

УДК 539.3;616.314

П.С. Фліс¹, О.О. Циж¹, М.М. Тормахов²

Механіко-математичне моделювання процесу лікування пацієнтів з відкритим прикусом

¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, МОЗ України, м. Київ, Україна²Інститут механіки НАНУ імені С.П. Тимошенка, м. Київ, Україна

Мета – вдосконалення процесу лікування відкритого прикусу на основі аналізу механічних аспектів функціонування зубо-щелепної системи пацієнта.

Матеріал і методи. Предметом дослідження є система, що складається з зубо-щелепного апарату пацієнта та ортодонтичних апаратів які застосовуються під час ортодонтичного лікування відкритого прикусу та ретенції. Дослідження проводилися методами теоретичної механіки. В процесі досліджень нехтували деформацією окремих елементів системи під дією ортодонтичних сил.

Результати. Проведено механіко-математичне моделювання напруженого стану системи, що складається з зубо-щелепного апарату та встановлено на ньому ортодонтичного пристрою. Отримано математичні формули для обчислення опорних реакцій верхньої щелепи на нижню, що виникають під дією зусилля, яке створює ортодонтичний пристрій. Показано, що опорні реакції викликають скелетну і зубо-альвеолярну перебудову зубо-щелепного апарату і їх величина залежить не тільки від величини ортодонтичного зусилля, але й від кута його застосування.

Висновки. Відкритий прикус часто поєднується з іншими зубо-щелепними аномаліями, що викликає необхідність комплексної зміни форми зубних дуг в трьох взаємно перпендикулярних площинах. Лікування і ретенція ВП відбувається за допомогою ортодонтичних апаратів, які мають пружні елементи і створюють ортодонтичні зусилля для скелетної перебудови зубо-щелепного апарату та зубо-альвеолярної корекції зубних рядів. Для проведення ефективного лікування ВП треба правильно визначити величину, напрям дії та місце прикладання вектора ортодонтичного зусилля. Механіко-математичне моделювання напруженого стану системи зубо-щелепний апарат-ортодонтичний апарат дозволяє розрахувати величину та кут прикладання ортодонтичного зусилля, яке створює опорні реакції, що спрямовані на скелетну і зубо-альвеолярну перебудову зубо-щелепної системи.

Ключові слова: ортодонтичний пристрій, відкритий прикус, опорні реакції, щелепа, моделювання.

Вступ

Відкритий прикус (ВП) є одною з найтяжчих деформацій зубо-щелепного апарату, який може бути віднесений до аномалій прикусу у вертикальній площині і полягає у відсутності контакту у фронтальній та бокових ділянках. Наявність ВП порушує функції жування, дихання, ковтання, мови, які з часом ускладнюються. ВП може виникнути завдяки різноманітним етіологічним факторам і бути наслідком спадковості, хвороб матері під час вагітності, хвороб раннього дитячого віку, неправильного штучного вигодовування, шкідливих звичок смоктання і прикупування пальців, язика, губ та інших причин. Найбільш поширеним є фронтальний вид ВП. ВП спостерігається серед 3,8% пацієнтів, які звертаються за ортодонтичною допомогою і превалює у два рази частіше у хлопчиків, ніж у дівчат [1]. Особливістю ВП є те, що його лікування пов'язано з високим рівнем нестабільності результатів та рецидивів [2]. ВП може мати зубо-альвеолярну та скелетну форми і часто супроводжується деформацією скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС), скупченням зубів, звуженням зубних рядів та іншими порушеннями. Це потребує необхідності одночасного лікування цих аномалій, попередження виникнення у пацієнтів шкідливих звичок, регулювання положення і відновлення взаємодії окремих зубів верхньої

та нижньої щелеп, корегування роботи міжщелепних м'язів та СНЩС.

Лікування ВП проводять ортодонтичними апаратами, для конструювання яких та розробки методик їх застосування користуються механіко-математичними дослідженнями [3, 4].

