

УДК 539.3; 616.314

В. П. Неспрядько*, Е. В. Дорошенко *, Н. Н. Тормахов **, С. И. Дорошенко***

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ

*Национальный медицинский университет им. А.А.Богомольца,

**Институт механики НАН Украины им. С.П.Тимошенко

*** Киевский медицинский университет УАНМ

Введение

При лечении зубочелюстных деформаций возникает необходимость приложения ортодонтического усилия к элементам зубочелюстного аппарата пациента [1]. Это усилие создается с помощью ортодонтических аппаратов, в которых оно возникает в ходе функциональных движений нижней челюсти пациента, либо при использовании ортодонтических винтов или упругих элементов. Ортодонтические аппараты и элементы зубочелюстной системы пациента, на которые действует ортодонтическое усилие, аккумулируют упругую энергию, которая затем используется на коррекцию деформаций зубочелюстного аппарата.

Данная работа посвящена математическому моделированию формы упругих элементов, которые применяются в ортодонтии для создания ортодонтических сил, необходимых для лечения зубочелюстных деформаций.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе [2] было предложено использовать упругие элементы в виде петель, расположенных с лингвальной и вестибулярной сторон зубного ряда (см. рис. 1). Упругие элементы 1 концами 2 жестко закреплены в пластинке 3, которая фиксируется на опорных зубах, альвеолярных отростках и нёбе пациента. Второй конец упругих элементов плотно охватывает перемещаемый зуб 4. Благодаря тому, что упругий элемент 1 плотно охватывает перемещаемый зуб 4, на этот зуб со стороны упругого элемента может действовать не только ортодонтическое усилие P , но и изгибающий момент M . Преимуществом таких упругих элементов по сравнению с упругими элементами прямолинейной формы является то, что они могут запасать большую величину упругой энергии. С точки зрения механики деформируемого твердого тела упругий элемент этого типа может классифицироваться как плоский симметрично нагруженный изгибающим моментом и осевой силой гибкий

стержень с зацементированными концами (см. рис.2). Ортодонтические аппараты с такими упругими элементами могут передвигать зуб поступательно (корпусно) в дистальном или мезиальном направлениях, поворачивать его по и против часовой стрелки вокруг его горизонтальной оси, а также комбинировать эти воздействия. Перечень возможных воздействий на зуб приведен в табл. 1.

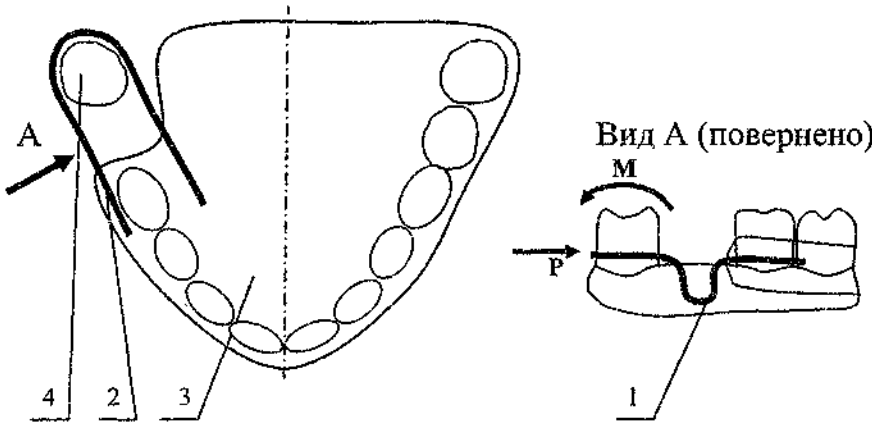
При всех этих видах нагрузок, которые представлены в табл. 1, упругий элемент, установленный в ортодонтическом аппарате [2], в напряженном состоянии может иметь одну и ту же форму. Но, чтобы реализовать все комбинации воздействий на зуб, он должен при одной и той же форме в нагруженном деформированном состоянии иметь разную форму в разгруженном и ненапряженном состоянии.

