

**А.А. Селянинов, А.В. Тотьмянина**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## **БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОРРЕКЦИИ ЗУБНОГО РЯДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛАСТОПОЗИЦИОНЕРОВ**

Рассмотрены клинические примеры устранения неправильного прикуса с применением эластопозиционеров, влияющего на функционирование мимических и жевательных мышц. На основе практических данных предложена кинетическая модель перемещения зуба в эластопозиционере. Построена конечно-элементная модель данного ортодонтического аппарата, позволяющая определить нагрузку на неправильно расположенные зубы.

**Ключевые слова:** зубочелюстная система, прикус, зубной ряд, миофункциональные нарушения, эластопозиционер (упругий трейнер), перемещение зуба.

Неправильное расположение зубов, а также любое нарушение в работе зубочелюстной системы может привести к нарушениям функций других органов и систем организма. Гастриты, холециститы и ожирение, заболевания печени и поджелудочной железы, кожные и эндокринные заболевания, деформации височно-нижнечелюстного сустава, заболевания пародонта – это лишь тот неполный перечень проблем, спровоцированных аномалиями зубочелюстного развития [1,11,12].

Согласно клиническим данным у большинства детей в период молочного и сменного прикуса наблюдается в качестве вредной привычки ротовой или смешанный тип дыхания, возникающий вследствие патологических процессов в носоглотке, таких как тонзиллиты, риниты, аденоиды, ОРЗ.

Это, в свою очередь, приводит к недоразвитию зубочелюстной системы и различным челюстно-лицевым аномалиям, поскольку ротовое дыхание ведет к задержке роста гайморовых пазух, поэтому происходит недоразвитие воздухоносных путей и лицевого скелета, развитие которых тесно взаимосвязано между собой. Аномалии прикуса сопровождаются нарушением осанки и провоцируют у детей расстройства дыхания во сне, а также храп [1].

В настоящее время особое внимание уделяется проблеме миофункциональных нарушений у детей, возникающих вследствие аномалий зубочелюстной системы, чрезвычайная распространенность кото-

рых, отмечаемая в последнее десятилетие различными авторами [2–4,7,9], определяет необходимость изыскания доступных и эффективных методов их устранения [6]. Так, например, авторы работы [10] с целью оценки общей клинической эффективности миофункциональных аппаратов (так называемых эластопозиционеров), применяемых для устранения миофункциональных нарушений, обследовали некоторое количество детей.

В результате авторы сделали вывод о том, что эластопозиционеры могут быть использованы в клинической практике на ранних стадиях лечения с целью устранения вредных привычек, нормализации носового дыхания, и как следствие – профилактики развития челюстно-лицевых аномалий.

В связи с этим важно отметить, что в литературе исследования для устранения миофункциональных нарушений у детей носят эмпирический или качественный характер [5, 8].

Ранее было отмечено, что ротовое дыхание приводит к нарушению деятельности мышц (мимических, круговой мышцы рта, языка) и к развитию зубочелюстных аномалий. При нарушении функции дыхания активность круговой мышцы рта в несколько раз повышается по сравнению с нормой, а ее выносливость существенно снижается. Функциональная недостаточность круговой мышцы может явиться причиной увеличения длины верхнего зубного ряда. Это происходит в результате ослабления давления круговой мышцы рта на резцы снаружи, давление языка на зубные ряды изнутри начинает преобладать, и резцы смещаются в губном направлении, увеличивая при этом длину зубного ряда и величину сагиттальной щели.

Особое внимание следует обратить на положение языка при ротовом дыхании, при котором ребенок прокладывает язык между зубными рядами, что способствует протрузии верхних резцов. Такое положение языка на фоне ротового дыхания может также привести к формированию открытого прикуса. Дополнительное давление натянутых щечных мышц, возникающее у ребенка при дыхании ртом, способствует сужению зубных дуг.

Каждый прикус характеризуется тремя признаками:

- 1) зубным (положение зубов, форма зубных рядов);
- 2) миофункциональным (функция жевательных и мимических мышц челюстно-лицевой области);

3) суставным (положение нижней челюсти в височно-нижнечелюстных суставах).

При зубочелюстных аномалиях отмечаются нарушения во всех трех аспектах окклюзии.

Поэтому на сегодняшний день актуально и важно устранение аномалий зубных рядов и, как результат, устранение миофункциональных нарушений, для чего применяются эластопозиционеры.

Актуальность проблемы заключается в том, что недостаточно изучены кинетика перемещения зуба с применением эластопозиционеров (дети/взрослые, муж./жен.) и индивидуальное применение данных ортодонтических аппаратов для восстановления жевательной функции и смягчения последствий неправильного прикуса.

