

УДК 531/534:[57+61]

БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ КОРРЕКЦИИ ЗУБНОГО РЯДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛАСТОПОЗИЦИОНЕРОВ

А.А. Селянинов, А.В. Тотьянина, Р.М. Подгаец

Кафедра теоретической механики Пермского национального исследовательского политехнического университета, Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, e-mail: Mireille@yandex.ru

Аннотация. Анализируются причинно-следственные связи неправильного прикуса с различными патологиями зубочелюстного блока, являющегося элементом создаваемой глобальной концепции виртуального физиологического человека. Разработана методика приемлемого способа определения текущей протрузии центральных верхних резцов при сопутствующем лечении мониторинге. Предложена идея биомеханического сопровождения коррекции зубного ряда детей дошкольного и младшего школьного возраста с применением эластопозиционеров. Сопровождение заключается в параллельном кинетическом моделировании определяющего параметра перемещения зубов при аномалии в виде протрузии и связанной с ней постановкой и решением контактной задачи теории упругости для эластопозиционера.

Ключевые слова: зубочелюстная система, прикус, зубочелюстные аномалии, эластопозиционер, лечение протрузии, биомеханическое сопровождение.

ВВЕДЕНИЕ

Неправильное расположение зубов, а также любое нарушение в работе зубочелюстной системы могут 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 неполный перечень проблем, спровоцированных аномалиями зубочелюстного развития [10, 16, 22, 23].

Ключевым признаком неправильного прикуса являются различные отклонения от нормы при смыкании верхних и нижних зубов вплоть до полного отсутствия смыкания на отдельных участках.

В зависимости от характера аномалии выделяются следующие виды неправильного прикуса:

- глубокий прикус (верхние резцы перекрывают фронтальную поверхность нижних резцов более чем на 50%);
- открытый прикус (не смыкается большинство зубов обеих челюстей);
- дистальный прикус (недоразвита нижняя челюсть);
- мезиальный прикус (нижняя челюсть заметно выдвинута вперед по отношению к верхней челюсти);
- перекрестный прикус (недоразвитость одной стороны какой-либо из челюстей);
- дистопия (часть зубов расположена неправильно, не на своем месте).

Один из видов зубочелюстных аномалий при неправильном прикусе – протрузия (выпячивание) центральных верхних резцов, которые являются элементом зубоальвеолярного блока [16, 29]. Он, в свою очередь, входит в зубочелюстную систему. Сама зубочелюстная система – одна из структур виртуального физиологического человека. В связи с этим объект исследования и устранение связанной с ним проблемы вписываются в концепцию виртуального физиологического человека – структуру, которая дает возможность исследовать тело человека как единую систему [16].

В настоящее время той или иной формой неправильного прикуса обладает подавляющее число людей [10]. Например, среди детей дошкольного и младшего школьного возраста аномалии зубных рядов занимают третье место после кариеса и заболеваний пародонта. В частности, протрузии центральных верхних резцов подвержены примерно 70% детей. Поэтому привлекают к себе внимание методы устранения этой аномалии с применением ортодонтических аппаратов. Воздействие данных аппаратов на неправильно стоящие зубы носит явно механический характер, поэтому представляется полезным биомеханическое сопровождение процесса лечения протрузии центральных верхних резцов.

Процесс перемещения зуба с помощью силового воздействия связан с перестройкой костной ткани альвеолярного отростка. Механизм перестройки губчатой ткани изучен недостаточно. В работах [1, 2] предложен кинетический подход на мезоуровне к перестройке трабекулярной костной ткани при деформационном стимуле, однако ввиду огромного числа факторов, влияющих на перестройку и собственно на перемещение зуба, биомеханический процесс устранения протрузии для конкретного пациента является по сути случайным. Отмеченный выше подход применить затруднительно, а исследования с использованием теории случайных процессов требуют массовых статистических данных.

В работах [6, 7] для изучения биомеханических процессов предложен подход к решению этого вопроса на макроуровне, а именно: выделяется определяющий параметр процесса и изучается кинетика его изменения, проводится мониторинг. Иногда достаточно одного кинетического моделирования, чаще параметры кинетического уравнения зависят от механического воздействия, в результате чего приходим к необходимости постановки краевой задачи, связанной с кинетическим уравнением. Такая постановка задачи является основой биомеханического сопровождения процесса устранения протрузии центральных верхних резцов.

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ НЕПРАВИЛЬНОГО ПРИКУСА

Любой из видов неправильного прикуса может привести к неприятным последствиям для организма человека. Помимо эстетических проблем с неровным зубным рядом и искаженной формой лица, неправильный прикус может ускорить развитие целого ряда заболеваний ротовой полости, а также общих заболеваний организма (табл. 1).

Каждый прикус характеризуется тремя признаками:

- 1) зубным (положение зубов, форма зубных рядов и их соотношение);
- 2) миодинамическим (относительно устойчивый баланс между функцией жевательных и мимических мышц челюстно-лицевой области);
- 3) суставным (положение нижней челюсти по отношению к элементам височнонижнечелюстного сустава).

При зубочелюстных аномалиях отмечаются нарушения во всех трех аспектах окклюзии.

С целью анализа причинно-следственных связей аномалий прикуса рассмотрены причины возникновения неправильного прикуса, которые сведены в табл. 2.

Таблица 1

Последствия неправильного прикуса

Дети	Взрослые	Дети / Взрослые
1. Нарушение дикции (речи) [17]	1. Потеря памяти [18, 33]	1. Нарушение функций жевательных и мимических мышц [12, 22, 34]
2. Инфантильное глотание (характерное для младенцев) [27]	2. Слабоумие [18]	2. Кариес [23, 27, 34]
3. Нарушение функций дыхания (ротовое дыхание) [8, 27]	3. Выпадение волос [20]	3. Заболевания пародонта [23, 34]
4. Неправильная осанка [8]	4. Ишемическая болезнь сердца (ИБС), летальный исход от ИБС [26]	4. Деформации височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) [22, 34]
	5. Апноэ (временное отсутствие дыхания) [4, 22]	
	6. Нарушение функций кровеносных сосудов головного мозга [22]	
	7. Головная боль [31]	

Таблица 2

Причины неправильного прикуса

Дети	Дети / Взрослые
1. Ротовое дыхание [8]	1. Генетические особенности строения лицевого скелета [21]
2. Вредные привычки (например сосание пальца) [10, 21]	2. Травма челюсти [25]
3. Нарушение мышечной функции (прокладывание языка между зубами, неправильное глотание) [10, 25]	3. Подвывих или нарушение функции височно-нижнечелюстных суставов [25]
4. Респираторно-вирусные заболевания [10]	4. Потеря отдельных зубов, при которой соседние зубы наклоняются в сторону дефекта [25]
5. Заболевания ЛОР-органов (уха, горла, носа, глотки, гортани) [10]	5. Ошибки стоматологического лечения [25]
6. Искусственное вскармливание [32]	6. Заболевания пародонта [25]
	7. Стираемость зубов, бруксизм (усиленное трение, скрежетание и стирание зубов, обычно во время сна) [19, 25]

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, острые респираторные заболевания.

Это, в свою очередь, приводит к недоразвитию зубочелюстной системы и различным челюстно-лицевым аномалиям по причине того, что ротовое дыхание способствует задержке роста гайморовых пазух, поэтому происходит недоразвитие воздухоносных путей и лицевого скелета. Аномалии прикуса сопровождаются нарушением осанки и провоцируют у детей расстройства дыхания во сне, а также храп [10].

В настоящее время согласно литературным источникам особое внимание уделяется проблеме миофункциональных нарушений у детей, возникающих вследствие аномалий зубочелюстной системы, чрезвычайная распространенность которых, отмечаемая в последнее десятилетие различными авторами [9, 11, 14, 35, 37], определяет необходимость изыскания доступных и эффективных методов их устранения [5]. Так, например, авторы работы [36] с целью оценки общей клинической эффективности миофункциональных аппаратов (так называемых эластопозиционеров), применяемых для устранения миофункциональных нарушений, обследовали некоторое количество детей. В результате был сделан 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 [36].

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.

Шведские ученые обнаружили, что при утрате зубов повышается риск смерти от ишемической болезни сердца (ИБС), одной из наиболее опасных форм которой является инфаркт миокарда. Как выяснилось, чем меньше зубов осталось у человека, тем выше риск. Проведенные ранее исследования выявили увеличение частоты возникновения сердечно-сосудистых патологий при заболеваниях полости рта, однако прямая связь между числом зубов и риском смерти от ИБС показана впервые.

