

К. Н. Лихота\*, Н. Н. Тормахов\*\*

\*К.мед.н., доцент кафедры стоматологии ИС НМАПО им. П. Л. Шупика

\*\*К.т.н., ст. наук. сотр. Института механики НАН Украины им. С. П. Тимошенко

# МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕЧЕНИЯ САГИТТАЛЬНЫХ ЗУБОЧЕЛЮСТНЫХ АНОМАЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛАСТОПОЗИЦИОНЕРОВ

**Ключевые слова:** эластопозиционер, сагиттальные аномалии, механико-математическое моделирование.

**Ключові слова:** еластопозиціонер, сагітальні аномалії, механіко-математичне моделювання.

**Keywords:** elastopozitsitioner, sagittal anomalies, mechanics and mathematical modeling.

## Вступление

Среди всех зубочелюстных аномалий значительное место занимают сагиттальные аномалии прикуса. Они часто сопровождаются деформацией височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС), скученностью зубных рядов и другими патологиями, что в свою очередь, вызывает нарушение жевания и речи. Комплексность этих аномалий вызывает необходимость такого же комплексного подхода к их лечению. С начала нового тысячелетия с этой целью стали применять миофункциональную аппаратуру — трейнеры [1, 2]. Трейнеры не только устраняют собственно зубочелюстные аномалии, но и делают невозможным закрепление вредных привычек, которые часто являются причиной этих аномалий. Недостатком трейнеров является ограниченность области их применения. Лечение сагиттальных аномалий прикуса в постоянном прикусе требует более совершенной миофункциональной аппаратуры. С этой целью были предложены эластопозиционеры, которые изготавливаются индивидуально для каждого пациента с помощью, так называемых Set-up моделей, которые соответствуют моделям с положением зубов пациента после лечения [3].

При создании современных методик лечения в стоматологии, все чаще применяют механико-математические методы исследования [4–8].

**Целью** работы является совершенствование методик лечения сагиттальных зубочелюстных аномалий на основе анализа механико-математических аспектов работы эластопозиционеров.

## Материалы и методы исследования

Предметом исследования является система, состоящая из зубочелюстного аппарата пациента и эластопозиционера в процессе ортодонтического лечения. Процесс лечения изучался с помощью диагностических



Рис. 1.

моделей зубных рядов пациента, выполненных до и после лечения. Исследования проводили методами теоретической механики. В процессе исследования пренебрегали силами трения в суставах и массой нижней челюсти.

## Результаты исследования и их обсуждение

Сагиттальные зубочелюстные аномалии формируются под влиянием факторов наследственности и вредных привычек пациента и сопровождаются нарушениями формы зубных рядов. Применение эластопозиционеров предотвращает воспроизведение и закрепление вредных привычек и непосредственно устраняет сагиттальные зубочелюстные аномалии. Лечебное действие эластопозиционера можно разделить на коррекцию положения зубов относительно зубного ряда и формы зубных рядов в целом и на коррекцию взаимного положения верхнего и нижнего зубных рядов.

С точки зрения механики деформируемого тела эластопозиционер является кривым брусом большой кривизны, который изготовлен из высокоэластичных материалов. Эластопозиционер одновременно охватывает зубы верхнего и нижнего зубных рядов и создает тем больше давление на зубы или группы зубов, чем дальше они удалены от того положения, которое они должны принять после лечения. Механическое воздействие эластопозиционера, направленно на исправление формы зубной дуги, описано в работе [7].

В данной работе рассматривается вопрос изменения взаимного положения верхней и нижней челюстей на примере лечения зубоальвеолярных форм дистального и ме-

зиального прикусов с помощью эластопозиционеров.

## Лечение зубоальвеолярных форм дистального прикуса

Дистальный прикус характерен таким расположением челюстей, при котором верхняя челюсть преобладает над нижней. Применение эластопозиционера приводит к перемещению вперед нижней челюсти относительно верхней. После лечения челюсти занимают положение близкое к ортогнатическому. Схема элементов зубочелюстной аппарата изображена на рис. 1.

Все элементы зубочелюстной системы, которые показаны на рис. 1 со временем деформируются под воздействием ортодонтических усилий. Но эта деформация различна для разных элементов, поскольку они имеют различные механические свойства, а механические напряжения, возникающие в этих элементах, отличаются как по направлению, так и по величине.