В связи с этим необходим биомеханический анализ коррекции зубного ряда с применением эластопозиционеров.

Целью работы является:

1. Анализ современных ортодонтических аппаратов.
2. Изучение кинетики перемещения зуба с применением эластопозиционеров (дети/взрослые, муж./жен.) на основе клинических данных.
3. Разработка методики параллельного кинетического моделирования перемещения зуба, позволяющей в полной мере учесть индивидуальные особенности пациента.
4. Разработка математической модели для определения усилия, действующего на корректируемый зуб со стороны эластопозиционера, которое является определяющим фактором перемещения (силовой стимул), перестройки элементов зубного ряда.

## **1. Ортодонтические аппараты**

В детской ортодонтии используются два типа аппаратов: механические и функциональные.

Большинство механических ортодонтических аппаратов (например, брекет-системы) воздействуют на зубы, исправляют их положение и форму зубных рядов. К недостаткам брекет-системы следует отнести то, что данная конструкция является несъемной, травмирующей и ее необходимо носить в течение длительного промежутка времени (от одного года и более).

Функциональные аппараты (например, эластопозиционеры) при раннем ортодонтическом лечении направляют рост челюстей, способствуют сдерживанию или стимуляции роста различных отделов челю-

стей, устраняют неблагоприятное воздействие мимических и жевательных мышц, а также языка. К преимуществам лечения эластопозиционерами можно отнести то, что данные аппараты являются съёмными, не травмируют десны и слизистую рта, ощутимо сокращаются сроки лечения, преимущественно ночной режим использования аппарата (два часа днем и на протяжении всей ночи) [16].

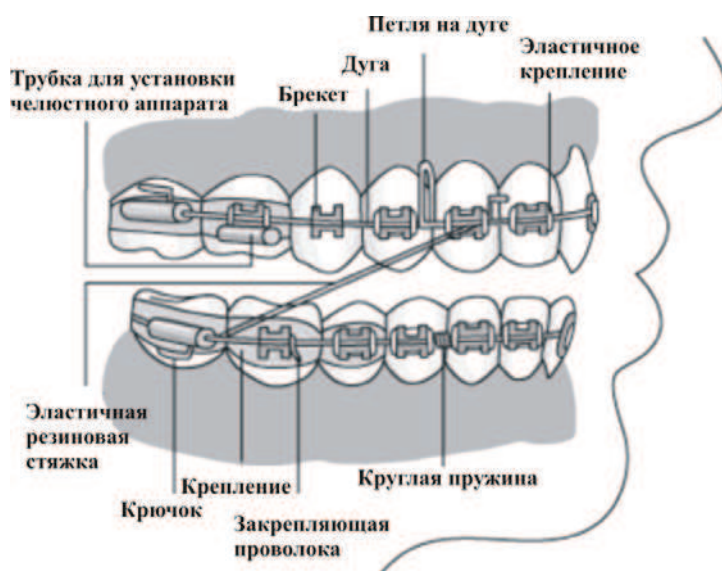


Рис. 1. Брекет-система

Применение эластопозиционеров с целью закрытия небольших трем между зубами и достижения сверхточных окклюзионных контактов впервые предложил в 1945 г. доктор Кеслинг (США) [16]. Используемый при этом высокоэластичный каучук (твёрдость 50 и 70 по Шору) обеспечивал смещение зубов на расстояние до четырех миллиметров. Необходимо отметить, что свойства материала, из которого изготовлен позиционер, оказывают решающее влияние на возможности перемещения зубов, а также на продолжительность лечения и стабильность его результатов. Идеальный материал для эластопозиционера должен обладать следующими характеристиками:

- высокая упругость, обеспечивающая силу тяги;
- длительно сохраняемая высокая эластичность и устойчивость на разрыв;
- незначительная усадка при обработке;
- (стабильность формы) и высокая прозрачность;

- биологическая совместимость, отсутствие запаха, стабильность цвета;
- простота обработки;
- возможность качественной полировки поверхности.

Поэтому следующим серьёзным этапом в истории разработки материалов для изготовления эластопозиционеров стало открытие специального отделения по производству эластомеров лабораторией челюстно-лицевой ортопедии профессора Р. Хинца (г. Херне, Германия). В сотрудничестве с фирмой Bayer-Dental лаборатория Хинца разработала А-силикон, специально предназначенный для изготовления эластопозиционеров и получивший название Silasto-материал, идеально соответствующий всем вышеназванным требованиям. Благодаря наличию в его составе платинового катализатора силикон Silasto отличается высокой биологической совместимостью и длительно сохраняемой эластичностью, что делает возможным использование всего одного лечебного аппарата на протяжении всего курса лечения.

