

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В КЛИНИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ

Наумович Семен Антонович

*Доктор медицинских наук, профессор
Белорусский государственный медицинский университет
Беларусь, Минск
ortopedstom@bsmu.by*

Наумович Сергей Семенович

*Кандидат медицинских наук, доцент
Белорусский государственный медицинский университет
Беларусь, Минск
ortopedstom@bsmu.by*

В статье представлены научные данные о комплексном лечении и реабилитации пациентов с аномалиями и деформациями зубочелюстной системы в сформированном прикусе с применением методов математического моделирования. Авторы статьи предложили соответствующий для этого научный фундамент. Комплексное лечение и реабилитация должны проводиться с учетом результатов экспериментальных исследований: математического моделирования (аналитические модели для изучения биомеханических процессов в системе "зуб-периодонт"); голографических - с целью изучения деформаций, происходящих в системе "зуб-периодонт-кость" при применении ортодонтических аппаратов и ортопедических конструкций (зубных протезов).

Ключевые слова: комплексное лечение; реабилитация; аномалия; деформация; зубочелюстная система; математическое моделирование; голографическая интерферометрия.

BIOMECHANICAL ASPECTS IN CLINICAL DENTISTRY

Naumovich S.A.

*DD, Professor
Belarusian state medical university
Belarus, Minsk
ortopedstom@bsmu.by*

Naumovich S.S.

*PhD, Associate Professor
Belarus State Medical University
Belarus, Minsk
ortopedstom@bsmu.by*

The article presents scientific data on the complex treatment and rehabilitation of patients with anomalies and deformations of the maxillo-dental system in the permanent dentition using mathematical modeling methods. The authors of the article proposed an appropriate scientific foundation for this. Comprehensive treatment and rehabilitation should be carried out taking into account the results of experimental studies: mathematical modeling (analytical models for studying biomechanical processes in the tooth-periodontium system); holographic - in order to study the deformations occurring in the tooth-periodontium-bone system with the use of orthodontic appliances and orthopedic constructions (prostheses).

Keywords: *complex treatment; rehabilitation; anomaly; deformation; dentition system; mathematical modeling; holographic interferometry.*

Введение. Лечение аномалий и деформаций зубочелюстной системы у взрослых является одной из актуальных проблем в клинической стоматологии. По данным отечественных и зарубежных авторов частота аномалий у взрослых составляет 35-40%, а деформаций до 65%. Клиническая картина у них осложнена потерей зубов, деформацией зубных рядов и челюстей, функциональной перегрузкой периодонта, вызванной нарушением окклюзии. Для того, чтобы комплексное лечение проводилось с учетом всех требований, нами были проведены экспериментальные исследования: математические (аналитические) для изучения биомеханических процессов в системе "зуб-периодонт"; голографические с целью изучения деформаций, происходящих в системе "зуб-периодонт-кость" при применении ортодонтических аппаратов и ортопедических конструкций.

Цель работы. Разработка математической модели корня и периодонта зуба и голографические исследования с применением ортодонтических аппаратов и зубных протезов (экспериментальные исследования).

Объекты и методы. Белорусская стоматологическая школа имеет давние традиции в разработке этого научного направления. Были предложены несколько моделей формы корня и периодонта зуба, они эволюционировали и усложнялись. В стоматологической практике при конструировании различных протезов необходимо знать напряжения, которые испытывает периодонт, то есть тонкая упругая оболочка, находящаяся между корнем зуба и костной тканью челюсти. В этой оболочке расположены нервные окончания, которые при действии на зуб внешних сил вызывают болевые ощущения. Кроме того, периодонт определяет жесткость зуба как абсолютно твердого тела при размещении его в трех направлениях пространства и трех поворотах вокруг указанных направлений. Зная жесткость зубов, можно рационально распределить нагрузку при конструировании различных протезов и приспособлений для выполнения жевательного акта.

Впервые расчетная модель периодонта, ограниченного двумя круговыми конусами, была построена профессором Г.П. Сосниным на основе методов сопротивления материалов. Однако этот метод не позволил перейти к расчету других, более совершенных моделей. В 1974 г. профессора-стоматологи

Г.П. Соснин и Л.С. Величко предложили механику-математику, профессору А.Е. Крушевскому решить задачу для формы в виде эллиптического конуса. Модель эллиптического конуса позволила дать более правильную картину распределения напряжений, показать снижение нормальных напряжений за счет возникновения касательных напряжений вдоль образующей и направляющей конуса, объяснив целый ряд фактов, например, меньшую сопротивляемость зуба в боковом направлении по сравнению с фронтальным и др.

