

А.В. Тотмянина, А.А. Селянинов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

КИНЕТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗУБА С ПОМОЩЬЮ ЭЛАСТОПОЗИЦИОНЕРА В СЛУЧАЕ ПРОТРУЗИИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ВЕРХНИХ РЕЗЦОВ

Рассмотрено неправильное расположение зубов, в частности протрузия центральных верхних резцов. Обоснована необходимость биомеханического сопровождения коррекции зубного ряда для детей дошкольного и младшего школьного возраста с применением эластопозиционеров. Представлен вид кинетических уравнений лечения протрузии центральных верхних резцов с применением эластопозиционеров. Предложена идея параллельного кинетического моделирования процесса перемещения аномально расположенных зубов.

Ключевые слова: неправильный прикус, эластопозиционер, протрузия, перемещение зуба, кинетические уравнения.

A.V. Totmyanina, A.A. Selyaninov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

KINETIC EQUATIONS OF DISPLACEMENT OF THE TOOTH BY ELASTIC POSITIONER IN THE CASE OF PROTRUSION OF THE CENTRAL UPPER INCISORS

In the present article the incorrect placement of the teeth, in particular, the protrusion of the central upper incisors is considered. The necessity of biomechanical support of correcting of the dentition for children preschool and primary school age by elastic positioners is substantiated. Form of the kinetic equations for treatment of protrusion of the central upper incisors by elastic positioner is proposed. The idea of parallel kinetic modeling of the process of moving abnormally placed teeth is presented.

Keywords: malocclusion, elastic positioner, protrusion, movement of the tooth, kinetic equations.

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 сус-

тава, заболевания пародонта – это лишь неполный перечень проблем, спровоцированных аномалиями зубочелюстного развития [1–4].

Поэтому на сегодняшний день актуально и важно устранение аномалий зубных рядов, для чего применяются эластопозиционеры (рис. 1).

Актуальность проблемы заключается в том, что недостаточно изучены кинетика перемещения зуба с использованием 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 на основе кинетического моделирования.

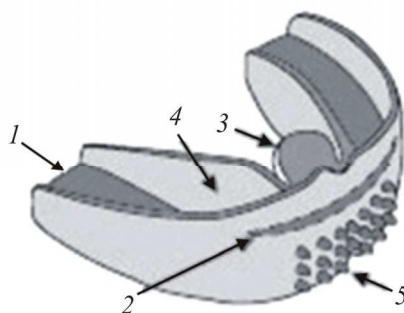


Рис. 1. Устройство эластопозиционера: 1 – канавки для зубов; 2, 5 – губные щиты; 3 – специальный язычок для коррекции положения языка в полости рта; 4 – языковая защитка

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.

На основе литературных данных составлена таблица клинических результатов лечения протрузии (табл. 1).

В табл. 1 представлены начальная и конечная величины протрузии, время и метод лечения данной аномалии.

Таблица 1

**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	–

**Кинетическое моделирование перемещения зуба
в эластопозиционере**

Задача целенаправленного применения эластопозиционеров состоит 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. 2). Зависимость перемещения Δx от времени во всех рассмотренных случаях является линейной в силу наличия лишь начальных и конечных значений. Эти данные в целом позволяют оценить среднюю скорость перемещения зубов при заданном силовом воздействии (см. табл. 1) для детей от 6 до 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.

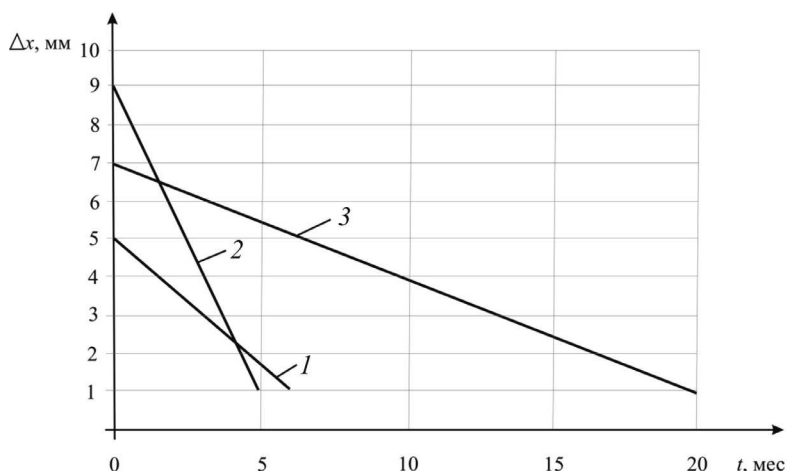


Рис. 2. Кинетика перемещения зуба: 1 – пациент, 6 лет;
2 – пациент, 9 лет; 3 – пациент, 12 лет

При наличии признаков экспоненциальной зависимости убедили параметра

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

при зависимости, напоминающей параболическую,

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

Особый интерес представляет лечение конкретного пациента. Можно воспользоваться идеей параллельного кинетического моделирования, предложенной в работе [5] 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 [6].