Клинические исследования подтвердили хорошую переносимость материала тканями, а перемещение зубов с их применением осуществляется быстрее поэтому эффективнее, чем это позволяли прежние материалы.

Различают индивидуально изготовленные и поэтому стандартные эластопозиционеры.

К стандартным позиционерам относится эластопозиционер MYOBPACE. В результате продолжительных научных исследований было установлено, что размеры челюстей и зубов населения земного шара можно стандартизировать по 6 размерам, и поэтому возникла идея создания стандартных эластопозиционеров.

Новые ортодонтические аппараты серии MYOBPACE двухслойной конструкции совмещают в себе преимущества мягкого гибкого силикона, формирующего наружный слой, и жёсткого внутреннего слоя, образующего упругий каркас, который стимулирует рост и расширение зубной дуги пациента (рис. 2).

К индивидуальным позиционерам относится эластопозиционер Silasto, который изготавливается по снятым в клинике слепкам [16].

Эластопозиционер – это очень гибкий аппарат, параболический по форме. Губные щиты – 2 в сочетании с канавками для зубов – 1 в переднем отделе продуцируют силу, постоянно действующую на неровно стоящие передние зубы, исправляя их положение.

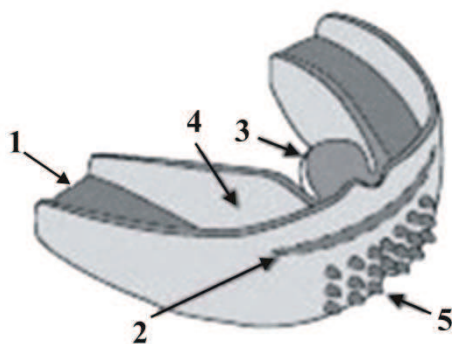


Рис. 2. Устройство эластопозиционера:  
 1 – канавки для зубов; 2, 5 – губные  
 щиты; 3 – специальный язычок для  
 коррекции положения языка в полости  
 рта; 4 – языковая защитка

В аппарат включен специальный язычок – 3 для коррекции положения языка в полости рта. Он как бы напоминает ребенку о правильном его положении. Языковая защитка – 4 препятствует высовыванию языка при глотании. Губные щиты – 5 в сочетании с шиповидными выступами снижают давление подбородочной мышцы на нижние передние зубы и способствуют удлинению зубной дуги при легкой и средней степени скученности зубов. Эластопозиционер препятствует дыханию через рот, благодаря наличию специальной удвоенной защиты. Большинство детей с привычно открытым ртом в состоянии дышать через нос. Их дыхание может быть откорректировано данным ортодонтическим аппаратом. Известно, что у детей с привычным состоянием открытого рта наблюдается значительное отставание в росте верхней челюсти по сравнению с детьми, которые обычно дышат через нос.

## **2. Клинические примеры исправления прикуса с применением эластопозиционеров**

Рассмотрим ряд литературных данных по клиническим примерам исправления прикуса с применением данных ортодонтических аппаратов. В работах [13,14] описаны силовые и временные параметры применения эластопозиционеров и брекет-системы для таких дефектов челюстной системы детей в возрасте от 6 до 9 лет, как глубокий прикус, протрузия центральных резцов, сужение верхней челюсти.

На рис. 3, 4 представлен клинический случай пациента 9 лет. При первичном осмотре выявлены следующие патологии: протрузия центральных резцов, сагиттальная щель 9 мм. Лечение проводилось в течение 5 месяцев с использованием эластопозиционеров, в результате лечения величина дефекта в сагиттальной плоскости составила 1 мм [13]. Данные по клиническим примерам сведены в таблицу (табл. 1).

