

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ НА ОСНОВЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*Наумович С.А.<sup>1</sup>, Наумович С.С.<sup>1</sup>, Лемешевский С.В.<sup>2</sup>*

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»,*

*ГНУ «Институт математики НАН Беларуси»*

*Минск, Республика Беларусь*

*ortopedstom@bsmu.by*

*Для обоснования выбора конструкций зубных протезов и ортодонтических аппаратов могут использоваться методы математического моделирования. Суть этих методов - возможность прогнозировать и оценивать эффект медицинского вмешательства с помощью расчета напряженно-деформированного состояния протезов и аппаратов, а также тканей и органов зубочелюстной системы. В данной статье мы представляем программный комплекс, позволяющий проводить индивидуальный биомеханический анализ зубочелюстной системы перед протезированием.*

**Ключевые слова:** *математическое моделирование; программный комплекс; напряженно-деформированное состояние; трехмерная реконструкция.*

## JUSTIFICATION OF DENTAL PROSTHESIS DESIGNS BASED ON INDIVIDUAL BIOMECHANICAL ANALYSIS

*Naumovich S.A.<sup>1</sup>, Naumovich S.S.<sup>1</sup>, Lemeshevsky S.V.<sup>2</sup>*

*Belarusian State Medical University,*

*Institute of mathematics NAS*

*Minsk, Belarus*

*To justify the choice of designs of dental prostheses and orthodontic appliances the methods of mathematical modelling can be used. The essence of these methods is the ability to predict and evaluate the effect of medical intervention using the calculation of stress-strain state of prostheses and appliances as well as tissues and organs of dental system. In this paper we present the software package that allows to carry out the individual biomechanical analysis of dental system before prosthetic treatment.*

**Keywords:** *mathematical modeling; software package; stress-strain state; three-dimensional reconstruction.*

**Актуальность.** Принципиально новые возможности при планировании врачебного вмешательства у пациентов стоматологического профиля открывают методы математического моделирования [4]. Однако большинство описываемых в литературе математических моделей различных компонентов зубочелюстной системы построены в прикладных программных пакетах для конечно-элементного анализа, работа с которыми требует наличия специальных навыков и знаний и требует обязательного привлечения специалистов математического профиля, что невозможно в рамках клинического приема. Полный цикл построения и анализа модели конкретного пациента чаще всего требует использования трех различных программных продуктов. Вначале

необходимо провести сегментацию рентгеновского изображения с построением трехмерных поверхностных моделей, затем модели конвертируются в пакеты автоматизированного проектирования, где добавляются различные варианты коронок, имплантатов и т.д. В конце построенная модель отправляется на расчет в специальные программные пакеты для математического анализа. Каждый из компонентов такого программного процесса нацелен на решение очень широкого спектра задач проектирования, обработки изображений, моделирования, что значительно увеличивает их стоимость. Поэтому очень актуальным является разработка специализированных дентальных программных комплексов, позволяющих смоделировать биомеханические изменения в зубочелюстной системе непосредственно врачом. Полученные результаты можно использовать на различных этапах оказания всех видов стоматологической помощи. Применение индивидуального биомеханического анализа с расчетом большого количества возможных вариантов лечения пациента является наиболее актуальным и перспективным направлением применения методов математического моделирования в стоматологии.

**Цель исследования** – разработать программный комплекс, позволяющий проводить моделирование напряженно-деформированного состояния периодонта для планирования конструкций зубных протезов на основе индивидуальных параметров пациента.

**Материал и методы.** При создании программного комплекса было необходимо решить две научные задачи: построить и численно реализовать физико-математическую модель зубочелюстной системы, которая бы включала все составные элементы периодонта (зубы, костную ткань челюсти, периодонтальную связку и десну), а также разработать методику ввода индивидуальных параметров пациента, необходимых для математического моделирования.

Модель по определению напряжений и деформаций в периодонте была реализована в виде статической задачи теории упругости.

Цифровые модели зубов и челюстных костей строятся по результатам сегментации компьютерных томограмм зубочелюстной системы [2]. Исходными данными для проведения индивидуального математического моделирования являются компьютерные томограммы в формате DICOM. Решение наиболее сложной задачи разделения костной ткани челюсти и корней зубов основывается на алгоритме преобразования водораздела [1].

Информация по механическим константам, описывающим прочностные свойства компонентов периодонта (модуль упругости Юнга и коэффициент Пуассона), бралась из литературных источников. Также программа позволяет задавать величины, точки приложения и направления внешних нагрузок, воздействующих на моделируемые конструкции зубных протезов, в соответствии с решаемыми задачами.

**Результаты.** Разработанный программный комплекс позволяет на первоначальном этапе ввести данные результатов клинического и рентгенологического обследования пациента. После установления диагноза врач-стоматолог приступает к составлению плана ортопедического лечения с выбором конструкции протеза. Для этого на первоначальном этапе необходимо

по загруженным в программу данным КТ пациента построить цифровые модели зубов и челюстей, которые являются основой для создания расчетной сетки. Пройдя все этапы обработки изображения, согласно разработанному алгоритму, создается трехмерная модель, состоящая отдельно из челюсти, верхней либо нижней, и зубов. После сохранения объемных объектов (челюстей и зубов) в расчетном модуле создается трехмерная объемная триангуляция (построение тетраэдрарной сетки) челюсти, периодонтальной связки (строится синтетически, т.к. она не распознается на компьютерных томограммах) и трехмерной триангуляции поверхности зуба [3]. Затем врач-стоматолог выбирает и виртуально моделирует на трехмерной модели челюсти в зависимости от клинической ситуации различные типы несъемных протезов: шинирующие конструкции, несъемные мостовидные с опорой на зубы либо имплантаты. Затем вводятся параметры внешней нагрузки, и модель отправляется на расчет.

Результатом расчетов является информация о деформациях и напряжениях в каждой выбранной области: зубах, периодонтальной связке, костной ткани челюсти. Визуализация результатов представлена как в виде полей напряжений в периодонтальном комплексе, так и в виде графиков и диаграмм, позволяющих проводить сравнение нескольких вариантов протезирования, что позволяет врачу выбрать наиболее оптимальный вариант с точки зрения нагрузок на протезное ложе.

**Заключение.** Программный комплекс позволяет проводить индивидуальное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния периодонтального комплекса, что значительно упрощает планирование лечения в сложных клинических ситуациях, а также определяет прогноз воздействия зубного протеза на зубочелюстную систему.

### **Список литературы**

1. Ibanez L., Schroeder W., Ng L., Cates J., The ITK Software Guide, Kitware, Inc., 2nd Edition (2005).
2. Naumovich, S.S. Three-dimensional reconstruction of teeth and jaws based on segmentation of CT images using watershed transformation / S.S. Naumovich, SA Naumovich , VG Goncharenko . // Dentomaxillofac Radiol. – 2015. – Vol.44. doi: 10.1259/dmfr.20140313. Epub 2015 Jan 7.
3. Samarskii A. A., Mikhailov A. P., Principles of Mathematical Modelling: Ideas, Methods, Examples, Taylor & Francis, 2001.
4. Qian L., Todo M., Morita Y., Matsushita Y., Koyano K., Deformation analysis of the periodontium considering the viscoelasticity of the periodontal ligament // Dental Materials. – 2009. – Vol.25 : 1285 – 1292.