На рис. 2 показано форму зубных рядов верхней (рис. 2а) и нижней (рис. 2б) челюстей до (пунктир) и после лечения (сплошная линия) дистального прикуса. Сравнение положения зубов до и после лечения, показало, что челюсти почти не изменили своего дистального размера, но изменили форму — стали более симметричными. За счет расширения челюстей была устранена скученность зубов. Рис. 2 показывает, что изменение взаимного положения челюстей происходит не столько благодаря изменению их размеров, сколько за счет деформации других элементов зубочелюстной системы, представленных на рис. 1.

Исследуем, какой нагрузке подвергаются эти элементы зубочелюстного аппарата

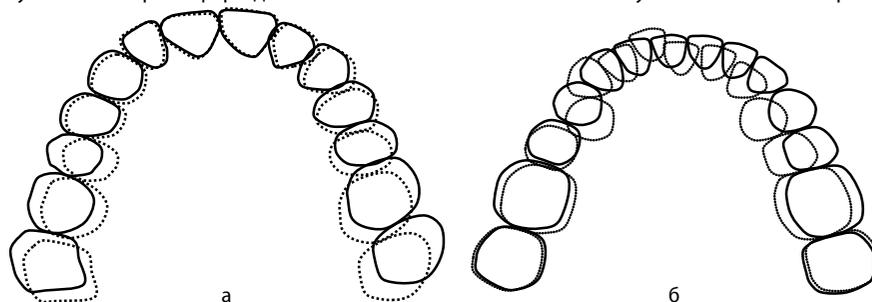


Рис. 2.

в процессе лечения дистального прикуса с помощью эластопозиционера.

Рассмотрим равновесие отдельного зуба, передвигающегося корпусно. Для того, чтобы зуб передвигался корпусно, равнодействующая  $P_K$  сил, действующих зуб должна проходить через центр сопротивления зуба. Чтобы соблюсти это условие, на коронку зуба со стороны эластопозиционера должно действовать еще два усилия  $P_B, P_C$ , направленных соответственно на верхушку и середину коронки зуба (рис. 3). Под действием сил  $P_B, P_C, P_K$  зуб находится в равновесии и для него можно составить уравнение сил и крутящих моментов [9].

$$\sum_{i=1}^3 F_i = 0; \quad \sum_{i=1}^3 F_i y_i = 0 \quad (1)$$

$$-P_K - P_B + P_C = 0; \quad -b P_B + a P_C = 0; \quad (2)$$

Решая систему уравнений (2) получаем следующие значения усилий, действующих на коронку зуба

$$P_B = \frac{a}{b-a} P_K, \quad P_C = \frac{b}{b-a} P_K. \quad (3)$$

Аналогичные, но противоположно направленные силы, действующие на зубы нижней челюсти.

Зубочелюстной аппарат является механизмом, превращающим сокращения мышц в движение нижней челюсти и создает усилие жевания. Упрощенная кинематическая схема этого механизма представлена на рис. 4. Механизм состоит из звена 1 (верхняя челюсть и соединенные с ними кости), звена 2 (нижняя челюсть), между которыми находится внутрисуставной мениск 3. Мениск 3 имеет возможность передвигаться относительно звена 1. Нижняя челюсть 2 опирается суставным бугорком 4 на мениск 3 и может поворачиваться относительно него. Контакт между звеньями 1, 2 и 3 является силовым и обеспечивается

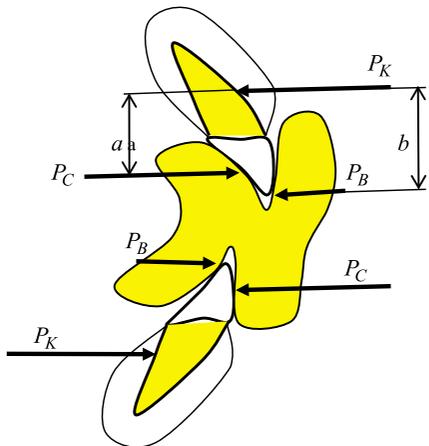


Рис. 3.

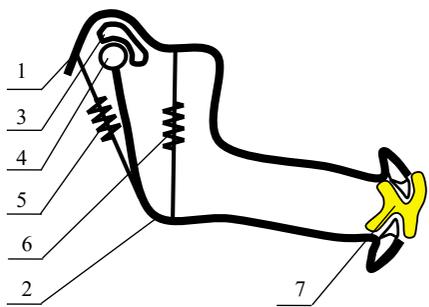


Рис. 4.