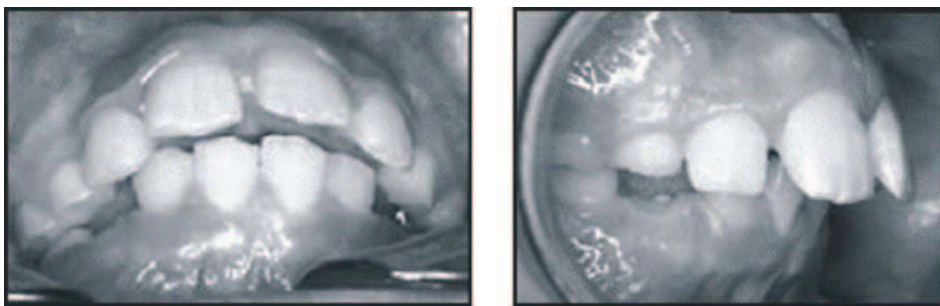


Рис. 3. Клинический пример. Пациент 9 лет до лечения

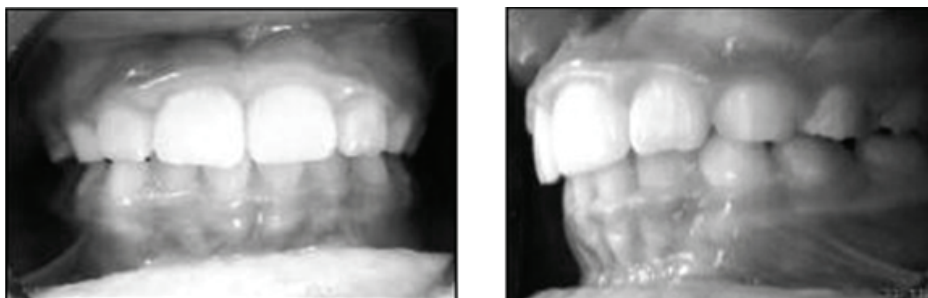


Рис. 4. Клинический пример. Пациент 9 лет после лечения

Таблица 1

Клинические данные по силовому и временному воздействию эластопозиционеров

Возраст / пол пациента	6 лет / м. [13]	9 лет / м. [13]	12 лет / ж. [14]
Тип аномалии	Глубокий прикус, ...	Протрузия центральных резцов, ...	Сужение верхней челюсти, ...
Способ лечения	Эластопозиционер		Брекет-система
Начальная величина дефекта, мм	Сагиттальная щель = 5	Сагиттальная щель = 9	Сагиттальная щель = 7
Начальная величина нагрузки, г	400	400 ÷ 500	–
Конечная величина дефекта, мм	Сагиттальная щель = 1	Сагиттальная щель = 1	Сагиттальная щель = 1
Конечная величина нагрузки, г	–	400	–
Время лечения, месяц	6	5	20
Режим нагрузки	–	Переменная	–

### 3. Индивидуальное кинетическое моделирование ортодонтического перемещения зубов

Задача целенаправленного применения эластопозиционеров видится в изучении кинетики перемещения зуба конкретного пациента, в результате чего возможно определение параметров эластопозиционера для создания впоследствии рекомендуемой нагрузки на зуб и определения времени до замены образца данного ортодонтического аппарата на новый.

На основании обзора клинических примеров построены кинетические кривые для перемещения зубов (рис. 5). Зависимость перемещения  $\Delta x$  от времени во всех рассмотренных случаях является линейной в силу наличия лишь начальных и конечных значений. Эти данные в принципе позволяют оценить среднюю скорость перемещения зубов при заданном силовом воздействии (см. табл. 1) для детей от 6 до 12 лет. Однако разброс времени окончания процесса от 5 до 20 месяцев не позволяет проследить за уменьшением нагрузки со стороны эластопозиционера на контролируемый зуб для конкретного ребенка. Это, в свою очередь, дает только некоторый ориентировочный период, после которого необходимо заменить эластопозиционер с целью коррекции нагрузки на зуб. Режим применения эластопозиционера с заданным силовым давлением определен клиническим опытом и его нежелательно нарушать для успешного исхода лечения. Пытаться прогнозировать изменение силового давления как пропорциональное перемещению зуба не корректно, так как задача является явно геометрически нелинейной.

Поэтому, зная из клинической практики величины перемещений ( $\Delta x$ , мм) неправильно расположенных зубов в зубном ряду согласно замерам, выполненным со слепков челюстей индивидуального пациента с некоторой периодичностью (например, пациент один раз в месяц приходит на прием к врачу), и зная время лечения, представляется возможным в первом приближении оценить так называемую начальную скорость ( $V_0$ , мм/мес.), с которой зуб будет перемещаться в течение некоторого промежутка времени под действием заданной силы. Очевидно, что по мере перемещения зуба в его правильное положение сила, действующая на него, является переменной величиной.

Из клинической практики известно, что при устранении патологий зубных рядов с применением эластопозиционера применяется два образца данного ортодонтического аппарата: «розовый» и «голубой»



(с различными по величине силами, действующими на неправильно стоящие зубы). Поэтому проявляется интерес к прогнозированию времени, через которое необходимо менять один образец эластопозиционера на другой, что представляется возможным вследствие периодических замеров перемещений аномально расположенных зубов, определения текущей скорости их перемещения и выявления вида кинетической модели, согласно которой зубы смещаются в эластопозиционере. Имея результаты мониторинга перемещения интересующих зубов, представляется возможным определить величину нагрузки, действующей на данные зубы, путем решения задачи теории упругости о нахождении напряженно-деформированного состояния эластопозиционера.