В Каролинском институте в течение 12 лет наблюдали за 7674 людьми, большинство из которых страдали заболеваниями периодонта – тканей, примыкающих к зубу и удерживающих его в лунке. За время исследования 629 его участников умерли, из них 299 – от болезней сердца, сообщает газета «Подробности» со ссылкой на агентство *AFP*.

Анализ полученных данных показал, что у людей с 10 собственными зубами и менее риск смерти от ИБС в семь раз выше, чем у людей того же возраста и пола, имеющих более 25 зубов. Руководитель исследования Андерс Холмлунд пояснил

результаты работы следующим образом: число оставшихся зубов оказалось надежным интегральным показателем того, сколько воспалительных заболеваний полости рта (которые являются фактором риска возникновения ИБС) человек перенес за свою жизнь.

Испанские ученые заметили, что у пациентов с гнездным облысением проплешины появляются на фоне больных зубов. Оказывается, запущенные зубные инфекции могут проникать в ткани и даже достигать волосяных покровов, вызывая облысение.

Норвежские медики, проводившие исследование памяти человека, пришли к неожиданному выводу. Память человека, как оказалось, имеет своеобразную зависимость от количества зубов, и ее состояние может резко ухудшиться после удаления очередного зуба. Чтобы получить данную закономерность, норвежские специалисты на протяжении более двадцати лет наблюдали за группой добровольцев. Исследование показало, что способности к запоминанию у добровольцев уменьшались по мере потери зубов. При этом ухудшение памяти никак не коррелировало с установкой зубных пломб.

Объясняя данную зависимость, специалисты-пародонтологи отмечают, что существует непосредственная связь между нервными окончаниями зубов человека и определенными участками головного мозга, которые, как предполагается, отвечают за состояние памяти. К подобным выводам пришли и японские исследователи. Они установили, что потеря зубов приводит к ухудшению памяти. Оказывается, инфекция десен, которая способствует выпадению зубов у людей пожилого возраста, влияет на работу мозга, повышая риск развития старческого слабоумия.

Кроме того, японские ученые, обследовавшие более 4000 пенсионеров в возрасте 65 лет и старше, установили, что люди пожилого возраста, имеющие проблемы выпадения зубов, чаще страдают от деменции (слабоумия) по сравнению со своими сверстниками, у которых осталось достаточное количество собственных зубов. В результате анализа полученных данных оказалось, что потеря зубов связана с симптомами ухудшения памяти и проявлением признаков болезни Альцгеймера.

Инфекции десен могут быть причиной утраты зубов, а инфекция сама по себе является источником воспалительных агентов, которые усиливают воспалительные процессы в головном мозге. Это приводит к тому, что нейроны отмирают, и у человека ухудшается память. Более того, отмирание нейронов связано с потерей чувствительных рецепторов в области зуба. В результате образуется замкнутый круг: разрушение нейронных связей в мозге приводит к потере зубов, что еще больше способствует снижению когнитивных функций.

Впрочем, исследователи признают, что люди с признаками ухудшения памяти реже посещают стоматолога, и в связи с этим состояние полости рта у них обычно хуже, чем у людей с хорошей памятью.

Поэтому на сегодняшний день актуально и важно устранение аномалий зубных рядов и, как результат, устранение миофункциональных нарушений, для чего применяются эластопозиционеры. Обратимся к конкретной аномалии неправильного прикуса – протрузии.

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

В связи с этим необходимо биомеханическое сопровождение коррекции зубного ряда с применением эластопозиционеров.

БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ КОРРЕКЦИИ ЗУБНОГО РЯДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛАСТОПОЗИЦИОНЕРОВ

По некоторым методикам, известным в клинической практике, величины перемещений неправильно расположенных зубов измеряются согласно гипсовым контрольно-диагностическим моделям челюстей пациента. Данная процедура обычно выполняется при первом посещении пациентом врача и на заключительном этапе лечения.

Для реализации предложенной методики в процессе биомеханического сопровождения необходимо выполнять замер величины протрузии Δx с некоторой периодичностью, например, один раз в месяц. Зная три первых замера величины данной аномалии, представляется возможным в первом приближении выбрать вид кинетического уравнения, построить график кинетической кривой (рис. 1) и оценить так называемую начальную скорость, с которой зуб будет перемещаться в течение некоторого промежутка времени под действием некоторой силы давления со стороны эластопозиционера.

По начальной скорости можно прогнозировать время лечения конкретного пациента $t_{\text{леч}}$ или рекомендовать замену действующего эластопозиционера на новый в случае неэффективного его применения, т.е. определять $t_{\text{зам}}$.

Очевидно, что по мере перемещения зуба в его правильное положение сила, действующая на него, со временем уменьшается. Когда сила давления выходит из рекомендуемого кликой предела (рис. 2), т.е. превышает его или, наоборот, уменьшается, дальнейшее лечение отрицательно сказывается на здоровье пациента в первом случае и приводит к неэффективному лечению во втором.

Поэтому необходима реализация связанной постановки контактной задачи теории упругости, результатом решения которой является определение силы давления на неправильно стоящие центральные верхние резцы, и кинетического уравнения, которое позволяет рассчитать скорость перемещения зубов.

Эластопозиционер оказывает давление на перемещаемые зубы, а также воздействует на остальные зубы верхнего и нижнего зубных рядов со значительно меньшими усилиями. Это расценивается положительно, так как корректируются сопутствующие аномалии зубного ряда. Для исключения отрицательного воздействия на правильно стоящие зубы необходимо выполнить ограничения по максимальной величине действующей на них силы F_{max} . Она может быть определена из клинического опыта, который показал неэффективность применения эластопозиционера при величине отклонения зуба 1 мм от нормального положения в зубном ряду.

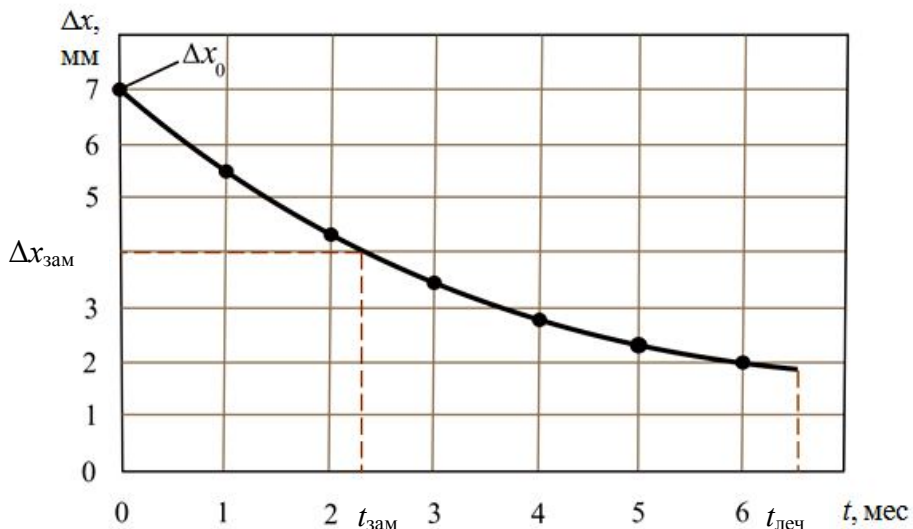


Рис. 1. Кинетическая кривая перемещения зуба

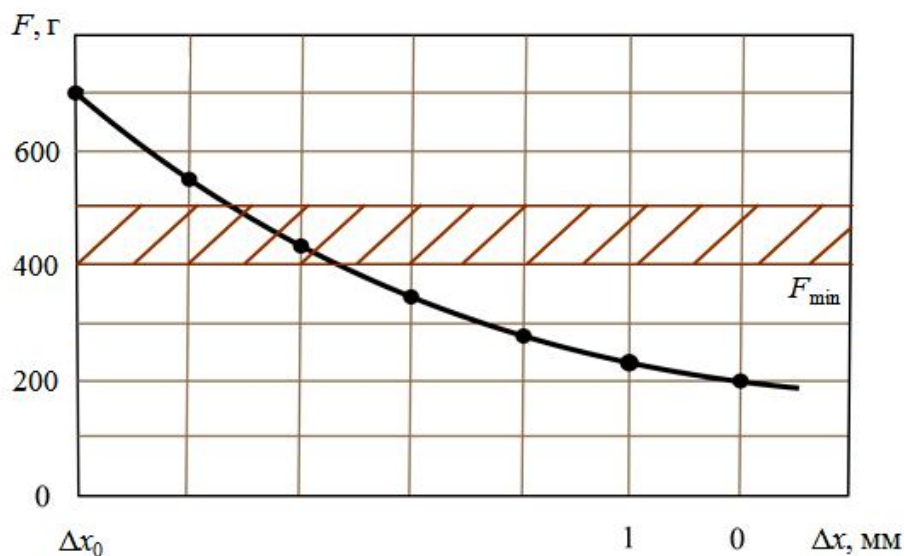


Рис. 2. Изменение силы давления на перемещаемый зуб

Биомеханическое сопровождение позволяет:

- изучить кинетику перемещения зуба при протрузии с применением эластопозиционеров;
- установить зависимость силы давления на перемещаемый зуб от текущей величины протрузии верхних центральных резцов;
- определить давление эластопозиционера на остальные зубы обоих зубных рядов;
- оценить время эффективного применения эластопозиционера для конкретного пациента и спрогнозировать время лечения, а также время замены эластопозиционера на другой в случае неэффективного лечения.