Однако в области вершины зуба модель эллиптического конуса не позволила определить действительный характер распределения напряжений, т. к. реальные зубы на конце корня имеют не острие, а закругление. Поэтому переход к модели эллиптического гиперboloида представляется значительным шагом вперед в данном вопросе, тем более, что эллиптический конус следует из него как частный случай.

Результаты. Более внимательное изучение формы поперечного сечения корня зуба показывает, что, хотя его форма и овальная, однако, с одной осью симметрии, т.е. форма эллипса с двумя осями симметрии не совсем отвечает действительности. Следовательно, если модель формы поперечного сечения корня зуба составить из двух различных полуэллипсов с одной общей малой осью $2b$ вдоль оси ординат, то такая модель окажется более реальной (Рис. 1, Рис. 2).

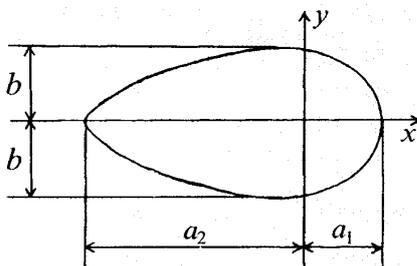


Рисунок 1 – Форма поперечного сечения корня зуба в виде двух полуэллипсов с общей малой осью $2b$ вдоль оси ординат

Исходя из новой модели нами были проведены: математические (аналитические) исследования для создания оптимальной модели формы корня зуба с целью определения напряжений при действии на зуб внешних сил в норме и при различных степенях атрофии лунки; решение задачи о равновесии периодонта как оболочки, ограниченной двумя составными эллиптическими гиперboloидами; вывод формул для напряжений в области контакта периодонта с корнем зуба; моделирование оси поворота зуба в ортопедической стоматологии под действием произвольной силы; исследование жесткости зуба и напряженно-деформированного состояния периодонта в области контакта с корнем зуба при поступательном перемещении вдоль горизонтальной оси симметрии Ox ; исследование жесткости и напряженно-деформированного состояния периодонта в области контакта с корнем зуба при поступательном перемещении вдоль вертикальной оси Oz ; исследование влияния атрофии костной ткани и параметров корня на жесткость зуба при повороте под действием пары сил,

лежащей в плоскости симметрии; определение реакций опор и перемещений мостовидного протеза; программная реализация формул для расчета напряженно-деформированного состояния периодонта.

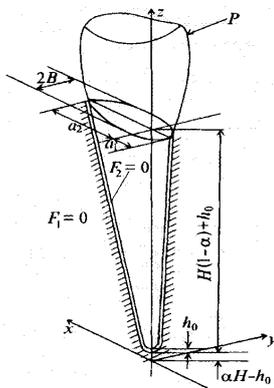


Рисунок 2 – Модель периодонта корня зуба, ограниченного двумя составными эллиптическими гиперболами

Программная реализация формул для расчета напряженно-деформированного состояния периодонта

Полученные формулы для модели периодонта в виде двух составных эллиптических гиперболаидов, как мы видели, достаточно сложны, чтобы пользоваться ими без применения ЭВМ, особенно в случае действия произвольной силы. Поэтому были разработаны программы на ПЭВМ с целью определения основных параметров напряженно-деформированного состояния периодонта, а именно:

1. Координат центров сопротивления зуба Z_a, X_b, Z_b, X_c .
2. Поступательных перемещений зуба вдоль трех осей координат u_0, v_0, w_0 .
3. Углов поворота вокруг трех осей координат $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$.
4. Нормальных σ_n и касательных $\tau_{ns}, \tau_{n\theta}$ напряжений во всей области контакта периодонта с корнем зуба с учетом атрофии костной ткани.

Нормальные и касательные напряжения с целью наглядности представлены также в виде цветных изображений. При этом для нормальных напряжений красный цвет показывает напряжения растяжения, а синий цвет - напряжения сжатия. Для касательных - положительные напряжения определяются красным цветом, отрицательные - синим цветом, минимальные напряжения, как нормальные, так и касательные изображаются зеленым цветом.