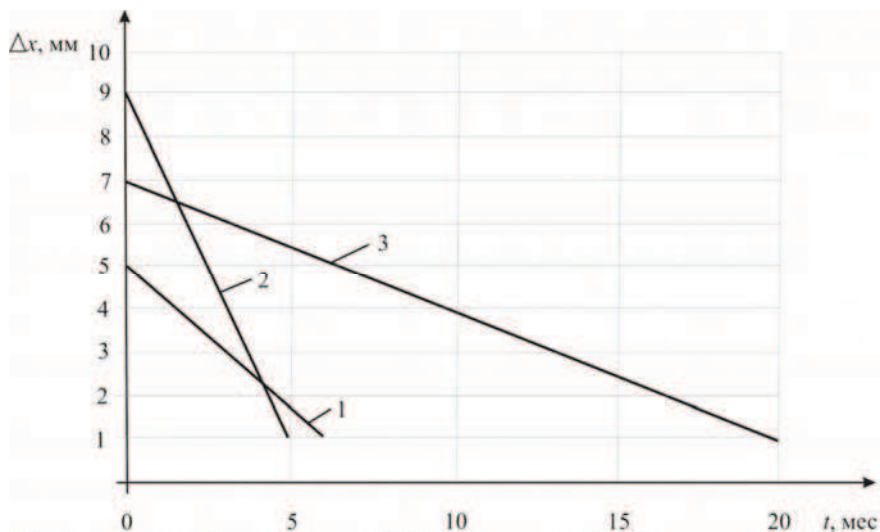


Рис. 5. Кинетика перемещения зуба: 1 – пациент 6 лет; 2 – пациент 9 лет; 3 – пациент 12 лет

Идея кинетического моделирования основана на наличии экспериментальных данных по процессу во времени. Тогда по виду зависимости от времени (напоминает экспоненту, параболу или прямую) можно фактически аппроксимировать эти данные с постоянными или переменными во времени коэффициентами. Скорость изменения интересующего параметра можно представить в виде

$$\frac{dx_1}{dt} = V_0 = \text{const} \quad (1)$$

в случае линейной зависимости.

При наличии признаков экспоненциальной зависимости убыви параметра

$$\frac{dx_2}{dt} = -k_1 x_2, \quad (2)$$

при зависимости, напоминающей параболическую,

$$\frac{dx_3}{dt} = -\frac{k_2}{x_3}. \quad (3)$$

В нашем случае зависимость заранее неизвестна. Эта процедура годится для того пациента, который уже вылечен.

Особый интерес представляет лечение конкретного пациента. Можно воспользоваться идеей параллельного кинетического моделирования, предложенной в работе [15] по кинетике биодеструкции лекарственных средств. Она реализуема как раз для процессов, для которых возможен текущий контроль интересующего параметра, в нашем случае – измерение перемещения зуба при врачебном контроле перемещения зуба порядка один раз в месяц. Уже по первым трем клиническим данным возможно прогнозирование выбора типа кривой и прогнозирование изменения скорости перемещения зуба со временем (рис. 6). При каждом новом значении перемещения зуба можно корректировать тип кривой или уточнять значение констант кинетических уравнений (1)–(3). Этот подход позволяет прогнозировать перемещение

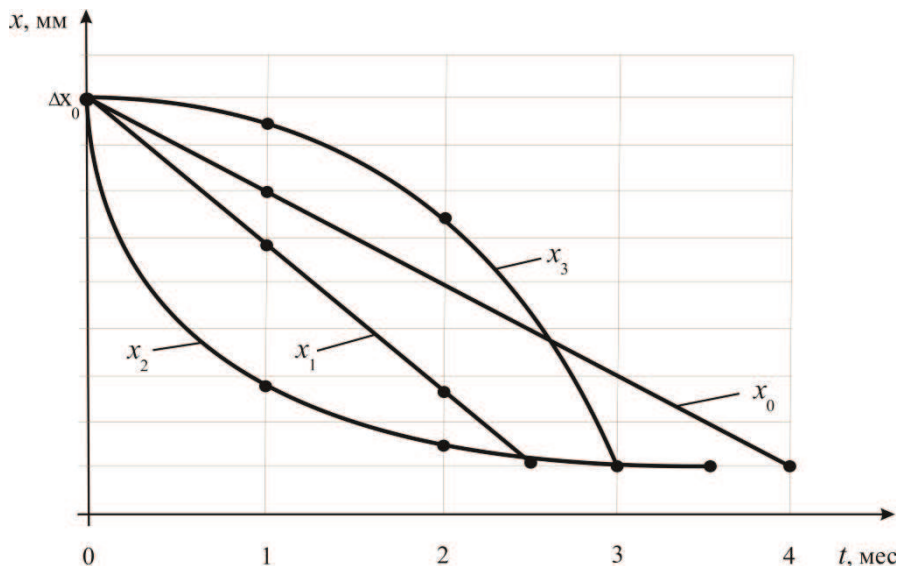


Рис. 6. Кинетическая модель перемещения зуба в эластопозиционере:  $\Delta x_0$  – начальная величина дефекта;  $x_0$  – усредненная клиническая кинетическая зависимость;  $x_1$  – линейная;  $x_2$  – экспоненциальная;  $x_3$  – параболическая индивидуальная

зуба во времени, причем с учетом не только индивидуальных особенностей ребенка, но и с реальным учетом силового воздействия эластопозиционера на интересующий зуб. Параллельное решение задачи теории упругости позволяет прогнозировать изменение силового давления на зуб и определять период времени, после которого необходима смена эластопозиционера на новый.

#### 4. Модель эластопозиционера. Структура расчетной схемы

В расчет включается только сам эластопозиционер. Считается, что зубной ряд пациента соответствует норме, кроме 2 верхних центральных резцов, выдвинувшихся на 1 мм в губном направлении.

Считается, что никаких дополнительных усилий, кроме тех, что возникают внутри аппарата, не прикладывается. Это связано со спецификой применения эластопозиционера, исключающего жевание и сосание.

Материал эластопозиционера существенно более эластичен, чем сплав металла или пластик. Поэтому выбраны его механические свойства, близкие к резине. Однако деформирование эластопозиционера остается упругим.

Для осуществления расчетов с помощью CAD-системы был создан трехмерный образ эластопозиционера, представленный на рис. 7.



Рис. 7. Иллюстрация компьютерной модели эластопозиционера:  
*а* – вид сверху, *б* – вид снизу

Поскольку в процессе использования рассматриваемого эластопозиционера остальные зубы, кроме центральных верхних резцов, сохранили свои физиологические места, данные области считаются не-

подвижными (рис. 8). В то время как часть поверхности позиционера, соприкасающаяся с выдвинутыми резцами, смещается на 1 мм в губном направлении (рис. 9).



Рис. 8. Неподвижные области эластопозиционера  $\Gamma_u$  помечены темно-серым цветом: *a* – вид сверху, *б* – вид снизу

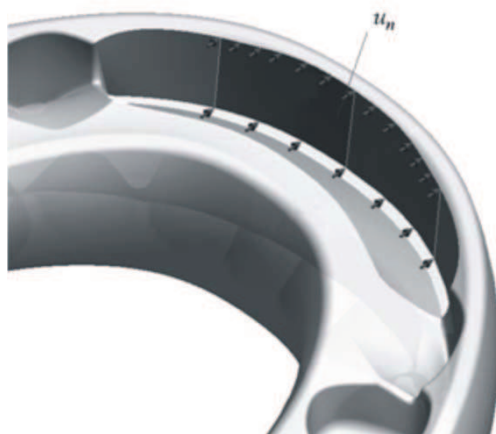


Рис. 9. Смещение внутренней стенки эластопозиционера  $u_n = 1$  мм в губном направлении

Все расчеты по определению и анализу напряженно-деформированного состояния эластопозиционера на зубных рядах с нарушенной окклюзией проводятся на основе линеаризованной теории упругости с известной поверхностью контакта с элементами зубного ряда. Далее приведены основные соотношения линеаризованной теории упругости в классической постановке.

Пусть исследуемое тело занимает ограниченную область  $\Omega$  трехмерного евклидова пространства  $E^3$ . Замыкание области обо-

значено через  $\bar{\Omega}$ , граница (которая считается достаточно гладкой) – через  $\Gamma(\bar{\Omega} = \Omega \cup \Gamma)$ . Постановка краевой задачи включает следующее:

Уравнение равновесия

$$\text{Div} \tilde{\sigma} + \vec{b} = 0, \quad \vec{x} \in \Omega, \quad (4)$$

где  $\tilde{\sigma}$  – симметричный тензор напряжений;  $\vec{b}$  – вектор объемной силы.

В формуле (1) и далее величины  $\tilde{\sigma}, \tilde{\varepsilon}, \vec{u}$  считаются функциями координат, представленными радиус-вектором  $\vec{x} \in \Omega$ .

Деформации будем считать малыми и аддитивными.

Упругие деформации связаны с напряжениями законом Гука

$$\tilde{\sigma} = \tilde{\tilde{C}} \cdot \tilde{\varepsilon}^e, \quad \vec{x} \in \bar{\Omega}, \quad (5)$$

где  $\tilde{\tilde{C}}$  – четырехвалентный тензор упругих констант,  $C_{ijkl} \in C^1(\bar{\Omega})$ .

Соотношения деформация – перемещения записываются в рамках линеаризованной теории упругости:

$$\tilde{\varepsilon}(\vec{u}) = \frac{1}{2}(\bar{\nabla} \vec{u} + \vec{u} \bar{\nabla}), \quad \vec{x} \in \bar{\Omega}, \quad (6)$$

где  $\vec{u}$  – вектор перемещения,  $\vec{u} \in (C^2(\bar{\Omega}))^3$ .

Компоненты тензора деформации удовлетворяют условиям совместности деформаций, которые эквивалентны обращению в нуль компонент тензора второго ранга:

$$\text{rot}(\text{rot} \tilde{\varepsilon})^T = 0, \quad \vec{x} \in \bar{\Omega}. \quad (7)$$

Граница области  $\Gamma$  делится на две взаимно непересекающиеся части:  $\Gamma = \Gamma_u \cup \Gamma_\sigma$ . На части границы  $\Gamma_u$  заданы нулевые кинематические граничные условия, на части  $\Gamma_\sigma$  задан вектор напряжений  $\vec{t}$ :

$$\vec{u} = 0, \quad \vec{x} \in \Gamma_u. \quad (8)$$

$$\vec{n} \cdot \tilde{\sigma} = \vec{t}, \quad \vec{x} \in \Gamma_\sigma. \quad (9)$$

Конкретно на поверхности перемещаемого зуба по нормали к поверхности контакта с эластопозиционером

$$u_n = \Delta x_0, \quad (10)$$

где  $\Delta x_0$  – начальная величина дефекта.

Условие прилипания на контакте зуб–эластопозиционер имеет вид

$$u_\tau = u_b = 0. \quad (11)$$

Механические свойства материалов, используемые в модели (модуль упругости, коэффициент Пуассона):  $E = 6$  МПа,  $\nu = 0,49$ .

### 5. Результаты расчета состояния эластопозиционера

Описанная выше расчетная схема со всеми указанными значениями механических свойств материалов, используемых в модели, и заданными граничными условиями на дальнейшем этапе расчетов предполагает использование метода конечных элементов. На рис. 10. показана конечно-элементная модель эластопозиционера.



Рис. 10. Разбиение эластопозиционера на конечные элементы:  
*a* – вид сверху, *б* – вид снизу

После реализации метода конечных элементов при указанных выше условиях получены результаты (рис. 11, 12). Так, по диаграмме на рис. 11 видно, что большая часть эластопозиционера остается малодеформированной, в то время как в области контакта с поверхностью центральных резцов верхней челюсти перемещения достигают своих наибольших значений  $u_{\max} = 1,11$  мм. Аналогичные выводы относительно данной области ортодонтического аппарата можно сделать об эквивалентной деформации  $\varepsilon_{\max} = 0,3$  и интенсивности напряжений  $\sigma_{i\max} = 2,7$  МПа.

На рис. 12 представлены компоненты напряжений  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  по области контакта эластопозиционера с зубами. В дальнейшем, зная площадь контакта зуба с эластопозиционером, представляется возможным нахождение силы, действующей на конкретный зуб в зубном ряду.



$$u_{\max} = 1,11 \text{ мм}$$

$$\begin{cases} u_x = 0,30 \text{ мм} \\ u_y = 0,30 \text{ мм} \\ u_z = 1,03 \text{ мм} \end{cases}$$

$$\varepsilon_{\max} = 0,3$$

$$\sigma_{i\max} = 2,7 \text{ МПа}$$

Рис. 11. Максимальные величины перемещений, эквивалентной деформации и интенсивности напряжения в эластопозиционере

$$1. \begin{cases} \sigma_x = 0,21 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 0,18 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 0,25 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$2. \begin{cases} \sigma_x = 1,10 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 0,99 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 1,13 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$3. \begin{cases} \sigma_x = 1,07 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 0,72 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 1,18 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$4. \begin{cases} \sigma_x = 1,06 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 1,07 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 1,16 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$5. \begin{cases} \sigma_x = 0,87 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 0,62 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 1,02 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$6. \begin{cases} \sigma_x = 1,39 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 1,02 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 1,37 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$7. \begin{cases} \sigma_x = 1,21 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 1,05 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 1,18 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$8. \begin{cases} \sigma_x = 0,36 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 0,37 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 0,41 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$9. \begin{cases} \sigma_x = 1,69 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 1,02 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 2,50 \text{ МПа} \end{cases}$$



$$10. \begin{cases} \sigma_x = 2,55 \text{ МПа} \\ \sigma_y = 1,84 \text{ МПа} \\ \sigma_z = 3,47 \text{ МПа} \end{cases}$$

Рис. 12. Максимальные величины компонент напряжений на контакте с зубами

## Выводы

1. Рассмотрены медицинские проблемы исправления одной из форм неправильного прикуса (протрузия центральных резцов) с помощью эластопозиционера.