В отличие от брекет-системы, на установку которой нужно только решиться, эластопозиционер требует более ответственного отношения к режиму его использования. Соблюдение режима – серьезная проблема, особенно для ребенка. Посещая регулярно врача при биомеханическом сопровождении лечения ребенка, родители видят реальный результат перемещения зуба, имеют информацию о скорости, времени лечения.

В результате биомеханическое сопровождение позволяет применять щадящую для ребенка методику текущего измерения величины протрузии; повышает мотивацию (для ребенка и родителей) применения эластопозиционера днем и ночью в рекомендованном режиме; мотивацию к регулярным посещениям врача.

Итак, можно сформулировать следующие цели работы:

- 1) изучение кинетики перемещения зуба с применением эластопозиционеров (дети/взрослые, мужчины/женщины) на основе клинических данных;
- 2) разработка методики параллельного кинетического моделирования перемещения зуба, позволяющей в полной мере учесть индивидуальные особенности пациента;
- 3) разработка математической модели для определения усилия, действующего на корректируемый зуб со стороны эластопозиционера, которое является определяющим фактором (силовым стимулом) перемещения, т.е. перестройки элементов зубного ряда;
- 4) определение предельной величины давления эластопозиционера на здоровые зубы;
- 5) введение критерия эффективности применения эластопозиционера для конкретного пациента.

ОРТОДОНТИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

В ортодонтии используются три типа аппаратов: механически-действующие, функционально-действующие и сочетанные.

Большинство механически-действующих ортодонтических аппаратов (например, брекет-системы (рис. 3)) воздействуют на зубы, исправляя их положение и форму зубных рядов, а также создают условия для правильного смыкания зубов-антагонистов. Брекет-система представляет собой несъемную конструкцию, активным элементом которой являются различного диаметра и состоящие из различных сплавов дуги, позволяющие регулировать силы давления на зубы для их размещения в правильном положении.

Для установления нормального взаимного расположения верхнего и нижнего зубных рядов применяются эластичные резиновые стяжки [13]. К преимуществу брекет-системы можно отнести возможность исправления значительных по величине аномалий элементов зубного ряда. К недостаткам брекет-системы следует отнести то, что данная конструкция является дорогостоящей, несъемной и травмирующей. Ее необходимо носить в течение длительного промежутка времени (от одного года и более) с частым посещением врача пациентом [13].

Функциональные аппараты (например, эластопозиционеры) при раннем ортодонтическом лечении направляют рост челюстей, способствуют сдерживанию или стимуляции роста различных отделов челюстей, устраняют неблагоприятное воздействие мимических и жевательных мышц, а также языка [39]. К преимуществам лечения эластопозиционерами можно отнести то, что данные аппараты являются съемными, не травмируют десны и слизистую рта, их следует носить преимущественно ночью (два часа днем и на протяжении всей ночи); кроме того, при их использовании ощутимо сокращаются сроки лечения [39].

Применение эластопозиционеров с целью закрытия небольших трем (промежутков) между зубами и достижения сверхточных окклюзионных контактов впервые предложил в 1945 г. доктор Кеслинг (США). Используя при этом высокоэластичный каучук (твердость 50 и 70 по Шору) обеспечивал смещение зубов на расстояние до 4 мм. 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.

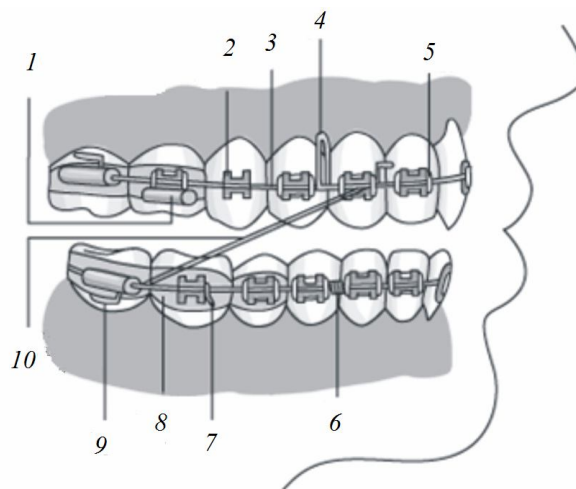


Рис. 3. Брекет-система: 1 – трубка для установки челюстного аппарата; 2 – брекет; 3 – дуга; 4 – петля на дуге; 5 – эластичное крепление; 6 – круглая пружина; 7 – закрепляющая проволока; 8 – крепление; 9 – крючок; 10 – эластичная резиновая стяжка [13]

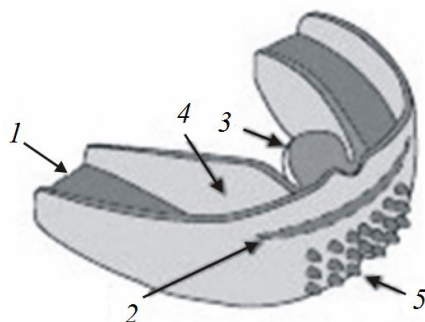


Рис. 4. Устройство эластопозиционера: 1 – канавки для зубов; 2, 5 – губные щиты; 3 – специальный язычок для коррекции положения языка в полости рта; 4 – языковая защитка [39]

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 серьезным 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 α -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 применением аппаратов, изготовленных из данного материала, осуществляется быстрее и эффективнее, чем при использовании конструкций из прежних материалов.

Различают индивидуально изготовленные и стандартные эластопозиционеры.

Идея создания эластопозиционеров возникла в результате продолжительных научных исследований, благодаря которым было установлено, что размеры челюстей и зубов населения земного шара можно распределить по 6 группам.

На рис. 4 представлено устройство эластопозиционера.

Эластопозиционер – это очень гибкая конструкция, параболическая 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.

В аппарат включен специальный язычок 3 для коррекции положения языка в полости рта. Языковая защитка 4 препятствует высыванию 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.

КЛИНИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ ИСПРАВЛЕНИЯ ПРИКУСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛАСТОПОЗИЦИОНЕРОВ

Рассмотрим ряд литературных данных по клиническим примерам исправления прикуса с применением ортодонтических аппаратов. В работах [24, 30] описаны силовые и временные параметры применения эластопозиционеров и брекет-систем для исправления аномалий челюстной системы детей в возрасте от 6 до 9 лет, а именно: глубокого прикуса (чрезмерного перекрытия нижнего зубного ряда верхним), протрузии центральных резцов (выпячивания из зубного ряда), сужения верхней челюсти, сагиттальной щели (расстояния между зубами верхнего и нижнего зубных рядов при их смыкании).

На рис. 5, 6 представлен клинический случай пациента девяти лет. При первичном осмотре выявлены протрузия центральных резцов, сагиттальная щель и другие аномалии зубных рядов. Лечение проводилось в течение пяти месяцев с использованием эластопозиционеров, в результате величина аномалии в сагиттальной плоскости уменьшилась до 1 мм [30].

Данные по клиническим примерам сведены в табл. 3.

Согласно литературным данным, имеются начальные и конечные величины аномалий, пределы изменения силы давления на перемещаемые зубы при переменном режиме нагрузки, а также время лечения. Это позволяет отследить усредненную скорость перемещения неправильно стоящих зубов в нормальное положение. Значения скорости отличаются у разных пациентов, причем этот показатель не отражает реальную кинетику процесса во времени.