Уже по первым трем клиническим данным возможно прогнозирование выбора типа кривой и прогнозирование изменения скорости перемещения зуба со временем (рис. 3). При каждом новом значении перемещения зуба можно корректировать тип кривой или уточнять значение констант кинетических уравнений (1)–(3). Этот подход по-

зволяет прогнозировать перемещение зуба во времени, причем с учетом не только индивидуальных особенностей ребенка, но и с реальным учетом силового воздействия эластопозиционера на интересующий зуб.

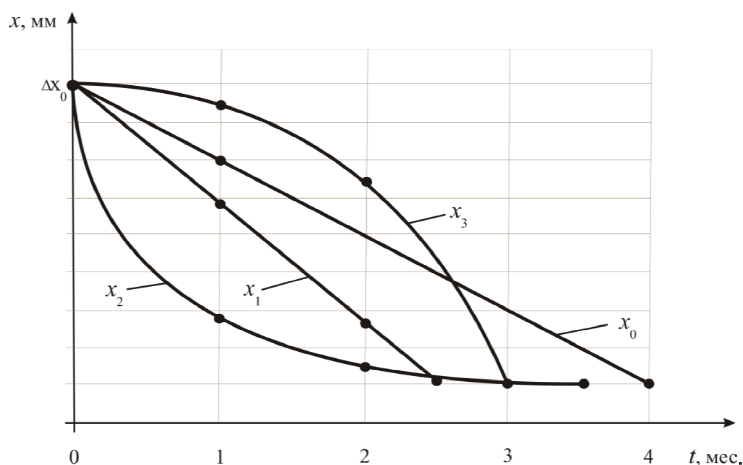


Рис. 3. Кинетическая модель перемещения зуба в эластопозиционере: Δx_0 — начальная величина дефекта; x_0 — усредненная клиническая кинетическая зависимость; x_1 — линейная; x_2 — экспоненциальная; x_3 — параболическая индивидуальная

Параллельное решение задачи теории упругости позволяет прогнозировать изменение силового давления на зуб и определять период времени, после которого необходима смена эластопозиционера на новый [7].

Можно предложить следующую гипотезу:

Скорость перемещения зуба в эластопозиционере убывает с уменьшением величины протрузии.

Это можно обосновать уменьшением силы давления на перемещаемый зуб ввиду уменьшения со временем деформации эластопозиционера. Тогда кинетическое уравнение с начальными и конечными клиническими данными примет вид:

$$\frac{dx}{dt} = -kx; x|_{t=0} = x_0; x|_{t=t_{\text{леч}}} = 1. \quad (4)$$

Интегрируя, получаем уравнение для перемещения зуба $x(t)$ типа (2) на рис. 3:

$$\int_{x_0}^x \frac{dx}{x} = -k \int_0^t dt \Rightarrow x = x_0 \cdot e^{-kt}, \quad (5)$$

откуда по данным табл. 1 определяется константа скорости перемещения зуба при протрузии центральных верхних передних резцов:

$$\ln \frac{x}{x_0} = -k \cdot t_{\text{леч}}, \quad k = \frac{\ln \frac{x}{x_0}}{t_{\text{леч}}}. \quad (6)$$

Результаты обработки клинических данных приведены в табл. 2.

Таблица 2

Кинетика лечения протрузии с помощью
ортодонтических аппаратов

Показатель	Способ лечения		
	Эластопозиционер		Брекет-система
	Пациент 6 лет (30)	Пациент 9 лет (30)	Пациентка 12 лет (24)
Начальная величина протрузии, мм	5	9	7
Конечная величина протрузии, мм	1	1	1
Время лечения, месяц	6	5	20
Константа скорости лечения, 1/мес.	0,26824	0,43945	0,097296

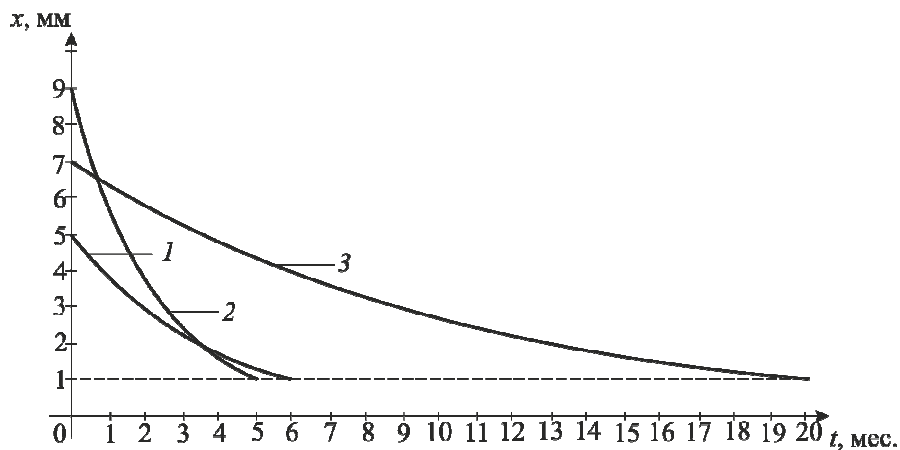


Рис. 4. Кинетические кривые $x(t)$ перемещения зуба конкретного пациента согласно клиническим данным: 1 – пациент 6 лет; 2 – пациент 9 лет; 3 – пациент 12 лет

Согласно формуле (6) вычислены константы скорости, результаты расчетов представлены в табл. 2. На рис. 4 показаны кинетические кривые перемещения зуба конкретного пациента по клиническим данным табл. 1.