усилиями, которые создают мышцы, поднимающие нижнюю челюсть (жевательные, височные, медиальные крыловидные и другие), и опускающие нижнюю челюсть (двубрюшные, подбородочно-челюстно-подъязычные). Поскольку действие мышц, поднимающих и опускающих нижнюю челюсть похоже, то мышцы, которые при сокращении поднимают нижнюю челюсть, заменяем гибким звеном 6, а мышцы, опускающие нижнюю челюсть — звеном 5.

Определим усилия, возникающие в звеньях зубочелюстного механизма в случае, когда до зубов прикладывается усилие  $P_K$ .

Звено 1 примем за основу, на которой построен механизм движения звена 2 (нижняя челюсть). Рассмотрим равновесие звена 2, под действием усилий, направленных на него. На звено 2 со стороны эластопозиционера действует усилие  $P_E$  (рис. 5а), которое согласно третьему закону Ньютона равно и противоположно направлено усилию  $P_K$ :  $P_E = -P_K$  (4)

Со стороны мениска на нижнюю челюсть действует усилие  $P_2$ . Если пренебрегать трением в ВНЧС, то усилие равно и является соосным усилию, которое действует на мениск со стороны звена 1. Со стороны мышц (гибких звеньев 5 и 6) на нижнюю челюсть действуют силы растяжения  $P_5, P_6$ , направленных вдоль звеньев 5 и 6.

Для корпусного передвижения однокорневого зуба согласно [10] необходимо усилие в пределах 70...90 г. Таким образом, для перемещения шести передних зубов допустимо приложение усилия = 420...540 г. Оценим величину усилий, действующих на нижнюю челюсть, исходя из того, что усилия = 500 г.

На (рис. 5б) представлена диаграмма усилий, действующих на нижнюю челюсть, а в таблице 1 их величины в случае лечения дистального прикуса. Расчеты усилий выполнены методами теоретической механики [9] с использованием диаграммы, представленной на рис. 5б. В табл. 1 видим, что в случае лечения дистального прикуса с помощью эластопозиционера, наиболь-

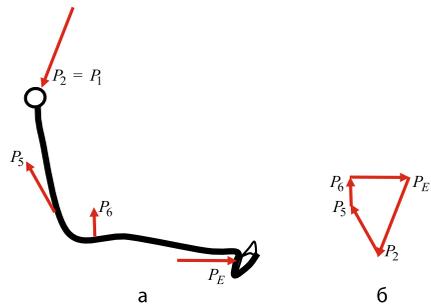


Рис. 5.

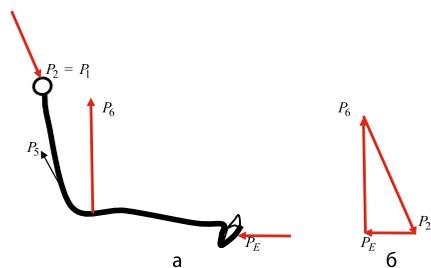


Рис. 6.

шим усилием является усилие, которое действует в ВНЧС и вызывает соответствующие преобразования в этом суставе. При лечении дистального прикуса происходит растяжение и изгиб нижней челюсти усилиями  $P_E, P_2, P_5, P_6$ . Под действием этих усилий происходит смещение нижней челюсти вперед относительно верхней. Итак, наибольшие усилия при лечении зубоальвеолярных форм дистального прикуса с помощью эластопозиционера локализируются в зоне ВНЧС и прилегающей к нему области нижней челюсти.

### Лечение зубоальвеолярной формы мезиального прикуса

Мезиальный прикус характеризуется смещением верхней челюсти кзади относительно нижней. При установке эластопозиционера на передние зубы пациента будет действовать пара сил, направление действия которых противоположно тем направлениям в которых действуют силы при лечении дистального прикуса. При этом к нижней челюсти прикладывается усилие  $P_E$  (см. рис. 6а).

Направление действия усилия  $P_2=P_1$  со стороны мениска направлен таким образом, чтобы его горизонтальная проекция противодействовала усилию  $P_E$ . Поскольку направление действия усилия  $P_2$  почти совпадает с направлением действия силы  $P_5$ , то это усилие будет равняться нулю, а соответствующие мышцы звена 5 (рис. 4) будут находиться в расслабленном состоянии.