Рассмотрим методы диагностики аномалий зубных рядов пациента двадцати пяти лет с протрузией центральных верхних резцов с целью разработки методики определения необходимых индивидуальных параметров для биомеханического сопровождения лечения протрузии с применением эластопозиционеров.

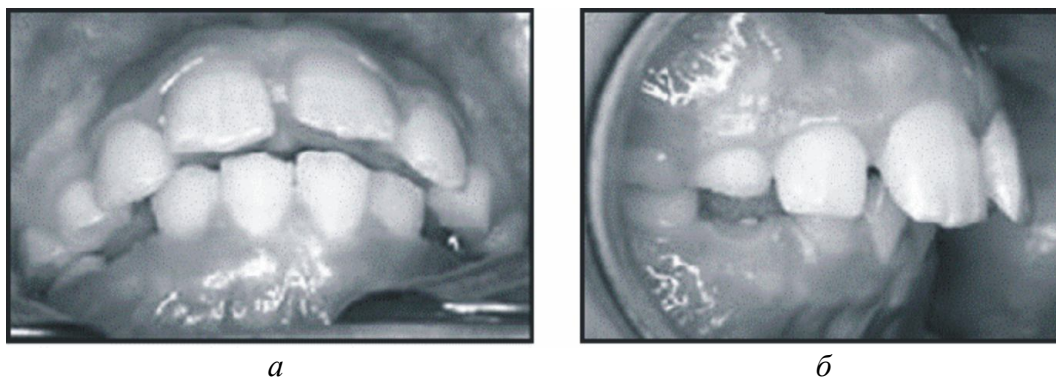


Рис. 5. Клинический пример. Пациент, 9 лет, до лечения: *а* – вид спереди; *б* – вид сбоку

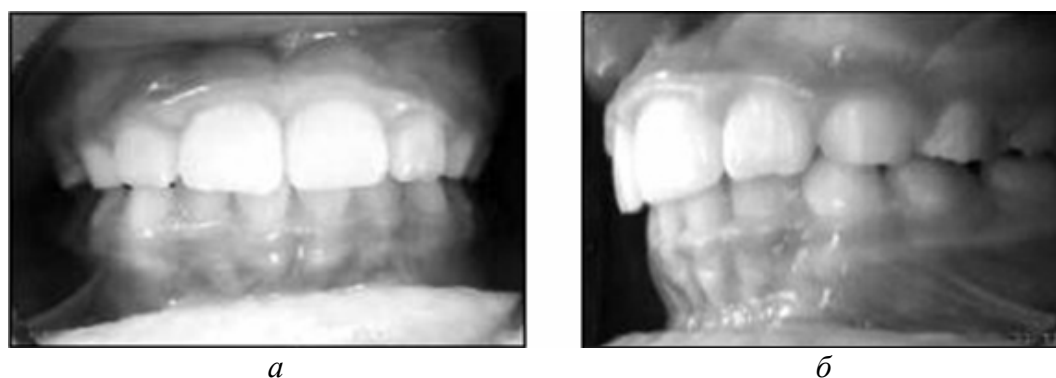


Рис. 6. Клинический пример. Пациент, 9 лет, после лечения: *а* – вид спереди; *б* – вид сбоку

Таблица 3

Клинические данные по лечению протрузии центральных верхних резцов

Показатель	Способ лечения		
	Эластопозиционер		Брекет-система
	Пациент, 6 лет [30]	Пациент, 9 лет [30]	Пациентка, 12 лет [24]
Начальная величина – протрузии, мм – нагрузки, г	5 400	9 400–500	7 –
Конечная величина – протрузии, мм – нагрузки, г	1 –	1 400	1 –
Время лечения, месяц	6	5	20
Режим нагрузки	–	Переменная	–

В клинической практике используется ряд методов диагностики аномалий зубного ряда, которые, в частности, фиксируют параметры протрузии центральных верхних резцов. По отношению к протрузии важное значение имеют ортопантомография (ОПТГ) и телерентгенография (ТРГ). ОПТГ является одним из самых современных методов рентгенологического обследования, он проводится для диагностики стоматологических заболеваний и контроля эффективности проводимого лечения. Ортопантомограмма – это рентгеновский снимок, который дает представление о состоянии зубов, костной ткани челюстей, височно-нижнечелюстных суставов, верхнечелюстных пазух (рис. 7).

При биомеханическом сопровождении по ортопантомограмме для перемещаемого зуба определяются индивидуальные для пациента параметры: ширина коронки A , проекции длины корня H и высоты коронки B . В данном случае проекция длины корня H равна 13,5 мм, а проекция высоты коронки B равна 9 мм.

Зуб с протрузией в эластопозиционере из-за действия силы давления поворачивается в нормальное положение относительно центра вращения [16]. Положение центра вращения определяется углом поворота зуба $\Delta\varphi$ и величиной аномального смещения режущей кромки зуба Δx_0 , значения которых необходимы при биомеханическом сопровождении для задания граничных условий при определении упругого состояния эластопозиционера с целью расчета сил давления на зубы. Смещение режущей кромки зуба Δx_0 можно определить по контрольной диагностической модели челюстей и оттискам на восковой пластине. Угол поворота $\Delta\varphi$ позволяет восстановить величины длины корня H и высоты коронки B по их проекциям из ОПТГ. Величину угла $\Delta\varphi$ можно определить с помощью ТРГ.

ТРГ – рентгенография черепа в прямой и боковой проекциях, выполняемая с большого расстояния для получения изображения, близкого по размерам к исследуемому объекту (рис. 8).

По ТРГ анализируется правильность расположения верхней и нижней челюстей, наклоны зубов относительно основания черепа, проводится оценка мягких тканей лица. Эти данные необходимы для постановки ортодонтического диагноза и выбора правильного метода лечения.

Для биомеханического сопровождения по телерентгенограмме определяется угол отклонения неправильно стоящего зуба $\Delta\varphi$ от нормального положения, который характеризует аномалию в виде протрузии. В данном случае $\Delta\varphi = 10^\circ$. С учетом этой величины определяются высота коронки и длина корня зуба: $B = 9$ мм, $H = 13,5$ мм.

Геометрия зуба с аномалией приведена на рис. 9.

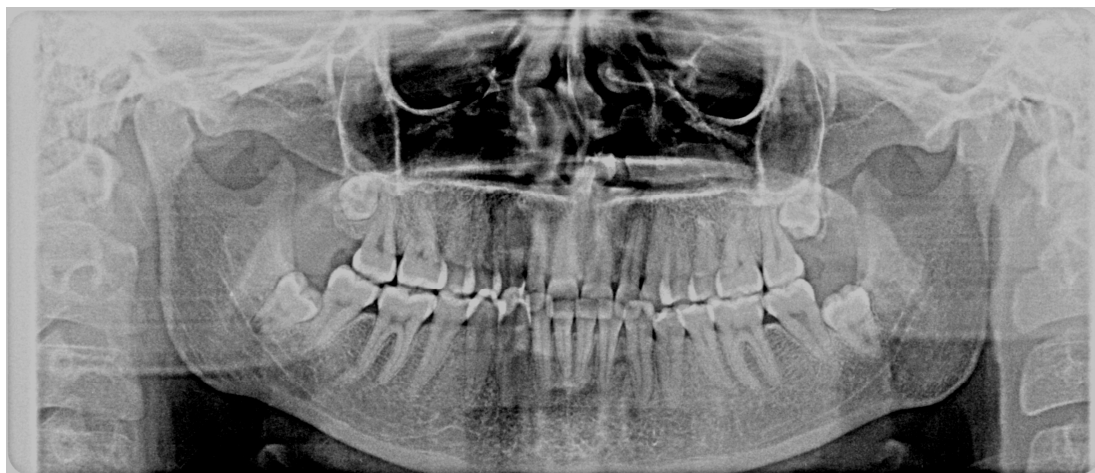


Рис. 7. Пример ортопантомограммы пациента А., 25 лет



Рис. 8. Пример телерентгенограммы пациента А., 25 лет

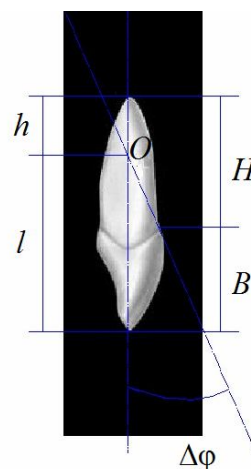


Рис. 9. Размеры верхнего правого центрального резца: H – длина корня, B – высота коронки, h – расстояние до центра вращения, $\Delta\phi$ – угол отклонения зуба, l – расстояние от режущей кромки зуба до центра вращения (точка O)

В клинической практике распространена процедура снятия слепков и отлив гипсовых контрольно-диагностических моделей (рис. 10). Модели наглядно и достаточно точно отражают аномалии зубных рядов и прикуса в целом. Обычно модели отливают перед лечением для диагностики и после лечения для контроля результатов.

