

# ИНДИВИДУАЛЬНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБОЧЕЛЮСТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЗУБНОМ ПРОТЕЗИРОВАНИИ

Наумович С.С.<sup>1</sup>, Лемешевский С.В.<sup>2</sup>, Захаров П.Е.<sup>3</sup>

Белорусский государственный медицинский университет<sup>1</sup>

Институт математики НАН Беларуси<sup>2</sup>

Северо-Восточный федеральный университет (Российская Федерация)<sup>3</sup>

Введение. Активное использование методов математического моделирования является устойчивой тенденцией научных исследований в стоматологии в последние пару десятилетий. В отечественной и зарубежной литературе представлены тысячи научных статей по математическим моделям различных компонентов зубочелюстной системы. В последнее десятилетие количество публикаций растет, что объясняется в первую очередь развитием компьютерных технологий с появлением большого количества программных пакетов по моделированию. Однако полученные результаты чаще сфокусированы на чисто научных задачах и не всегда имеют практическое применение, потому что за основу создания модели берется не зубочелюстная система конкретного пациента, а усредненная модель [3]. Применение моделирования в практической деятельности врачей-стоматологов ограничено целым рядом причин, основной из которых является отсутствие специального программного обеспечения для этих целей.

В отличие от многих других областей медицины в стоматологии достаточно размыты показания и противопоказания к различным способам лечения. Выбор метода лечения зачастую основывается на клиническом опыте врача-стоматолога и предпочтениях пациента, однако не всегда выбранный вариант протезирования будет наиболее оптимальным для зубочелюстной системы. Негативное влияние протезов может иметь различные проявления, но одним из наиболее важных следует считать перегрузку естественных зубов и тканей протезного ложа. В конечном итоге она приведет к преждевременной

потере зубов, сокращению сроков пользования протезами и их низкой функциональности. Использование методов математического моделирования при планировании стоматологического вмешательства может спрогнозировать возможные последствия и выбрать наиболее оптимальный вариант лечения.

Цель исследования – разработать методику индивидуального математического моделирования напряженно-деформированного состояния тканей протезного ложе при протезировании пациентов.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели нами был разработан программный комплекс, который состоит из нескольких модулей. Так для проведения индивидуального биомеханического анализа была разработана и численно реализована физико-математическая модель зубочелюстной системы, которая включает зубы, периодонтальную связку, костную ткань челюсти и десну [2]. Процесс индивидуализации моделирования предполагает ввод для расчетов данных пациентов с последующим анализом. Данные для ввода можно условно разделить на 3 группы: геометрические параметры, механические константы и внешние нагрузки. Наибольшую вариабельность, которая должна учитываться при моделировании, на наш взгляд, имеют именно геометрические размеры зубов и челюстей и их пространственные координаты. К сожалению, методик ввода индивидуальных данных по механическим свойствам тканей и органов полости пока не существует, так как получить такие данные можно только при инвазивных манипуляциях. Внешние нагрузки для процесса моделирования можно задавать в определенных диапазонах, которые встречаются в процессе жевания.

Ввод геометрических параметров пациента для расчета математической модели, учитывая сложность пространственного строения зубов и их большое число на челюсти, возможен только на основе данных компьютерной томографии. Для этого был разработан специальный поэтапный алгоритм сегментации изображений челюстно-лицевой области для выделения

объемных объектов зубов и челюстей. Программный комплекс работает с изображениями с любых компьютерных томографов, т.к. данные при этом сохраняются в формате DICOM. Для реализации сегментации изображения с применением алгоритма водораздела с маркерами используется кроссплатформенная система ИТК [1].

Результаты и обсуждение. По результатам сегментации компьютерных томограмм программный комплекс строит трехмерные модели зубов с учетом всех особенностей поверхности корней и коронок. По наружной поверхности корня, до того уровня, где заканчивается костная ткань, генерируется модель периодонтальной связки. Ее ширина может задаваться врачом, сама связка генерируется в виде упругой прослойки с линейными изотропными свойствами. Непосредственно от наружной части периодонтальной связки начинается костная ткань челюсти, которая в общем объеме имеет геометрические данные, полученные при обработке томограмм. Внутри массива костной ткани программный комплекс разделяет костную ткань на внутреннюю кортикальную пластинку, или стенку зубной альвеолы, губчатую костную ткань и наружную кортикальную пластинку. Непосредственно в физико-математической модели данные по структуре кости различаются параметрами механических констант.

На построенной цифровой модели врач-стоматолог согласно клинической ситуации выбирает различные типы несъемных либо съемных зубных протезов. Программа при выборе типов протезов определяет тип передачи жевательной нагрузки: на зубы, и затем на периодонтальный комплекс, либо на зубы и слизистую оболочку, и опосредованно на костную ткань челюсти. Также определяется количество зубов, включенных в конструкцию мостовидного либо съемного протеза. После выбора конструкции протеза врач получает данные расчета напряженно-деформированного состояния периодонтального комплекса. Проведя подобное моделирование для различных типов зубных протезов можно

сравнить распределение напряжений в разных частях зубочелюстной системы и выбрать наиболее оптимальную конструкцию протеза.

Результаты расчета при различных вариантах зубных протезов и внешних нагрузок представляются как в виде трехмерных полей напряжений в различных подобластях, так и в виде графиков и диаграмм. Последние позволяют более наглядно, на качественном уровне, обосновать конструкцию протеза.

#### Выводы:

Разработанный программный комплекс позволяет проводить на основании данных пациента индивидуальный биомеханический анализ зубочелюстной системы, что позволяет планировать стоматологическое вмешательство. Также комплекс включает в себя возможности ведения медицинской документации и работы с медицинскими изображениями.

#### Литература:

1. Ibanez L., Schroeder W., Ng L., Cates J., The ITK Software Guide, Kitware, Inc., 2nd Edition (2005).
2. Samarskii A. A., Mikhailov A. P., Principles of Mathematical Modelling: Ideas, Methods, Examples, Taylor & Francis, 2001.
3. 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.