На (рис. 6б) представлена диаграмма усилий, действующих на нижнюю челюсть, а в табл. 1 приведены величины этих усилий. Из табл. 1 можно видеть, что в случае лечения мезиального прикуса, наибольшим усилием является усилие, которое создается напряжением мышц, поднимающих нижнюю челюсть. Усилия  $P_E, P_2, P_6$  сжимают и сгибают нижнюю челюсть. Под действием этих усилий происходит смещение нижней челюсти кзади относительно верхней. Как и в случае лечения дистального прикуса, наибольшие усилия прикладываются в зоне ВНЧС и прилегающего к нему участка.

### Выводы и рекомендации

Сагиттальные зубочелюстные аномалии часто сопровождаются деформациями височно-нижнечелюстного сустава, скученностью и деформациями зубных рядов. Эффективное лечение сагиттальных и сопутствующих аномалий требует применения эластопозиционеров, которые предотвращают воспроизведение вредных привычек и непосредственно лечат эту аномалию.

Таблица 1.

| Объект лечения    | $P_E = -P_K, \text{ г}$ | $P_2 = P_5, \text{ г}$ | $P_5$ | $P_6$ |
|-------------------|-------------------------|------------------------|-------|-------|
| Дистальный прикус | 500                     | 720                    | 440   | 230   |
| Мезиальный прикус | 500                     | 1230                   | 0     | 1120  |

Действие эластопозиционера заключается в изменении положения зубов, самих зубных рядов и взаимном положении этих рядов. Зубочелюстной аппарат с точки зрения теоретической механики является механизмом, превращающим сокращения мышц в движение нижней челюсти и создает функциональные усилия между зубами верхней и нижней челюстей. При корпусном перемещении зубов ортодонтическое усилие на них должно быть направлено через центр сопротивления их корней. Поэтому со стороны эластопозиционера на нижнюю челюсть действует усилие, на-

правленное через центр сопротивления корневой зубов. Оценка усилий, действующих в зубочелюстной системе, в случаях лечения сагиттальных аномалий показала, что при лечении зубоальвеолярных форм дистального прикуса нижняя челюсть находится в состоянии растяжения и изгиба, а при лечении зубоальвеолярных форм мезиального прикуса — сжатия и изгиба. Основная перестройка межчелюстных соотношений при лечении сагиттальных зубочелюстных аномалий происходит в зоне ВНЧС и мышц, прикрепляющихся к нижней челюсти.

Таким образом, механико-математическое моделирование напряженно-деформированного состояния системы: зубочелюстной аппарат — эластопозиционер, показывает, что при лечении сагиттальных зубочелюстных аномалий перестройка зубочелюстного аппарата не ограничивается зоной альвеолярных отростков, где происходит выравнивание зубных рядов, но и в зоне височно-нижнечелюстного сустава и мышц, фиксирующихся к нижней челюсти.

#### Резюме

*Вступлення. Среди всех зубочелюстных аномалий значительное место занимают сагиттальные аномалии прикуса. Для лечения данной патологии были предложены эластопозиционеры, которые изготавливаются индивидуально для каждого пациента.*

*Цель. Совершенствование методик лечения сагиттальных зубочелюстных аномалий на основе анализа механико-математических аспектов работы эластопозиционеров.*

*Материалы и методы. Предметом исследования является система, состоящая из зубочелюстного аппарата пациента и эластопозиционера, что находится в процессе ортодонтического лечения. Исследования проводили методами теоретической механики.*

*Результаты исследования и выводы. При лечении дистального прикуса происходит смещение нижней челюсти вперед относительно верхней. При этом под действием ортодонтических усилий происходит растяжение и изгиб нижней челюсти. Лечение мезиального прикуса приводит к смещению нижней челюсти назад относительно верхней, а ортодонтические усилия сжимают и сгибают нижнюю челюсть. Наибольшие усилия при лечении мезиального и дистального прикусов локализуются в зоне височно-нижнечелюстного сустава и прилегающей к нему области нижней челюсти.*

#### Резюме

*Вступ. Серед усіх зубощелепних аномалій значне місце займають сагітальні аномалії прикусу. Для лікування даної патології були запропоновані еластопозиціонери, які виготовляються індивідуально для кожного пацієнта.*