ОПТГ, ТРГ и гипсовые модели дают полную картину аномалий прикуса с перекрестным контролем численных значений их параметров. Однако, периодическое дорогостоящее применение этих методов неблагоприятно для здоровья детей. Также неприятна (особенно для ребенка) и длительна по времени процедура снятия слепков и отлив по ним гипсовых контрольно-диагностических моделей. В связи с этим разработана упрощенная методика замера величины протрузии по слепкам (оттискам) на восковых пластинках (рис. 11).

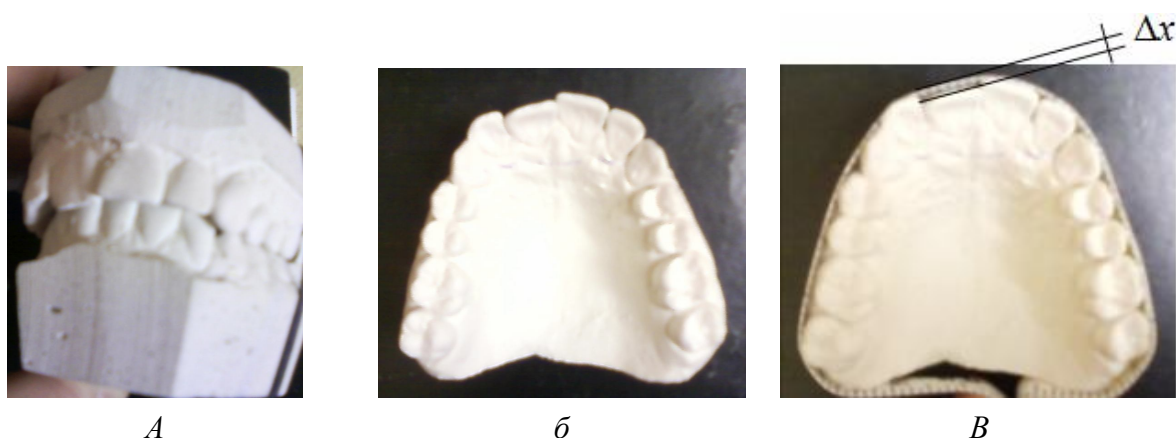


Рис. 10. Контрольная диагностическая гипсовая модель (КДМ): а – верхней и нижней челюстей; б – верхней челюсти (вид снизу); в – верхней челюсти (вид снизу с приложенной к модели линейкой, Δx – текущая величина протрузии)



Рис. 11. Слепок зубного ряда верхней челюсти на восковой пластинке

Для проверки адекватности предложенной методики на конкретном примере проведено сравнение значения величины протрузии согласно восковым слепкам и значения, полученного с применением методик клинической практики.

Среднее значение величины протрузии согласно пяти замерам с контрольно-диагностических моделей:

$$\Delta x^{\text{cp}} = \frac{1,9 + 2,1 + 1,85 + 2,1 + 2,15}{5} = 2,02 \text{ мм.}$$

Среднее значение величины протрузии согласно замерам с восковых пластинок:

$$\Delta x^{\text{cp}} = \frac{2,0 + 2,0 + 2,2 + 2,2 + 2,0}{5} = 2,08 \text{ мм.}$$

На основании получившихся значений величины протрузии Δx^{cp} можно сделать вывод о том, что предложенная методика замеров по слепку на восковой пластинке является адекватной применительно к данному виду аномалии.

Как отмечалось ранее, для биомеханического сопровождения следует знать положение центра вращения перемещаемого зуба с протрузией, которое определяется расстоянием l от режущей кромки зуба. Используя данные рис. 9, можно записать соотношение $\Delta x_0 = l \cdot \sin \Delta \phi$, откуда расстояние l для данного пациента равно 12 мм.

КИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗУБОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛАСТОПОЗИЦИОНЕРОВ

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 (см. табл. 3) построены кинетические кривые для перемещения зубов (рис. 12). Зависимость перемещения 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. 3) 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 некорректно, так как задача контакта зубов с эластопозиционером является явно геометрически нелинейной.

Поэтому, зная из клинической практики величины перемещений 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,

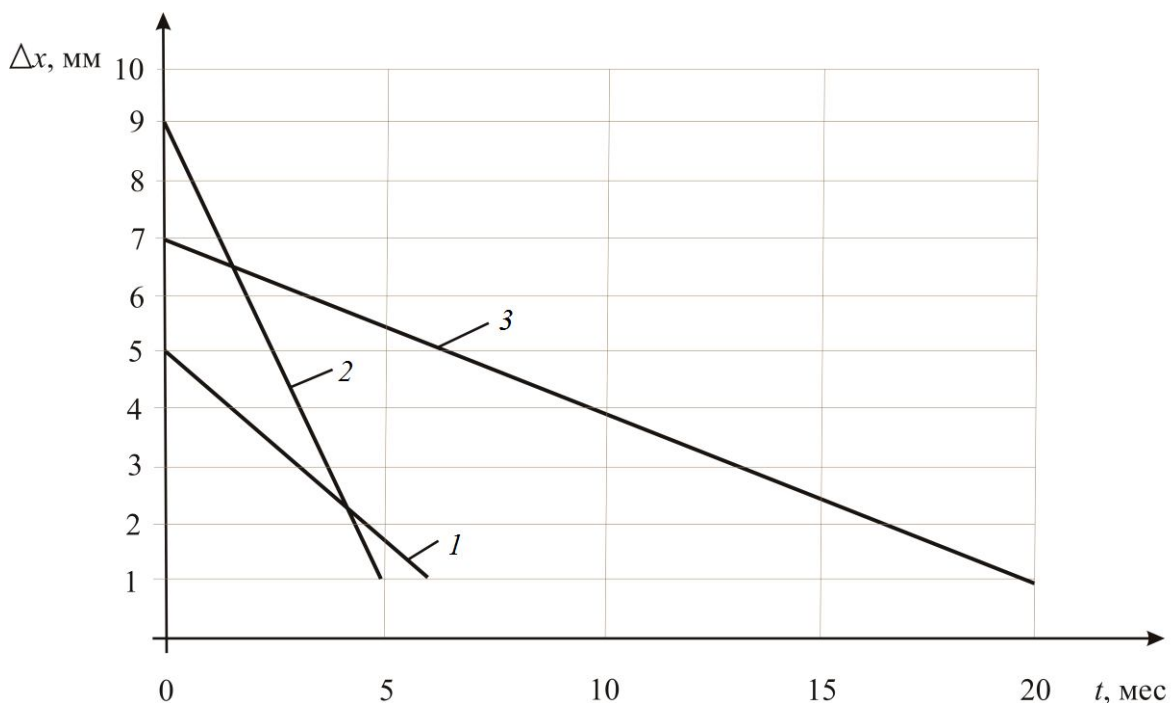


Рис. 12. Кинетика перемещения зуба: 1 – пациент 6 лет; 2 – пациент 9 лет; 3 – пациентка 12 лет

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 аномалий зубных рядов с помощью эластопозиционера применяется два образца данного ортодонтического аппарата: «розовый» и «голубой» (с различными по величине силами, действующими на неправильно стоящие зубы).

В связи с этим необходимо прогнозировать время, через которое необходимо менять один образец эластопозиционера на другой. Это 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, можно определить величину нагрузки, действующей на данные зубы, путем решения контактной задачи теории упругости о нахождении напряженно-деформированного состояния эластопозиционера.

Идея кинетического моделирования основана на наличии экспериментальных данных по процессу во времени. В этом случае 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, и эта процедура годится для того пациента, который уже вылечен.

Особый интерес представляет биомеханическое сопровождение лечения конкретного пациента. Можно воспользоваться идеей параллельного кинетического моделирования, предложенной в работе [28] по кинетике биодеструкции лекарственных средств. Она реализуема как раз в том случае, когда возможен текущий контроль интересующего параметра, в нашем случае – врачебный контроль изменения перемещения зуба один раз в месяц.

Уже по первым трем клиническим данным возможно прогнозирование выбора типа кривой и прогнозирование изменения скорости перемещения зуба со временем (рис. 13). При каждом новом значении перемещения зуба можно корректировать тип кривой или уточнять значение констант кинетических уравнений (1)–(3). Этот подход позволяет прогнозировать перемещение зуба во времени, причем не только с учетом индивидуальных особенностей ребенка, но и с реальным учетом силового воздействия эластопозиционера на интересующий зуб.

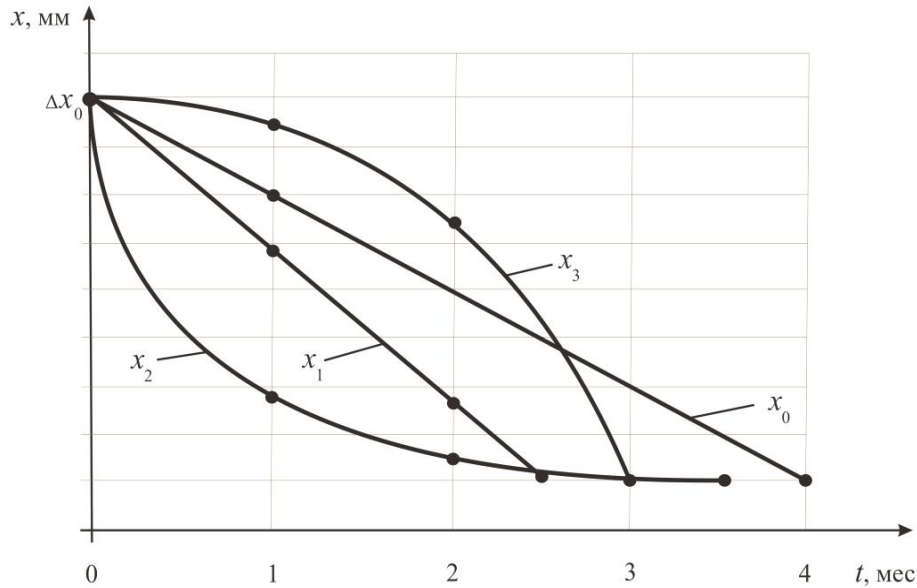


Рис. 13. Кинетическая модель перемещения зуба в эластопозиционере: Δx_0 – начальная величина аномалии; x_0 – усредненная клиническая кинетическая зависимость; x_1 – линейная зависимость; x_2 – экспоненциальная зависимость; x_3 – параболическая индивидуальная зависимость

Параллельное решение задачи теории упругости позволяет прогнозировать изменение силового давления на элементы зубного ряда и определять период времени, после которого необходима смена эластопозиционера на новый.

ПОСТАНОВКА СВЯЗАННОЙ С КИНЕТИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЕМ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Рассмотрим предпосылки постановки задачи об упругом состоянии эластопозиционера при контакте с элементами зубного ряда, связанной с кинетикой перемещаемых зубов.

Состояние эластопозиционера считается упругим (1-я гипотеза). Со стороны эластопозиционера на аномально расположенные зубы действует сила давления F , распределенная по поверхности контакта с перемещаемыми зубами. Поверхности контакта, как с перемещаемыми зубами, так и со всеми остальными компонентами зубного ряда, заранее неизвестны. Усилия, действующие со стороны эластопозиционера на остальные зубы, значительно меньше $F = 400 \dots 500 \text{ г}$, вызывающих перемещение зубов (2-я гипотеза).

Если не интересуют силы, действующие на зубные ряды, можно исключить из рассмотрения все зубы, кроме перемещаемых, а эффект их взаимодействия с эластопозиционером заключается в жестком закреплении частей эластопозиционера в области контакта с неподвижными зубами со стороны внутренней поверхности зубного ряда (Γ_1) или применить упрощенный вариант: то же самое на поверхности Γ_4 (рис. 14). Граница Γ_2 – поверхность контакта перемещаемых зубов с эластопозиционером.

При надевании эластопозиционера аномально расположенные зубы перемещаются по оси Oz до максимальной величины протрузии Δx_0 . Поверхность контакта заранее неизвестна, поэтому задача является контактной для упругого тела с конечным числом жестких оснований. Считаем, что перемещения зуба в упругом периодонте можно пренебречь (3-я гипотеза). Полагаем, что на этой поверхности реализуется прилипание эластопозиционера к зубам (4-я гипотеза).

Задача решается в приращениях в силу геометрической нелинейности. Начальное приближение поверхности контакта на каждом шаге определяется из геометрических соображений, из условия непроницаемости тел перемещаемых зубов в тело эластопозиционера (рис. 14, заштрихованная поверхность). В силу того что перемещаемые зубы на поверхности контакта с эластопозиционером имеют малую кривизну в случае протрузии верхних центральных резцов и гипотезы прилипания на контакте, можно задать исходя из начальной геометрии эластопозиционера и геометрии эластопозиционера с новой поверхностью контакта перемещение $u_z = \Delta u(n)$, где n – номер шага по величине протрузии.

На данном n -м шаге для эластопозиционера решается обычная трехмерная задача теории упругости, включающая: уравнения равновесия; закон Гука; геометрические соотношения Коши; условия Коши, связывающие напряжения с поверхностными силами, и граничные условия. Интегрируя поверхностную нагрузку по поверхности контакта, получим значение силы давления F – действия со стороны эластопозиционера на перемещаемые зубы на поверхностях $\Gamma_1 - \Gamma_4$ (см. рис. 14).

Остается вопрос о коррекции поверхности контакта. Для этого используется проверка двух условий на каждом m -м шаге итерационной процедуры по поверхности контакта:

– непроницаемости – ведет к увеличению поверхности контакта

$$f_{\text{эп}}(x, y, z) \geq f_3(x, y, z), \quad \forall \mathbf{x} \in \Gamma / \Gamma_2,$$

– отлипания – к уменьшению поверхности контакта

$$\sigma_n(x, y, z) \geq 0, \quad \forall \mathbf{x} \in \Gamma_2,$$

здесь $f_{\text{эп}}(x, y, z)$ – уравнение поверхности эластопозиционера; $f_3(x, y, z)$ – уравнение поверхности перемещаемых зубов; $\sigma_n(x, y, z)$ – нормальное напряжение.

После проверки этих условий поверхность контакта корректируется и повторяется решение $u_z = \Delta u(n)$, $\forall \mathbf{x} \in \Gamma_2$.

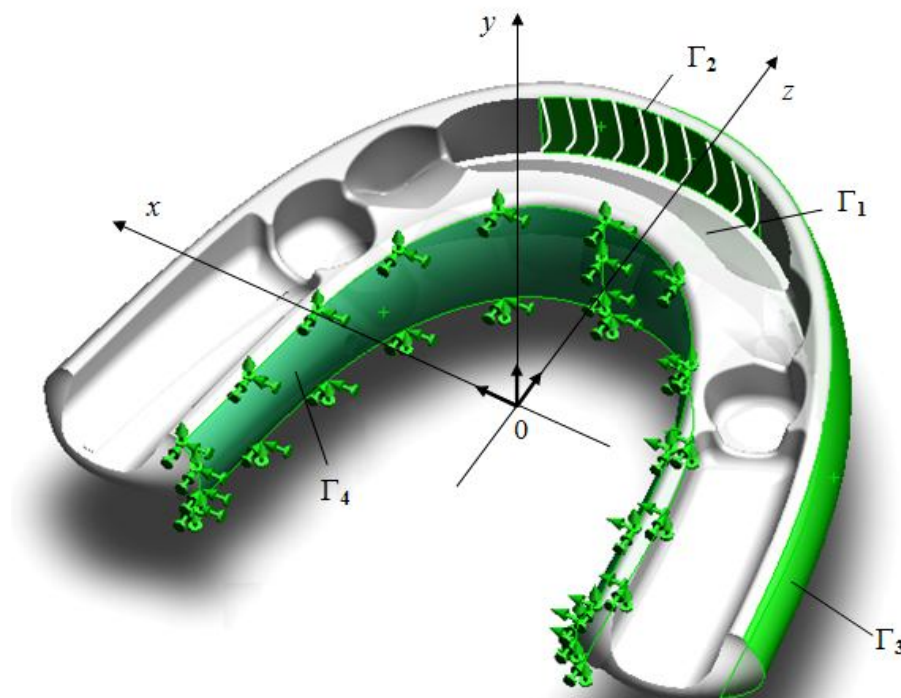


Рис. 14. Схема задания граничных условий при определении усилия со стороны эластопозиционера на перемещаемые зубы [15]

В классической постановке условие сходимости можно реализовать в виде нормы разности:

$$\|S_{m+1} - S_m\| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon > 0,$$

где S – площадь поверхности контакта Γ_2 , ε – заданная точность.