2. Предложен подход к индивидуальному моделированию ортодонтического перемещения зубов на основе идеи параллельного периодическому мониторингу кинетического моделирования.

3. Поставлена и решена задача определения напряженно-деформированного состояния эластопозиционера в случае протрузии центральных резцов верхней челюсти.

## Библиографический список

1. Гвоздева Ю.В., Данилова М.А. Миофункциональные нарушения у детей: моногр. / Перм. гос. мед. акад. – Пермь, 2009. – 134 с.

2. Гвоздева Ю.В., Данилова М.А. Обоснование проведения профилактических мероприятий, направленных на коррекцию миофункциональных нарушений в период прикуса временных зубов // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2009. – Т.8, №1. – С. 51–56.

3. Царева Т.Г. Стоматология детского возраста и профилактика // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2005. – Т.4, №1. – С. 73–74.

4. Данилова М.А., Шмурзин П.В. Аномалии зубных рядов: доклиническая диагностика дисфункции височно-нижнечелюстного сустава // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2008. – Т.7, №4. – С. 34–36.

5. Шулёпова, О.П. Конструктивные особенности съёмных аппаратов при лечении аномалий прикуса с латеральным смещением нижней челюсти // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2006. – Т.5, №1. – С. 45–48.

6. Бурлуцкая С.И. Лечение сужения зубных рядов, вызванных задержкой роста апикальных базисов челюстей в периоде сменного прикуса // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2006. – Т.5, №3. – С. 636–637.

7. Нарушения звукопроизношения у детей с аномалиями и деформациями челюстно-лицевой области в периоде сменного прикуса / В.В. Харке, Н.Ю. Григоренко, Д.С. Дмитриенко, Е.В. Филимонова // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2008. – Т.7, №2. – С. 35–38.



8. Андреищев А.Р., Соловьев М.М. Сравнение результатов лечения при различных схемах использования ортодонтических дуг на хирургическом этапе комбинированного лечения аномалий прикуса // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2006. – Т.5, №3. – С. 80–89.

9. Гаязов А.Р., Анохина А.В. Частота и структура окклюзионных нарушений в периоде сменного прикуса // Общественное здоровье и здравоохранение. – 2005. – №3. – С. 54–57.

10. Хроменкова К.В., Дыбов А.М., Оспанов Г.Б. Клинический опыт применения миофункциональных аппаратов у детей // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2009. – Т.8, №1. – С. 48–50.

11. Л.Ф. Оборин. Взаимодействие биомеханических и гемодинамических факторов при повреждении височно-нижнечелюстного сустава врожденного и приобретенного происхождения // Российский журнал биомеханики. – 2009. – Т. 13, № 4.

12. Е.А. Олейник. Скученное положение зубов – фактор риска развития кариеса и заболеваний пародонта // Институт стоматологии. – 2007. – Т.1. – № 34.

13. Стоматология сегодня. – URL: [www.dentoday.ru](http://www.dentoday.ru)

14. Центр «Ортодонт». – URL: [www.ortodont-center.ru/patients/](http://www.ortodont-center.ru/patients/)

15. Селянинов А.А., Вихарева Е.В. Кинетика биодеструкции лекарственных средств – производных фенола, изохинолина и карбоновых кислот // Российский журнал биомеханики. – 2010. – Т. 14, № 2. – С. 79–91.

16. Эластопозиционеры. – URL: [www.doctorplotnikov.ru](http://www.doctorplotnikov.ru)

Получено 02.07.2011

**A.A. Selyaninov, A.V. Totmyanina**

The Perm national research polytechnic university

## **BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE CORRECTION DENTITION WITH ELASTOPOZITSIONEROV**

Reviewed clinical examples eliminate malocclusion using elasto-pozitsionerov affecting the functioning of the mimic and masticatory muscles. Based on real data, a kinetic model of tooth movement in elasto-pozitsionere. Constructed finite element model of the orthodontic device, allows to determine the load to move incorrectly placed teeth.

**Keywords:** dentoalveolar system, occlusion, dentition, miofunctional violation, elasto-pozitsioner (elastic trainer), tooth movement.