Метою роботи є вдосконалення процесу лікування ВП на основі аналізу механічних аспектів функціонування зубо-щелепної системи пацієнта.

Матеріали та методи

Предметом дослідження є система, що складається з зубо-щелепного апарату пацієнта та ортодонтичних апаратів які застосовуються під час ортодонтичного лікування ВП та ретенції. Дослідження проводилися методами теоретичної механіки. В процесі досліджень нехтували деформацією окремих елементів системи під дією ортодонтичних сил.

Результати дослідження та їх обговорення

1. Лікування та попередження рецидивів ВП. В ортодонтичній практиці для лікування аномалій та деформацій зубо-щелепного апарату використовують ортодонтичні апарати, які можна поділити на механічно

діючі та апарати функціональної дії. В механічно-діючих апаратах для лікування ВП використовують ортодонтичні гвинти, лігатури та пружні елементи, які створюють ортодонтичне зусилля. Функціонально-направляючі апарати містять похилі та накушувальні площини, оклюзійні накладки, вестибулярні мантелі, та інше [3–8]. Ортодонтичні апарати можуть одночасно містити елементи конструкції механічної дії, функціонально-направляючої дії та елементи, які попереджують шкідливі звички – щічні щити, обмежуючі решітки, губні пелоти та інше.

Прикладом апарату для лікування ВП може слугувати апарат П.С.Фліса–В.В.Філоненка [5]. Цей апарат розширює зубні ряди; стимулює ріст апікальних базисів щелеп та переміщення верхніх фронтальних зубів орально, корегує зубо-альвеолярну висоту зубів (подовження у фронтальній ділянці та вкорочення у бокових ділянках). Завдяки наявності множинних похилених площин в апараті відбувається зміна положення зубів у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, а наявності захисної решітки – нормалізація положення язика, попередження надмірного тиску язика на передні зуби і запобігання прокладання язика між верхніми та нижніми фронтальними зубами. Але лікування цим апаратом не враховує зміну нахилу нижніх різців, які знаходяться в ретрузії.

Положення зубів залежить від рівності прилеглих м'яких тканин а стабілізація результатів лікування залежить від їх повної адаптації. Усунення дисфункції язика, губ, щік являється першим кроком в лікуванні ВП.

Для усунення ВП з протрузією верхніх та ретрузією нижніх фронтальних зубів був запропонований апарат [6], в якому вестибулярний нахил нижніх фронтальних зубів здійснюється введенням в конструкцію ортодонтичного апарата лінгвальних дуг, розміщених на похилій площині нижніх фронтальних зубів та губного бампера, розташованого на відстані 2–4 мм від альвеолярного паростка верхньої щелепи у фронтальному відділі присінку порожнини рота. Лінгвальні дуги активуються шляхом розгинання вигинів протрузійної дуги для зміни нахилу фронтальних нижніх зубів у вестибулярному напрямку. Губний бампер створює додаткову опору для нижньої губи з метою усунення її тиску на нижні різці, прискорює зміщення фронтального сегменту у вестибулярному напрямку.

З метою посилення інтрузійного ефекту і оклюзійних контактів в бічних ділянках застосовувались внутрішньоротові вертикальні еластичні тяги, які явились альтернативою зовнішньо-ротовим тягам для прискорення лікування ВП.