Рассмотрим эти параметры более подробно. Форма периодонта на границе с корнем зуба повторяет форму корня зуба и отстоит от нее на толщину области соединения периодонта с поверхностью корня зуба. Поэтому в дальнейшем изображая корень зуба, мы имеем в виду поверхность периодонта, прилегающую к корню (границу).

Реальные величины полуосей для типичных профилей корней реальных зубов установлены в следующих пределах: $\alpha_{10}=0,15 - 0,70$ см; $\alpha_{20}=0,15 - 0,70$ см; $b_0=0,15 - 0,70$ см. Высота корня зуба $H=0,50 - 2,50$ см. Высота костной ткани H_{bone} в норме 100%, при атрофии костной ткани (Рис. 3) рассматриваем

Н bone=75% - атрофия 25%;
 Н bone=50% - атрофия 50%;
 Н bone=25% - атрофия 75%.

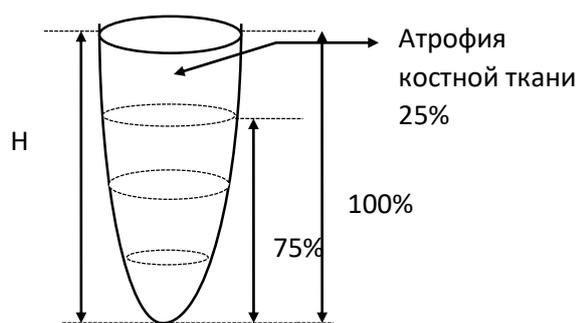


Рисунок 3 – Высота костной ткани

Напряжения в каждой точке периодонта рассчитываются для трех направлений (Рис. 4):



Рисунок 4 – Направления нормальных σ_n и касательных τ_{ns} , $\tau_{n\theta}$ напряжений на поверхности периодонта

1) нормальные – по нормали к поверхности периодонта, т. е. перпендикулярно касательной плоскости к поверхности периодонта. Для врача – сжатие и растяжение;

2) второе направление, в котором рассчитываются напряжения, – вдоль касательной к гиперболе, которая является образующей поверхности зуба (для врача “вверх-вниз”, к шейке зуба или к анатомической верхушке корня зуба, 1-я тангенциальная составляющая);

3) третье направление, в котором рассчитываются напряжения, вдоль касательной к эллипсу, т. е. к направляющей, по которой “движется” гипербола, образующая поверхность корня (для врачей – это “вращение”, “поворот” корня.

Имеется возможность интерактивного задания изменения точки наблюдения и осмотра поля напряжений со всех сторон, но практика показала, что каждый врач привыкает к какому-то направлению осей и интерпретирует картину напряжений при постоянном расположении осей. Важным условием успешного ортодонтического лечения и протезирования является планирование зубного протеза или ортодонтического аппарата с учетом напряженно-деформационных взаимоотношений в системе зуб-периодонт-кость, контроль за рациональным лечебным воздействием аппарата. Необходима точная количественная информация об изменениях происходящих, как со стороны всей

зубочелюстной системы, так и со стороны лечебных аппаратов. Для изучения перемещения зубов и возникающих при этом деформаций, для неразрушающего контроля состояния зубных протезов, для измерения напряжений при протезировании возможно использовать методы голографической интерферометрии, которые обеспечивают бесконтактное определение мельчайших поверхностных сдвигов (100мкм) по величине и направлению ($0,1^\circ$) как костных структур, так и протезов. Ранее методами голографической интерферометрии проводилось изолированное исследование челюстных костей человека, а нами проведен качественный и количественный анализ поведения под нагрузкой лицевого черепа человека в условиях, максимально приближенных к реальным, методами голографической интерферометрии.

Заключение. Разработанные методы математического моделирования и оптической голографии позволяют проводить прогнозирование ортодонтического и ортопедического лечения аномалий и деформаций зубочелюстной системы в сформированном прикусе.

Список литературы:

1. Наумович, С. А. Биомеханика системы зуб-периодонт : монография / С. А. Наумович, А. Е. Крушевский. – Мн., 2000 – 132 с.
2. Голографические методы исследования в стоматологии : монография / Наумович С. А. [и др.]. – Минск. : БГМУ, 2009. – 172 с.
3. Биомеханика системы «Зуб-периодонт-костная ткань» : монография / Наумович С. А. [и др.]. – Минск : БГМУ, 2009. – 279 с.