*Мета. Вдосконалення методик лікування сагітальних зубощелепних аномалій на основі аналізу механіко-математичних аспектів роботи еластопозиціонерів.*

*Матеріали і методи. Предметом дослідження є система, що складається з зубощелепного апарату пацієнта та еластопозиціонера, що перебуває в процесі ортодонтичного лікування. Дослідження проводили методами теоретичної механіки.*

*Результати дослідження та висновки. При лікуванні дистального прикусу відбувається зміщення нижньої щелепи вперед відносно верхньої. При цьому під дією ортодонтичних зусиль відбувається розтяг та згин нижньої щелепи. Лікування мезіального прикусу призводить до зміщення нижньої щелепи назад відносно верхньої, а ортодонтичні зусилля стискають та згинають нижню щелепу. Найбільші зусилля при лікуванні мезіального та дистального прикусів локалізуються в зоні скронево-нижньощелепного суглоба та прилеглий до нього ділянку нижньої щелепи.*

#### Summary

*Entry. Among all dentoalveolar anomalies sagittal malocclusion occupy a significant place. For the treatment of this disease it has been proposed elastopositioners which are made individually for each patient.*

*Purpose. Improving the treatment of sagittal dentoalveolar anomalies by analyzing mechanical and mathematical aspects of elastopositioners.*

*Materials and methods. The subject of study is the system consisting of the patient's dentoalveolar system and elastopositioners during orthodontic treatment. Research carried out by methods of theoretical mechanics.*

*Results of the study and conclusions. In the treatment of distal occlusion occurs displacement of the mandible forward relative to the upper. Under the influence of the orthodontic forces occurs stretching and bending of the lower jaw. In the treatment of mesial occlusion occurs displacement of the mandible relative to the upper back and the orthodontic forces occurs compress and bending of the lower jaw. The greatest efforts are located in the area of the temporomandibular joint and the surrounding area of the lower jaw.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Weiland F.J. Initial effects of treatment of Class II malocclusion with the Herren activator, activator-headgear combination, and Jasper Jumper / F.J. Weiland, B. Ingervall, H.P. Bantleon et al // Am.J. Orthod. Dentofacial Orthop. - 1997. - Vol. 112. - P. 19-27.
- Оспанова Г.Б., Кулакова Е.В., Обуханич В.Р. Клиническое применение миофункциональных аппаратов нового поколения у детей // Международный стоматологический портал. – 2001. – Терапия. – С. 1-8.
- Головко Н.В. Результати застосування трейнера Т4К в якості лікувально-профілактичного апарату / Н.В. Головко, Шаді Аднан Аль Хатіб // Наук. Вісн. НМУ «Стомат. здоров'я – дітям України», К.: 2007. - С.60-61.
- Григоренко О.Я., Дорошенко С.И., Жачко Н.И., Тормахов Н.Н., Фліс П.С. Моделирование процессу повороту зуба при апаратурному лікуванні // Доповіді НАН України, 1999, N 2. - С. 74-78.
- Григоренко Я.М., Григоренко О.Я., Тормахов Н.Н., Триль Ю.А., Фліс П.С. Прогнозирование наличия места зубам в зубной дуге с помощью математического моделирования // Вісник стоматології, №1, 2010, С. 58-62.
- Григоренко Я.М., Григоренко А.Я., Тормахов Н.Н., Триль Ю.А., Фліс П.С. О форме зубных дуг при ортогнатической окклюзии // Доповіді НАН України, 2010, N 1. С. 188-194.
- Григоренко Я.М., Григоренко О.Я., Тормахов Н.Н., П. С. Фліс, В. В. Філоненко Механіко-математичне моделювання ортодонтичного лікування з використанням пре-ортодонтичних трейнерів // Доп. НАН України. - 2006. - № 5. - С. 172-179.
- Оснач Р.Г., Тормахов Н.Н., Беда О.В. Математическое обоснование применения ортодонтического метода замещения дефекта зубного ряда // Современная ортодонтия, К.: 2014, №02 (36). - С. 36-38.
- Кильчевский Н.А. Теоретическая механика. — М: Наука, 1977 — 480 с.
- Персин П.С. Ортодонтия. Лечение зубочелюстных аномалий. – М.: Инженер, 1998. – 297 с.