Задачей данного исследования является определение формы упругих элементов в разгруженном состоянии для реализации

Таблица 1

Виды силового воздействия на перемещаемый зуб

1	Крутящий момент против часовой стрелки
2	Крутящий момент по часовой стрелке
3	Усилие, действующее в дистальном направлении
4	Усилие, действующее в мезиальном направлении
5	Крутящий момент против часовой стрелки и усилие, действующее в дистальном направлении
6	Крутящий момент против часовой стрелки и усилие, действующее в мезиальном направлении
7	Крутящий момент по часовой стрелке и усилие, действующее в дистальном направлении
8	Крутящий момент по часовой стрелке и усилие, действующее в мезиальном направлении



всех возможных случаев ортодонтического лечения.

Поставленная задача решается с использованием методов деформированного твердого тела [3]. В ходе математического моделирования сделаны допущения о малости упругих деформации, конечных перемещениях и поворотах точек поперечного сечения упругого элемента в одной плоскости и допущение о сохранении плоскими сечений упругого элемента в процессе его деформирования. Для решения этой задачи была разработана методика расчета формы упругого элемента в недеформированном и ненагруженном состоянии по его форме в нагруженном состоянии, а также по нагрузкам, действующим на него. Разработанная методика была протестирована на примере изгиба стержня в форме четверти круга, защемленного одним концом и нагруженного на своем свободном конце сосредоточенной силой [4]. Расхождение перемещений, рассчитанных по формулам [4] и по приведенной методике, не превысило 0,5 %, что свидетельствует о достоверности разработанной методики.

В качестве примера рассчитаем по предложенной методике форму упругого элемента в ненагруженном состоянии, который в нагруженном состоянии изображен на рис. 2 и имеет размеры $R = 3$ мм, $L = 6$ мм. В расчете полагали, что модуль упругости упругих элементов равен $2 \cdot 10^5$ МПа. Толщина поперечного сечения упругого элемента была принята равной 0,1 мм, а его

ширина - 1,5 мм. Так как форма упругого элемента и приложенная на него нагрузка симметричны, то рассчитывали только половину профиля упругого элемента. При расчете были приняты такие нагрузки, при которых изгибающий момент в поперечном сечении упругого элемента не превышал величины 1,5 Нмм и остаточные деформации в упругом элементе не возникали.

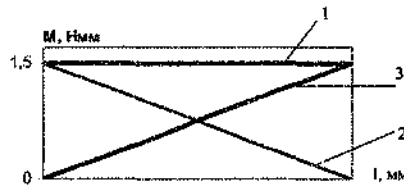


Рис 3

Рассмотрим случай воздействия на зуб только крутящего момента величиной $M = 1,5$ Нмм в направлении против часовой стрелки (поз. 1 табл. 1). Изгибающий момент при этом воздействии остается постоянным по длине стержня (прямая 1 на графике, который показан на рис. 3). Форма упругого элемента в разгруженном состоянии, рассчитанная по предложенной методике для этого случая нагружения зуба, показана кривой I на рис. 4. Утолщенной линией на рис. 4 дана форма упругого элемента в нагруженном состоянии.

В случае воздействия на зуб только усилия $P = 0,25$ Н, действующего в дистальном направлении, изгибающий момент по высоте стержня изменяется по закону II, показанному на рис. 3. Изгибающий момент достигает максималь-

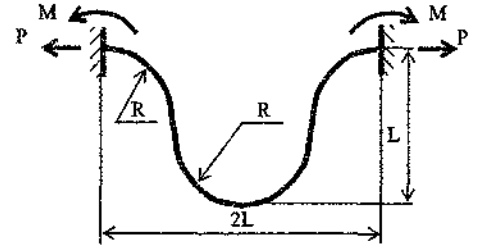


Рис 1, 2

ной величины в нижней точке упругого элемента и равен $M = 1,5$ Нмм. Форма упругого элемента в разгруженном состоянии для этого случая нагружения зуба показана на рис. 4 кривой II.

В том случае, когда упругий элемент создает на зуб мезиально направленное усилие $P = -0,25$ Н и крутящий момент $M = 1,5$ Нмм, действующий в направлении против часовой стрелки, график изменения изгибающего момента в зависимости от вертикальной координаты упругого элемента обозначен цифрой III (рис. 3). Максимальный изгибающий момент по длине упругого элемента возникает в этом случае нагружения в точке его контакта с перемещаемым зубом. Форма упругого элемента в разгруженном состоянии показана кривой III на рис. 4. Как можно видеть, форма кривой III очень близка к форме упругого элемента в нагруженном состоянии. Малое отличие этих кривых объясняется тем, что максимальные величины изгибающего момента и прогибы упругого элемента наблюдаются для

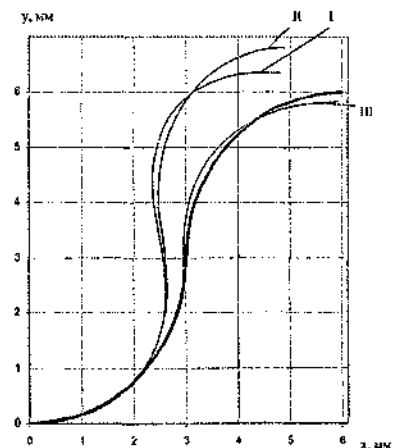


Рис 4

з цього випадку в місці прикріплення пружного елемента к зубу, а в нижній частині пружного елемента вигинаючі моменти від дії M і P взаємно урівноважують один одного. При цьому кути нахилу на кривих 0 і 3 в точках контакту пружного елемента з зубом відрізняються на 5° .

По результатам проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

З допомогою пружного елемента, який в напруженому стані має одну і ту ж форму, можна навантажувати перемещувані зуби крутячим моментом, силою або комбінацією цих навантажень.

Для того, щоб створити такі види навантажень на зуб, необхідно, щоб пружні елементи в розвантаженому стані мали відповідну геометрію.

Предложено методика для розрахунку форми пружних елементів в розвантаженому стані і відповідна комп'ютерна програма для її реалізації, яка була протестована в одному з видів навантаження пружного елемента. Приведено приклади розрахунку форми пружних елементів для випадків їх навантаження тільки крутячим моментом, тільки силою і спільним навантаженням крутячого моменту і сили.

Література

1. Профит У.Р. Современная ортодонтия / У.Р. Профит. – М.: МЕДпресс-информ, 2006. – 560 с.
2. Деклараційний патент на корисну модель № 43071 Апарат для мезіодистального переміщення зуба. Дорошенко С.І., Кульгінський Є.А., Довбенко С.А., Саранчук О.В., Ієвлева Ю.В., Дорошенко К.В. // Промислова власність, опубл. 27.07.09, Бюл. № 14.

3. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела / А.П. Филин.- М.: Наука, 1975. – Т.1.- 832 с.

4. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов / С.П. Тимошенко. – М.: ОГИЗ. Гос. изд-во техн.-теор. лит-ры, 1946. - Т.2. – 456 с.

*Стаття надійшла
30.09 2010 р.*

Резюме

Запропоновано методику математичного моделювання форми пружних елементів ортодонтичних апаратів, призначених для переміщення і повороту зубів, та комп'ютерну програму для її реалізації. Методика дозволяє розрахувати форму пружного елемента в розвантаженому стані за формою пружного елемента в навантаженому стані та видом навантаження на зуб.

Ключові слова: математичне моделювання, пружний елемент, ортодонтичний апарат, переміщення та поворот зубів.

Summary

The technique of mathematical simulation of the form of elastic elements of the orthodontic devices intended for moving and turning of teeth and the computer program for its realization is offered. The offered technique allows calculating the form of an elastic element in the unloaded state after its form in the loaded state and shape of loading on a tooth.

Key words: mathematical simulation, elastic element, orthodontic device, moving and turning of the teeth.