Оскільки ВП характеризується високим рівнем нестабільності результатів його лікування, тому для попередження виникнення рецидиву застосовують ретенційні апарати. Нами був запропонований апарат для ретенції результатів лікування ВП [7], який складається з

кап на верхню та нижню щелепи виготовлених із поліпропілену. На вестибулярній поверхні бокових зубів верхньої та нижньої щелеп закріплено вестибулярні кнопки, а на оральній частині капи в проекції різців верхньої щелепи – лінгвальні кнопки з гострими кінчиками. Між вестибулярними кнопками з верхньої та нижньої щелеп натягнуті еластичні тяги. Лінгвальні кнопки з гострими кінчиками корегують звичку пацієнта смоктати язика та запобігають його тиску на передні зуби. На зовнішній боковій поверхні кап роблять отвори та фіксують в них на поверхнях зубів верхньої та нижньої щелеп вестибулярні кнопки. Між вестибулярними кнопками верхньої та нижньої щелеп натягують еластичні тяги, які створюють ортодонтичне зусилля. Прикладання цього ортодонтичного зусилля фіксує положення фісурно-горбкових контактів у пацієнтів та попереджує небажану екструзію молярів пацієнта

Таким чином, дія апаратів [6, 7] для лікування і ретенції ВП пов'язана з прикладанням вектора ортодонтичного зусилля, яке створюють еластичні тяги і яке пересуває нижню щелепу вгору і вперед та попереджує екструзію молярів. Для проведення ефективного лікування ВП треба правильно визначити величину, напрям дії та місце прикладання вектора ортодонтичного зусилля, о досягається методами механіко-математичного моделювання.

2. Механіко-математичне моделювання процесу лікування ВП. Зубо-щелепний апарат з точки зору теоретичної механіки можна вважати механізмом, який складається з кісток верхньої та нижньої щелеп, м'язів, що регулюють положення нижньої щелепи, та СНЩС. В процесі лікування та ретенції ВП до цього механізму додають відповідні ортодонтичні апарати з еластичними тягами, які створюють ортодонтичне зусилля між верхньою та нижньою щелепами. Під дією цього ортодонтичного зусилля відбувається перебудова окремих ланок механізму зубо-щелепного апарату. Ця перебудова полягає в зміні взаємного положення та розмірів цих ланок. Оскільки ланки, які складають зубо-щелепну систему мають відмінні механічні властивості і навантажені різні по величині та напрямку зусиллями, то і ці зміни будуть різними.

На рис. 1 показано ортодонтичний апарат, який встановлено на верхню та нижню щелепи пацієнта. Складовими частинами апарату є верхня 1 та нижня 2 капи. На вестибулярній поверхні бокових зубів верхньої та нижньої щелеп закріплено вестибулярні кнопки. Між вестибулярними кнопками верхньої та нижньої щелеп натягнуті еластичні тяги 3, які створюють ортодонтичне зусилля для лікування ВП. Ортодонтичне зусилля пересуває нижню щелепу вгору і вперед шляхом деформації окремих ланок зубощелепного апарату і СНЩС, та притискає молярів, попереджуючи їх екструзію.