Для заданной области Ω эластопозиционера с поверхностью $\Gamma = (\Gamma_1 \text{ или } \Gamma_4) \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3$, модулем упругости E α -силикона и коэффициентом Пуассона ν при фиксированной поверхности контакта на каждом шаге n процедуры реализации геометрической нелинейности и на каждом шаге m внутри нее итерационной процедуры по коррекции поверхности контакта Γ_2 упругое состояние описывается уравнениями:

– равновесия в пренебрежении массовыми силами

$$\sigma_{ij,j} = 0, \quad i, j = \overline{1,3}, \quad \forall \mathbf{x} \in \Omega; \quad (4)$$

– определяющими соотношениями (закон Гука)

$$\sigma_{ij}^{(n)} - \sigma_{ij}^{(n-1)} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}, \quad i, j, k, l = \overline{1,3}, \quad \forall \mathbf{x} \in \overline{\Omega}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где N – число шагов по величине протрузии Δx_0 ;

– геометрическими соотношениями

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad i, j = \overline{1,3}, \quad \forall \mathbf{x} \in \overline{\Omega}; \quad (6)$$

– условиями Коши на поверхности

$$\sigma_{ij} n_j = f_i, \quad i, j = \overline{1,3}, \quad \forall \mathbf{x} \in \Gamma; \quad (7)$$

– граничными условиями

$$u_i = 0, \quad i = \overline{1,3}, \quad \forall \mathbf{x} \in (\Gamma_1 \text{ и } \Gamma_4), \quad (8)$$

$$u_1 = u_2 = 0, \quad u_3 = \Delta u_{(n)}, \quad \forall \mathbf{x} \in \Gamma_2, \quad (9)$$

$$f_i = 0, \quad i = \overline{1,3}, \quad \forall \mathbf{x} \in \Gamma_3; \quad (10)$$

– условиями коррекции поверхности контакта на m -м шаге внутренней процедуры

$$f_{\text{эп}}(x, y, z) \geq f_3(x, y, z), \quad \forall \mathbf{x} \in \Gamma \setminus \Gamma_2, \quad (11)$$

$$\sigma_n(x, y, z) \geq 0, \quad \forall \mathbf{x} \in \Gamma_2; \quad (12)$$

– с условием сходимости

$$\|S_{m+1} - S_m\| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon > 0; \quad (13)$$

– условием сходимости процедуры по реализации геометрической нелинейности на n -м шаге до достижения текущей величины протрузии

$$\sum_n \Delta u_{(n)} = X_{(l)}(t), \quad (14)$$

где $X_{(l)}(t)$ – текущая величина протрузии при l -м посещении на момент времени t пациентом врача ($l = 1, 2, 3, \dots$), причем $X_{(1)}(0) = \Delta x_0$;

– кинетическим уравнением перемещения аномально расположенного зуба с применением эластопозиционера при параллельном моделировании (пусть отражает спадающую экспоненту)

$$\frac{dX(t)}{dt} = -K \cdot X(t), \quad (15)$$

где K – константа скорости перемещения зуба (кинетическое уравнение отслеживает текущую величину протрузии и прогнозирует ее изменение при последующем лечении);

– выражением для силы тяги со стороны эластопозиционера на перемещаемый зуб

$$F(t) = \int_{(\Gamma_2)} \sigma_n^{(l)}(x, y, z) d\Gamma_2, \quad l = 1, 2, 3, \dots \quad (16)$$

с рекомендуемым из клинической практики интервалом значений

$$\hat{F} \in [400 - 500] \text{ г} \quad (17)$$

и с условием замены эластопозиционера в прогнозируемый момент времени $t_{\text{зам}}$

$$F(t_{\text{зам}}) < \hat{F}_{\min}; \quad (18)$$

– условием благоприятного исхода лечения по истечении времени $t_{\text{леч}}$

$$X_{(l)}(t_{\text{леч}}) \leq 1 \text{ мм}, \quad l = 1, 2, 3, \dots \quad (19)$$

Система уравнений (4)–(19) представляет собой математическую модель перемещения верхних центральных резцов при центральной протрузии с применением эластопозиционера, учитывающую все мыслимые индивидуальные особенности пациента.

Математическая модель включает контактную задачу теории упругости взаимодействия эластопозиционера с зубными рядами и кинетическое уравнение для перемещения неправильно стоящих зубов. Она позволяет заранее определить ослабление воздействия эластопозиционера на корректируемые зубы и прогнозировать время до его замены на новый, а также определить время до благоприятного исхода лечения.

Модель позволяет путем целенаправленного изменения одного или нескольких параметров эластопозиционера (толщины передней стенки) добиться значения величины силы воздействия со стороны эластопозиционера на корректируемые зубы в рекомендуемый из клиники интервал на прогнозируемый момент времени замены эластопозиционера. Другими словами, можно будет заблаговременно (за 1–2 месяца) заказать для пациента новый аппарат с необходимыми на момент замены параметрами.

СХЕМА АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ СВЯЗАННОЙ ЗАДАЧИ

Схема алгоритма связанной задачи перемещения центральных верхних резцов с применением эластопозиционера за счет создаваемой им силы давления приведена на рис. 15.

Схема отражает последовательность решения уравнений из системы (4)–(19).

Основными элементами являются кинетическая модель перемещения зуба и контактная задача теории упругости для определения силы давления. За период применения первого или второго эластопозиционера строится зависимость силы давления от текущей величины протрузии. Если сила давления превышает рекомендованный клиникой диапазон, прогнозируются время замены эластопозиционера и величина протрузии на момент замены эластопозиционера.



Рис. 15. Схема алгоритма

Расчет по кинетической модели и контактной задаче производится после каждого l -го посещения пациентом врача. Все расчеты для данного пациента заканчиваются при уменьшении протрузии до заданного значения.

Выводы

1. Рассмотрены причинно-следственные связи возникновения неправильного прикуса и его влияние на различные параметры зубоальвеолярного блока, что вносит некоторый вклад в разрабатываемую концепцию виртуального физиологического человека.

2. Представлена идея параллельного кинетического моделирования процесса перемещения аномально расположенных зубов с применением эластопозиционеров. Этот подход применим для биомеханических процессов, в которых возможен текущий мониторинг параметра, определяющего процесс, в данном случае – текущей величины протрузии центральных верхних резцов. Важно отметить, что предложенный подход позволяет в полной мере учесть индивидуальные особенности пациента.

3. Обосновано биомеханическое сопровождение коррекции протрузии центральных верхних резцов для детей дошкольного и младшего школьного возраста с применением эластопозиционеров, которое позволяет: изучить кинетику перемещения зуба при протрузии; определить зависимость силы давления на перемещаемый зуб от текущей величины протрузии; определить давление эластопозиционера на остальные зубы обоих зубных рядов; найти время эффективного применения эластопозиционера для конкретного пациента и спрогнозировать время лечения, а также время замены эластопозиционера на другой в случае неэффективного лечения.

4. Биомеханическое сопровождение позволяет применять щадящую для ребенка методику текущего измерения величины протрузии; повышает мотивацию (для ребенка и родителей) использования эластопозиционера днем и ночью в рекомендованном режиме; мотивацию к регулярным посещениям врача. При этом родители видят реальный результат перемещения зуба, имеют информацию о скорости устранения аномалии и времени лечения.

