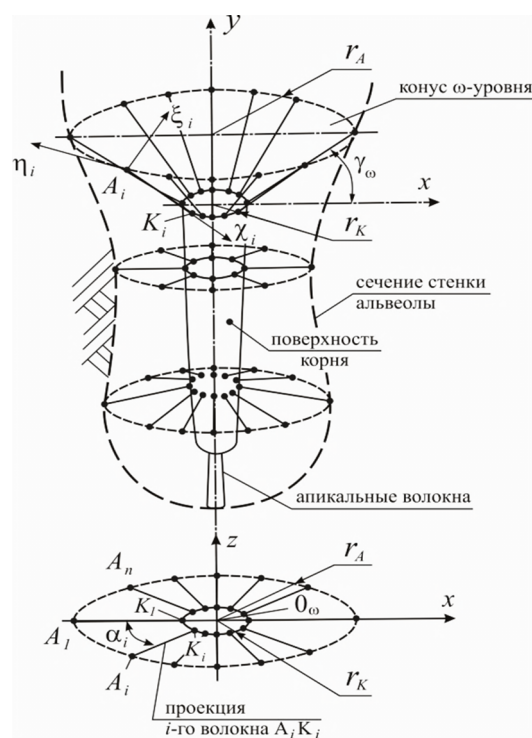


Рис. 3. Структурная модель периодонта

Более того, разработка характеристик жесткости периодонта с использованием результатов гнатодинамометрии и характеристик микротвердости тканей зуба [5, 8] требуют решения задачи для статически внешне и внутренне неопределимой системы в том числе одиночного зуба.

Комплексная функциональная схема анализа напряженно-деформированного состояния во всех составляющих структурно-неоднородной системы «несъемный мостовидный протез – опорные зубы-периодонт» в рамках структурного биомеханического подхода представлена на рис. 4.

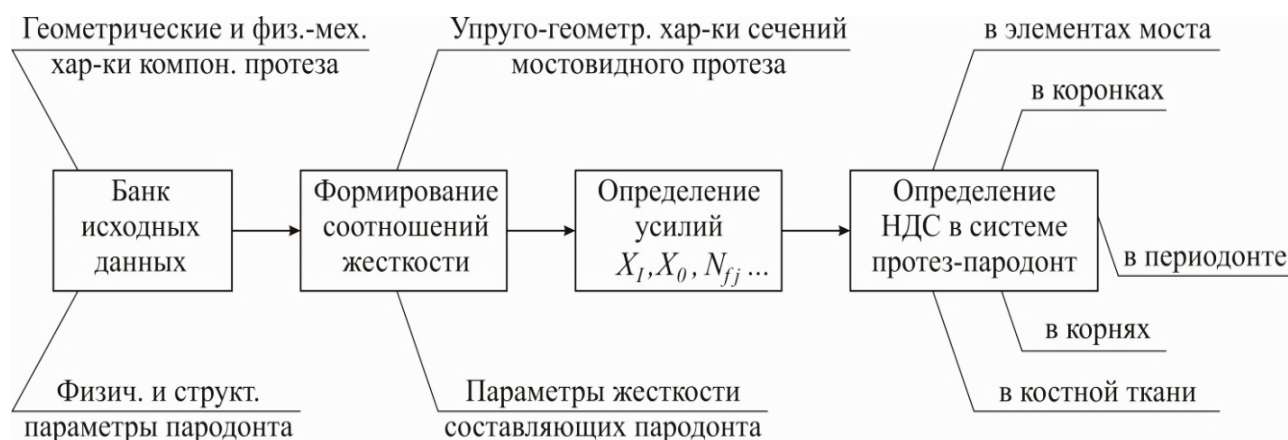


Рис. 4. Схема анализа НДС сегмента зубочелюстной системы «мостовидный протез – опорные зубы»

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках разработанного структурного биомеханического подхода в работе сформирована система математических выражений для определения внутренних усилий и напряжений во всех частях несъемного мостовидного протеза.

Представлена методика решения задач по определению поперечной и продольной жесткости элементов системы волокон периодонта при боковом и вертикальном смещении корня опорного зуба.

Разработана расчетно-экспериментальная методика определения параметров жесткости периодонта с использованием показателей гнатодинаметрии. Полученные результаты собственных расчетных данных, по параметрам жесткости периодонта, не противоречат известным литературным источникам.

С использованием комплексного показателя несъемного мостовидного протеза изучены особенности изменения внутренних усилий (напряжений) при различной высоте коронок опорных зубов, с учетом разработанного и предложенного для практической стоматологии клинического индекса высоты коронок опорных зубов – ИВКОЗ [7].

Выделена группа факторов, определяющих напряженно-деформированное состояние мостовидного протеза и пародонта. Выявлена роль низкой опорной коронки в оценке надежности мостовидного протеза при широкой вариации параметров жесткости протеза, периодонта и других показателей характеризующих «мостовидный протез-опорный зуб»

Результаты математического моделирования с конструкциями различной жесткости, при вариации параметров жесткости периодонта и функциональной нагрузки позволили выявить зону пониженной и нормальной жесткости периодонта.

Установлена и показана значимость изменения характеристик жесткости периодонта в перераспределении усилий по высоте корня опорного зуба.

Полученные результаты сравнительного анализа напряженно-деформированного состояния биомеханической системы «мостовидный протез-опорный зуб», с учетом характеристик жесткости периодонта, позволяя на этапе диагностики прогнозировать результаты лечения, а также осуществлять оптимальный выбор метода лечения для повышения ретенции ортопедической конструкции, в том числе при низкой коронке опорного зуба.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алямовский А. А. Solid Works\COSMOS Works 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК, 2007. – 784 с.
2. Арутюнов С. Д., Чумаченко Е. Н., Копейкин В. Н. и др. // Стоматология. – 1997. – № 4. – С. 47–51.
3. Багмутов В. П., Данилина Т. Ф. Основы сопротивления материалов в стоматологии. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 206 с.
4. Багмутов В. П. Особенности биомеханического моделирования состояния мостовидного двухопорного протеза при действии функциональной нагрузки // Изв. ВолгГТУ. Сер. Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. Вып. 6: межвуз. сб. научн. ст. ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 9(96). – С. 131–135.
5. Данилина Т. Ф., Багмутов В. П., Коноваленко В. Г. // Клиническая стоматология. – 2008. – № 4. – С. 60–65.
6. Загорский В. А., Макеева И. М., Загорский В. В. // Маэстро стоматологии. – 2011. – № 4(44). – С. 85–90.
7. Михальченко Д. В., Данилина Т. Ф., Верстаков Д. В. // Фундаментальные исследования. Медицинские науки. – 2013. – № 9. – С. 1066–1069.
8. Шмаков А. М., Данилина Т. Ф., Воробьев А. А. и др. // Фундаментальные исследования. Медицинские науки. – 2013. – № 9. – С. 945–948.