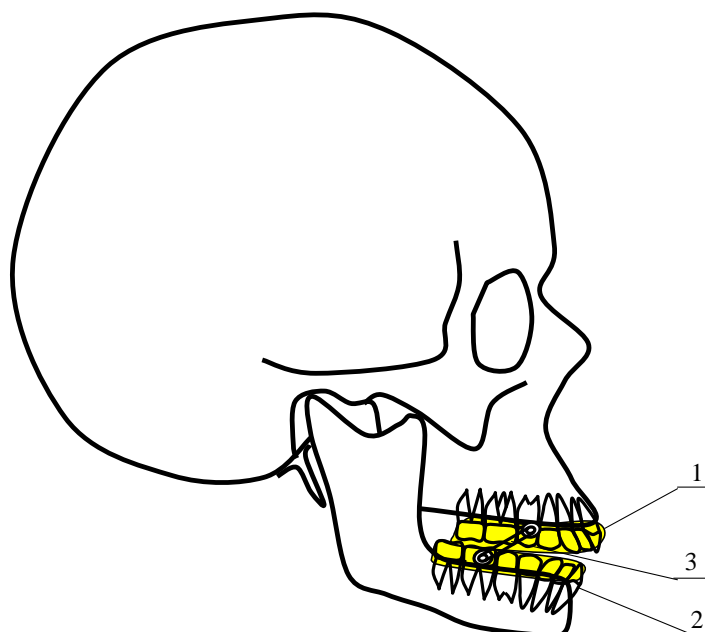


Рис. 1. Зубо-щелепний апарат з встановленим на ньому ортодонтичним пристроєм

На рис. 2 зображено нижню щелепу пацієнта з накладеною на нею капою ортодонтичного апарата під дією ортодонтичного зусилля P . В точці A , через меніск СНЩС, нижня щелепа з'єднується з верхньою і утримується опорною реакцією R_A . Опорну реакцію R_A можна розкласти на проєкції R_{Ax} , та R_{Ay} , що діють, відповідно, вздовж осей координат x та y [8]:

$$R_A = (R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2)^{0,5}, R_{Ax} = R_A \cos\beta, R_{Ay} = R_A \sin\beta, \quad (1)$$

де $\beta = \arctg(R_{Ay}/R_{Ax})$ – кут нахилу вектора R_A .

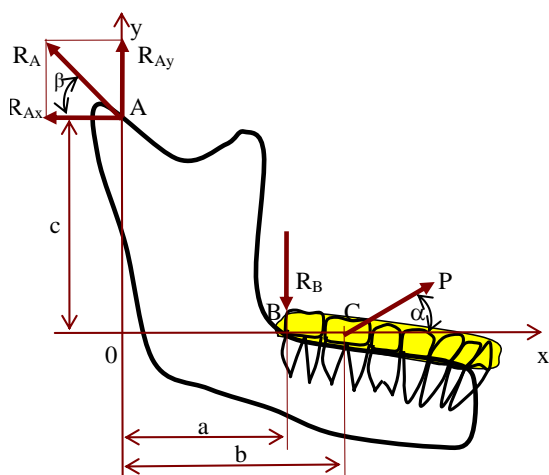


Рис. 2. Нижня щелепа з капою ортодонтичного пристрою

В точці B з боку верхньої щелепи на нижню діє опорна реакція R_B , яка стримує екструзію молярів. До

точки C нижньої щелепи під кутом α діє ортодонтичне зусилля P . Оскільки нижня щелепа знаходиться в статичній рівновазі, то до сил F_{xi} та F_{yi} , що діють вздовж осей x та y , та до крутих моментів відносно точки O ми можемо скласти наступні рівняння [8]:

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0 \quad (2)$$

$$\sum (F_{xi} y_i + F_{yi} x_i) = 0, \quad (3)$$

де x_i та y_i – координати точок прикладання зусиль F_{xi} .

Система рівнянь (2), (3) для нижньої щелепи буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} R_{Ax} + P \cos\alpha &= 0; \\ R_{Ay} - R_B + P \sin\alpha &= 0; \\ R_{Ax} c + R_B a - P \sin\alpha b &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (4) отримуємо наступні значення опорних реакцій:

$$R_{Ax} = -P \cos\alpha, R_{Ay} = P[c \cos\alpha + (b-a) \sin\alpha]/a \quad (5)$$

$$R_B = P(c \cos\alpha + b \sin\alpha)/a \quad (6)$$

В таблиці наведено значення опорних реакцій R_{Ax} , R_{Ay} , R_A , R_B та кута нахилу β , що розраховано по формулах (1), (5) в залежності від кута α нахилу ортодонтичного зусилля P . В розрахунках прийнято $P = 1$ Н та наступні значення розмірів щелепи: $a = 56$ мм, $b = 77$ мм, $c = 75$ мм.

Таблиця
Опорні реакції верхньої щелепи на нижню

α , град.	R_{Ax} , Н	R_{Ay} , Н	R_A , Н	R_B , Н	β , град.
15	0,97	1,40	1,70	1,65	55,3
30	0,87	1,35	1,61	1,85	57,2
45	0,71	1,22	1,41	1,92	59,8
60	0,50	0,99	1,11	1,86	63,2
75	0,26	0,71	0,76	1,68	69,9
90	0,0	0,38	0,38	1,38	90,0

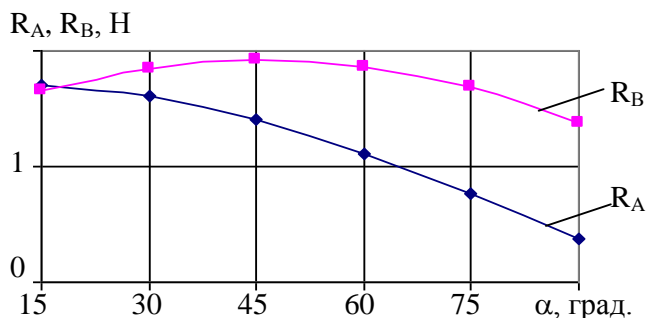


Рис. 3. Залежність опорних реакцій R_A , R_B від кута нахилу α

На рис. 3 подано залежність опорних реакцій R_A , R_B від кута нахилу α . Можна бачити, що при величині кута $\alpha = 15$ град. величини опорних реакцій R_A , R_B , які спрямовані на перебудову, відповідно, СНЩС та попередження екструзії молярів, мають приблизно однакову величину. Із зростанням кута нахилу ортодонтичної сили α опорна реакція нижньої щелепи R_A монотонно спадає майже до нуля, а зусилля R_B на інтервалі від 15 до 90 град. має свій максимум. Розрахуємо величину кута α , при якому величина зусилля R_B отримує свій максимум. Для цього знайдемо похідну від (6) по кута α , прирівняємо її нулеві та розв'яжемо отримане рівняння (7) відносно α . В результаті отримаємо:

$$R'_B = P(-c \sin \alpha + b \cos \alpha) / a = 0, \quad (7)$$

$$\alpha = \arctg(b/c) \quad (8)$$

Піставляючи в (8) величини b та c розраховуємо максимум зусилля $R_B - \alpha = 47$ град.

Висновки

Відкритий прикус відноситься до зубо-щелепних аномалій в вертикальній площині і полягає у відсутності контакту у фронтальній та бокових ділянках. ВП часто поєднується з іншими зубо-щелепними аномаліями, що викликає необхідність комплексної зміни форми зубних дуг в трьох взаємоперпендикулярних площинах. Лікування і ретенція ВП відбувається за допомогою ортодонтичних апаратів, які мають пружні елементи і створюють ортодонтичні зусилля для скелетної перебудови зубощелепного апарату та зубоальвеолярної корекції зубних рядів. Для проведення ефективного лікування ВП треба правильно визначити величину, напрям дії та місце прикладання вектора ортодонтичного зусилля.

З точки зору теоретичної механіки зубощелепний апарат є механізмом, який складається з кісток верхньої та нижньої щелеп, м'язів, що регулюють положення нижньої щелепи, зубів та СНЩС. Нижня щелепа є рухомою ланкою, з'єднується з верхньою щелепою за допомогою СНЩС. В СНЩС виникає перша опорна реакція верхньої щелепи. Другу опорну реакцію створюють моляр-антагоністів верхньої щелепи. Ортодонтичне зусилля може бути прикладене до нижньої щелепи під різними кутами. Величини опорних реакцій залежать не тільки від величини ортодонтичного зусилля, але й від кута його прикладання. При величині кута рівному 15 град. величини першої та другої опорних реакцій мають приблизно однакову величину. Із зростанням кута нахилу ортодонтичної сили перша опорна реакція нижньої щелепи монотонно спадає майже до нуля. Друга опорна реакція має свій максимум при куті 47 град.

Механіко-математичне моделювання напруженого стану системи зубо-щелепний апарат-ортодонтичний апарат дозволяє розрахувати величину та кут прикладання ортодонтичного зусилля, яке створює опорні реакції, що спрямовані на скелетну і зубо-альвеолярну перебудову зубо-щелепної системи.

Перспективи подальших досліджень

Для успішного ортодонтичного лікування відкритого прикусу потрібно ретельний обрахунок величини ортодонтичного зусилля та кут його застосування на нижній щелепі. Механіко-математичне моделювання напруженого стану системи зубо-щелепний апарат-ортодонтичний апарат дозволяє розрахувати величину та кут прикладання ортодонтичного зусилля, яке створює опорні реакції, що спрямовані на скелетну і зубо-альвеолярну перебудову зубо-щелепної системи, і тим самим підвищити ефективність лікування такої складної ортодонтичної патології, якою є відкритий прикус. Подальші дослідження будуть проводитися в даному напрямку.

Література

1. Флис П.С. Распространенность зубочелюстных аномалий, деформаций и дефектов зубных рядов среди пациентов обратившихся за ортодонтической помощью / П.С.Флис // Вісник стоматології. – 2012. – № 4 – С. 91–94.
2. Newal Khan, Munaza Shaf Open Bite: A Review // International Journal of Health Sciences and Research. – 2014. – № 4 (9). – р. 288–295.
3. Григоренко Я.М. Механіко-математичне моделювання ортодонтичного лікування з використанням пре-ортодонтичних трейнерів / Я.М. Григоренко, О.Я. Григоренко, Н.Н. Тормахов, П.С. Фліс, В.В. Філоненко // Доп. НАН України. – 2006. – № 5. – С. 172–179.
4. Лихота К.Н. Механико-математическое моделирование лечения сагиттальных зубочелюстных аномалий с помощью эластопозиционеров / К.Н. Лихота, Н.Н. Тормахов // Современная ортодонтия. – 2015. – № 3 (41). – С. 49–51.
5. Патент 69548 на корисну модель А61С7/00. Ортодонтичний апарат П.С.Фліса – В.В. Філоненка для лікування відкритого прикусу / П.С. Фліс, В.В. Філоненко; заявл. 16.02.12; опубл. 25.04.12, Бюл. №8.
6. Патент 117888 на корисну модель А61С7/00. Ортодонтичний апарат для лікування відкритого прикусу / П.С. Фліс, О.О. Циж; заявл. 10.02.17; опубл. 10.07.17, Бюл. № 13.
7. Патент 117887 на корисну модель А61С8/00. Апарат для ретенції результатів лікування відкритого прикусу / П.С. Фліс, О.О. Циж; заявл. 10.02.17.
8. Кильчевский Н.А. Теоретическая механика / Н.А. Кильчевский. – Москва : Наука, 1977. – 480 с.

Дата надходження рукопису до редакції: 22.10.2018 р.

Механико-математическое моделирование процесса лечения пациентов с открытым прикусом

П.С. Флис¹, О.О. Циж¹, М.М. Тормахов²

¹Кафедра ортодонтии и пропедевтики ортопедической стоматологии НМУ им. О.О. Богомольца МЗ Украины, Киев, Украина

²Институт механики НАНУ им. С.П. Тимошенка, Киев, Украина

Цель – усовершенствование процесса лечения открытого прикуса на основании анализа механических аспектов функционирования зубо-челюстной системы пациента.

Материалы и методы. Предметом исследования является система, состоящая из зубо-челюстного аппарата человека и ортодонтических аппаратов, которые используются во время ортодонтического лечения открытого прикуса и ретенции. Исследования проводились методом теоретической механики. При этом игнорировали деформацию отдельных элементов системы под воздействием ортодонтических сил.

Результаты. Осуществлено механико-математическое моделирование напряженного состояния системы, состоящей из зубо-челюстного аппарата и установленного на нем ортодонтического аппарата. Получены математические формулы для вычисления опорных реакций верхней челюсти на нижнюю, что

возникают под воздействием сил, которые создает ортодонтический аппарат. Показано, что опорные реакции вызывают скелетную и зубо-альвеолярную перестройку зубо-челюстного аппарата и их величина зависит не только от величины ортодонтических усилий, а и от угла его приложения.

Выводы. Открытый прикус часто считается с другими зубо-челюстными аномалиями, что вызывает потребность комплексного изменения формы зубных дуг в трех перпендикулярных плоскостях. Лечение и ретенция осуществляется с использованием ортодонтических аппаратов, которые имеют пружинящие элементы и создают ортодонтические усилия для скелетной перестройки зубо-челюстного аппарата и зубо-альвеолярной коррекции зубных рядов. Для эффективного лечения открытого прикуса необходимо правильно определить величину, направление действия и место приложения вектора ортодонтического усилия. Механико-математическое моделирование напряженного состояния системы зубо-челюстной аппарат-ортодонтический аппарат позволяет рассчитать величину и угол приложения ортодонтического усилия, которое создают опорные реакции, направленные на скелетную и зубо-альвеолярную перестройку зубо-челюстной системы.

Ключевые слова: ортодонтический аппарат, открытый прикус, опорные реакции, челюсть, моделирование.

Mechanic-mathematical simulation during treatment patients with open-bite

P.S. Flis¹, O.O. Tsyzh¹, M.M. Tormahov²

¹National Medical university named after O.O. Bogomolets

²Institute of Mechanic named after S.P. Timoshenko

Purpose. The goal is to improve the process of open bite treatment based on the analysis of mechanical aspects of the functioning of the tooth-jaw system of the patient.

Material and methods. The subject of the study is a system consisting of a patient's tooth-jaw apparatus and orthodontic devices used during orthodontic treatment of open bite and retention. The research was carried out by the methods of theoretical mechanics. In the course of research, they neglected the deformation of individual elements of the system under the influence of orthodontic forces.

Results. The mechanic-mathematical simulation of the stressed state system, consisting of the dental maxillary apparatus and the orthodontic device installed on it, was carried out. The mathematical formulas for calculation of supporting reactions of the upper jaw to the lower, arising under the action of the force that creates an orthodontic device are obtained. It

is shown that the supporting reactions cause skeletal and dentoalveolar rearrangement of the dentognathic apparatus, and their magnitude depends not only on the magnitude of the orthodontic effort, but also on the angle of its application.

Conclusions. An open bite is often combined with other tooth-jaw abnormalities, which causes the need for a complex change in the form of dental arches in three mutually perpendicular planes. Treatment and retention of open-bite is carried out with the help of orthodontic devices that have elastic elements and create orthodontic efforts for skeletal reconstruction of the dental maxillary apparatus and dental-alveolar correction of dental arteries. For the effective treatment of the open-bite, it is necessary to correctly determine the magnitude, direction and place of application of the vector of orthodontic effort. The mechanical-mathematical modeling of the stressed state of the tooth-jaw machine orthodontic apparatus allows us to calculate the magnitude and angle of application of the orthodontic effort, which creates supporting reactions aimed at the skeletal and tooth-alveolar reconstruction of the tooth-jaw system.

Key words: orthodontic device, open-bite, supporting reactions, jaw, modeling.

Відомості про авторів

Фліс Петро Семенович – д.мед.н., професор, завідувач кафедри отродонтії та пропедевтики ортопедичної стоматології, стоматологічний факультет НМУ імені О.О.Богомольця; вул. Зоологічна, 1, Київ, Україна.

Циж Ольга Олександрівна – асистент кафедри отродонтії та пропедевтики ортопедичної стоматології, стоматологічний факультет НМУ імені О.О.Богомольця; вул. Зоологічна, 1, Київ, Україна.

Тормахов Микола Миколайович – к.т.н, старший науковий співробітник, Інститут механіки НАНУ ім. С.П.Тимошенка; 03057, вул. Нестерова, 3, Київ-57, Україна.