5. Разработана методика определения силы давления со стороны эластопозиционера на перемещаемый зуб и давления на остальные зубы обоих зубных рядов. Первая – для эффективного перемещения зуба с протрузией, остальные – для проверки ограничения по давлению на здоровые зубы. Основа методики – связанная постановка контактной задачи теории упругости для эластопозиционера с кинетическим уравнением изменения определяющего параметра протрузии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность за помощь в обсуждении результатов исследований заведующему кафедрой теоретической механики ПНИПУ профессору Ю.И. Няшину. Исследования поддержаны грантом РФФИ № 11-01-96025-р_урал_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулич Ю.В., Акулич А.Ю., Денисов А.С. Предоперационное определение индивидуальных физических характеристик губчатой костной ткани проксимального отдела бедра человека // Российский журнал биомеханики. – 2011. – Т. 15, № 1. – С. 33–41.
2. Акулич Ю.В., Брюханов П.А., Мерзляков М.В., Сотин А.В. Определяющие соотношения структурной адаптации костной ткани // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2011. – Т. 15, № 2. – С. 54–61.
3. 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.
4. Блоцкий А.А., Плужников М.С. Феномен храпа и синдром обструктивного сонного апноэ // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2005. – № 1. – С. 13–16.
5. Бурлуцкая С.И. Лечение сужения зубных рядов, вызванного задержкой роста апикальных базисов челюстей в периоде сменного прикуса // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2006. – Т. 5, № 3. – С. 636–637.
6. Вихарева Е.В., Селянинов А.А., Данилов Ю.Л., Рудакова И.П., Нечеухина Т.А., Ившина И.Б., Няшин Ю.И. Математическая модель процесса биодеструкции парацетамола как открытой системы // Российский журнал биомеханики. – 2008. – Т. 12, № 2. – С. 41–54.
7. Вихарева Е.В., Селянинов А.А., Ившина И.Б., Няшин Ю.И. Математическое моделирование процесса биодеструкции парацетамола актинобактериями рода *Rhodococcus* // Российский журнал биомеханики. – 2007. – Т. 11, № 2. – С. 93–100.
8. Гасимова З.В. Взаимосвязь зубочелюстно-лицевых аномалий с ротовым дыханием, нарушенной осанкой, способы комплексного лечения // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2004. – Т. 3, № 3, 4. – С. 59–62.
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. Гвоздева Ю.В., Данилова М.А. Миофункциональные нарушения у детей: монография. – Пермь: Изд-во ГОУ ВПО ПГМА им. акад. Е.А. Вагнера Росздрава, 2009. – 134 с.
11. 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.
12. Гвоздева Ю.В., Царькова О.А., Данилова М.А. Оценка гармоничности профиля лица у детей при различных видах миофункциональных нарушений // Казанский медицинский журнал. – 2010. – Т. 91, № 2. – С. 173–176.
13. Головкин Н.В. Ортодонтические аппараты: учеб. пособие для студентов стоматологических факультетов высших медицинских заведений. – Изд-во: Полтава, 2002. – 92 с.
14. Данилова М.А., Ишмурзин П.В. Аномалии зубных рядов: доклиническая диагностика дисфункции височно-нижнечелюстного сустава // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2008. – Т. 7, № 4. – С. 34–36.

15. Данилова М.А., Гвоздева Ю.В., Ишмурзин П.В., Кирюхин В.Ю. Обоснование применения эластопозиционера у детей с миофункциональными нарушениями методом математического моделирования // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2010. – Т. 9, № 4. – С. 39–41.
16. Еловикова А.Н., Няшин Ю.И., Коркодинов Я.А., Никитин В.Н., Тотмянина А.В. Взаимодействие зубочелюстной системы с другими системами человеческого организма в рамках концепции виртуального физиологического человека // Российский журнал биомеханики. – 2011. – Т. 15, № 3. – С. 8–26.
17. Зубарев В.А., Тимофеева М.И. Биомеханические нарушения у детей с врожденными расщелинами челюстно-лицевой области и небно-глоточной недостаточностью // Russian Journal of Biomechanics. – 1999. – Т. 3, № 2. – С. 39–40.
18. Зубы связаны с памятью и слабоумием [Электронный ресурс]. – URL: www.menslife.info/news/n/2945 (дата обращения: 25.03.2011).
19. Карпова Н.С., Смердина Ю.Г., Смердина Л.Н. Ортопедическое лечение детей с временным прикусом как профилактика вторичных деформаций (клинический случай) // Ортодонтия. – 2008. – № 3. – С. 46–47.
20. Медицинский женский центр [Электронный ресурс]. – URL: www.doctorvolos.ru (дата обращения: 23.03.2011).
21. Неправильный прикус. Виды, причины и последствия аномального прикуса [Электронный ресурс]. – URL: www.orthodontists.ru (дата обращения: 26.03.2011).
22. Оборин Л.Ф. Взаимодействие биомеханических и гемодинамических факторов при повреждении височно-нижнечелюстного сустава врожденного и приобретенного происхождения // Российский журнал биомеханики. – 2009. – Т. 13, № 4. – С. 94–106.
23. Олейник Е.А. Скученное положение зубов – фактор риска развития кариеса и заболеваний пародонта // Институт стоматологии. – 2007. – Т. 1, № 34. – С. 84–85.
24. Ортодонт [Электронный ресурс]. – URL: www.ortodont-center.ru/patients (дата обращения: 27.03.2011).
25. Почему бывают кривые зубы [Электронный ресурс]. – URL: www.orthodent.ru (дата обращения: 26.03.2011).
26. Риск смерти от инфаркта зависит от числа зубов [Электронный ресурс]. – URL: www.focus.ua. Дата обращения: 23.03.2011).
27. Сатыго Е.А. Орофациальные дисфункции и кариес у детей 6–8 лет // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2009. – Т. 8, № 2. – С. 14–16.
28. 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.
29. Симановская Е.Ю., Няшин Ю.И. Итоги и перспективы использования методов биомеханики в детской стоматологии // Российский журнал биомеханики. – 2003. – Т. 7, № 3. – С. 10–22.
30. Стоматология сегодня [Электронный ресурс]. – URL: www.dentoday.ru (дата обращения: 23.03.2011).
31. Тарасова С.В., Амелин А.В., Скоромец А.А. Распространенность и выявляемость первичных и симптоматических форм хронической ежедневной головной боли // Казанский медицинский журнал. – 2008. – Т. 89, № 4. – С. 427–431.
32. Тверье В.М., Шмурак М.И., Симановская Е.Ю., Няшин Ю.И. Биомеханическое моделирование искусственного вскармливания детей раннего возраста // Российский журнал биомеханики. – 2007. – Т. 11, № 3. – С. 54–61.
33. Утрата зубов грозит утратой памяти [Электронный ресурс]. – URL: www.oevrope.ru (дата обращения: 25.03.2011).
34. Фадеев Р.А., Кудрявцева О.А. Особенности диагностики и реабилитации пациентов с зубочелюстными аномалиями, осложненными заболеваниями височно-нижнечелюстных суставов и жевательных мышц // Институт стоматологии. – 2008. – Т. 2, № 39. – С. 44–45.
35. Харке В.В., Григоренко Н.Ю., Дмитриенко Д.С., Филимонова Е.В. Нарушения звукопроизношения у детей с аномалиями и деформациями челюстно-лицевой области в периоде сменного прикуса // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2008. – Т. 7, № 2. – С. 35–38.
36. Хроменкова К.В., Дыбов А.М., Оспанова Г.Б. Клинический опыт применения миофункциональных аппаратов у детей // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2009. – Т. 8, № 1. – С. 48–50.
37. Царева Т.Г. Новые технологии на службе функциональной ортодонтии // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2005. – Т. 4, № 1. – С. 73–74.
38. Шулепова О.П. Конструктивные особенности съемных аппаратов при лечении аномалий прикуса с латеральным смещением нижней челюсти // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2006. – Т. 5, № 1. – С. 45–48.
39. Эластопозиционеры [Электронный ресурс]. – URL: www.doctorplotnikov.ru (дата обращения: 25.03.2011).

BIOMECHANICAL ACCOMPANIMENT OF DENTAL CORRECTION BY ELASTIC POSITIONERS

A.A. Selyaninov, M.A. Danilova, A.V. Totmyanina, R.M. Podgaets (Perm, Russia)

The cause-effect relationships of malocclusion with various pathologies of the dentoalveolar system as part of future global concept “virtual physiological human” are analyzed. Procedure is developed for determining the current value of protrusion of the central upper incisors in the monitoring, which accompanies the treatment. The idea of biomechanical accompaniment of correcting of the dentition for children of preschool and primary school age with elastic positioners is proposed. The basis of accompaniment is the development of the idea of parallel kinetic modelling of parameter determining movements of teeth with anomalies in the form of protrusion and the related statement and solution of the contact problem of theory of elasticity for elastic positioners.

Key words: dentition, occlusion, dentoalveolar anomalies, elastic positioner, treatment of protrusion of the central upper incisors, biomechanical accompaniment.

Получено 29 февраля 2012