Выводы

1. Получены кинетические уравнения, описывающие перемещение центральных верхних резцов в случае протрузии с применением эластопозиционеров.

2. Предложена идея параллельного кинетического моделирования процесса перемещения аномально расположенных зубов с использованием 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.

Библиографический список

1. Гвоздева Ю.В., Данилова М.А. Миофункциональные нарушения у детей: монография. – Пермь: Изд-во ПГМА им. ак. Е.А. Вагнера Росздрава, 2009. – 134 с.

2. Взаимодействие зубочелюстной системы с другими системами человеческого организма в рамках концепции виртуального физиологического человека / Ю.И. Няшин, А.Н. Еловикова, Я.А. Коркодинов, В.Н. Никитин, А.В. Тотмянина // Российский журнал биомеханики. – 2011. – Т. 15, № 3. – С. 8–26.

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

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

5. 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.

6. Селянинов А.А., Тотмянина А.В. Биомеханический анализ коррекции зубного ряда с применением эластопозиционеров // Вестник ПГТУ. Прикладная математика и механика. – Пермь, 2011. – № 9. – С. 183–199.

7. Селянинов А.А., Тотмянина А.В., Подгаец Р.М. Биомеханическое сопровождение коррекции зубного ряда с применением эластопозиционеров // Российский журнал биомеханики. – 2012. – Т. 1, № 16.

References

1. Gvozdeva Yu.V., Danilova M.A. Miofunktional'nyye narusheniya u detey [Myofunctional disorders in children]. Perm: Permskaya gosudarstvennaya medicinskaya akademija imeni E.A. Wagnera, 2009, 134 p.

2. Elovikova A.N., Nyashin Y.I., Korkodinov Ja.A., Nikitin V.N., Totmyanina A.V. Vzaimodeystviye zubochelyustnoy sistemy s drugimi sistemami chelovecheskogo organizma v ramkakh kontseptsii virtual'nogo fiziologicheskogo cheloveka [The interaction of the dentofacial system with other systems of the human within the framework of the conception of virtual physiological human]. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki*, 2011, vol. 15, no. 3, pp. 8–26.

3. Oborin L.F. Vzaimodeystviye biomekhanicheskikh i gemodinamicheskikh faktorov pri povrezhdenii visochno-nizhnechelyustnogo sustava vrozhdennogo i priobretennogo proiskhozhdeniya [The interaction of biomechanical and hemodynamic factors in the injury of the temporomandibular joint of the congenital and acquired origin]. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki*, 2009, vol. 13, no. 4, pp. 94–106.

4. Oleinik E.A. Skuchennoye polozheniye zubov – faktor riska razvitiya kariyesa i zabolevaniy parodonta [Crowded position of the teeth is a risk factor for caries and parodontal diseases]. *Institut stomatologii*, 2007, vol. 1, no. 34, pp. 84–85.

5. Selyaninov A.A., Vikhareva E.V. Kinetika biodestruktsii lekarstvennykh sredstv – proizvodnykh fenola, izokhinolina i karbonovykh kislot [Kinetics of biodegradation of drugs – derivatives of phenol, and isoquinoline carboxylic acids]. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki*, 2010, vol. 14, no. 2, pp. 79–91.

6. Selyaninov A.A., Totmyanina A.V. Biomekhanicheskiy analiz korreksii zubnogo ryada s primeneniyem elastopozitsionerov [Biomechanical analysis of dental correction by elastic positioners]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Mehanika*, 2011, no. 9, pp. 183–199.

7. Selyaninov A.A., Totmyanina A.V., Podgaets R.M. Biomekhanicheskoye soprovozhdeniye korrektsii zubnogo ryada s primeneniyyem elastopozitsionerov [Biomechanical accompaniment of dental correction by elastic positioners]. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki*, 2012, vol. 1, no. 16, pp. 50–71.

Получено 28.09.2012

Об авторах

Тотьмянина Анастасия Викторовна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры теоретической механики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Mireille@yandex.ru).

Селянинов Александр Анатольевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

About the authors

Totmyanina Anastasia Viktorovna (Perm, Russia) – postgraduate student, Department of Theoretical Mechanics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia, e-mail: Mireille@yandex.ru).

Selyaninov Alexander Anatol'evich (Perm, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Theoretical Mechanics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia).