

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОРТОДОНТИЧЕСКОГО МЕТОДА ЗАМЕЩЕНИЯ ДЕФЕКТА ЗУБНОГО РЯДА

Ключевые слова: среднее напряжение, корень зуба, ортодонтическая сила, площадь опорных элементов

Введение

Стоматологические заболевания приводят к частичной потере зубов и деформации зубных рядов, сопровождающихся характерными устойчивыми патологическими морфо — функциональными изменениями зубочелюстной системы [1]. Рост стоматологической заболеваемости в современных условиях обуславливает актуальность углубленного изучения методов их лечения.

Одним из методов лечения частичной потери зубов и деформации зубных рядов является ортодонтический способ замещения дефекта зубного ряда. Согласно этому способу дефекты зубного ряда замещают передвижением в мезиальном направлении дистально расположенных зубов. Проведение такого лечения выполняют с помощью аппаратов [2, 3], которые создают ортодонтическое усилие, действующее на перемещаемый зуб и вызывают механические напряжения на границе корня зуба с альвеолярной костью. Под действием этих напряжений в тканях альвеолярной кости происходит перестройка, которая и вызывает перемещение зуба [4, 5]. Математическое обоснование ортодонтического способа замещения дефектов зубных рядов является одной из актуальных проблем стоматологической клинической практики. Первой проблемой, которая возникает на пути такого лечения, является проблема определения величины ортодонтического усилия, необходимого для его проведения. Второй проблемой, которая возникает в процессе замещения дефекта зубного ряда путем передвижением дистально расположенного зуба, является определение опоры для ортодонтического аппарата. Согласно третьему закону Ньютона ортодонтическое усилие уравновешивается таким же по величине, но обратным направленным усилием приложенным к опоре для ортодонтического аппарата. Итак, опорные элементы, на которые опирается ортодонтическое устройство, должны быть такими, чтобы их перемещение не вызвало осложнений при лечении.

Поскольку в настоящее время не существует теории, которая могла бы подробно решить эти проблемы, целью данной работы является разработка механико-математической модели, которая позволила бы

методически обосновать ортодонтический способ замещения дефектов зубных рядов.

Материал и методы исследования, основные предположения

Построение математической модели перемещения зуба с помощью ортодонтического аппарата проводится методами теоретической механики и механики деформируемого твердого тела [6-8]. При этом создается расчетная математическая модель, которая идеализирует и упрощает реальную картину перемещения зуба. При механической нагрузке все твердые тела изменяют свои размеры и форму. Мы будем считать, что под действием ортодонтических сил, которые передвигают зуб, ортодонтический аппарат и элементы пародонта остаются абсолютно жесткими и не деформируются [6]. Мы также пренебрегли весом ортодонтического аппарата.

Основная часть

Ортодонтическое усилие прикладывается к зубу, вызывает появление на границе корня и альвеолярной кости напряжения σ , равное величине элементарной силы dF , действующей на элемент площади корня dS в месте его контакта с альвеолярной костью [8],

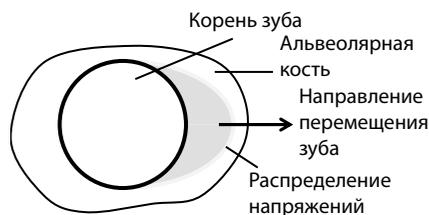


Рис. 1. Распределение напряжений в поперечном сечении корня зуба

$$\sigma = dF/dS. \quad (1)$$

Закон Анри-Шульца показывает, что малые напряжения стимулируют регенеративные процессы в костях, средние — тормозят, а большие — угнетают. А. М. Шварц [5] установил 4 степени напряжения, возникающие под действием ортодонтического усилия:

1. При величине напряжений до 20 г/см² никаких реакций со стороны тканей пародонта не возникает.

2. Если напряжение меньше капиллярного давления и находится в пределах 20-26 г/см², в тканях пародонта происходят изменения.

3. Если напряжение превышает капиллярное давление, то на стороне сжатия возникает анемия и застой крови, пациент жалуется на болезненность, которая напоминает начальную стадию пародонтита.

4. При напряжениях выше 65 г/см² поверхностные слои тканей пародонта раздавливаются, что вызывает разрыв сосудисто-нервного пучка, кровоизлияния у верхушки корня, гибель пародонта и сращения зуба и кости.

Итак, чтобы предотвратить появление осложнений и потерю зуба при его перемещении, напряжения в месте контакта корня зуба с альвеолярной костью должны быть в пределах 20-26 г/см².

Механическое напряжение в зоне контакта корня зуба с альвеолярной костью распределены по поверхности корня зуба неравномерно [5, 6]. На рис. 1 представлена схема распределения напряжения в окружном направлении. В направлении перемещения зуба это напряжение достигает максимальной величины и спадает до нуля в перпендикулярном направлении [6].

Площадь корней зубов (мм²)

	Номер зуба в зубном ряду							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Однокорневые зубы								
Верхняя челюсть, мм ²	197	171	283		236			
Нижняя челюсть, мм ²	153	162	222	206	212			
Многокорневые зубы								
Верхняя челюсть, мм ²				250		465	393	318
Нижняя челюсть, мм ²						393	343	271

Таблица 1.

Для того, чтобы определить усилие, необходимое для перемещения зуба, надо интегрировать напряжения по всей площади контакта зуба с альвеолярной костью. Но такое интегрирование является сложной задачей, так как распределение напряжений в осевом и окружном направлениях зависит от индивидуальной формы корня зуба. Чтобы избежать необходимости интегрирования напряжений при определении ортодонтического усилия, мы будем исходить не от допустимых напряжений, а допустимых усилий, которые необходимо приложить к перемещаемому зубу.

Согласно данным [5] при корпусном перемещении зубов оптимальной является ортодонтическая сила F_i , величина которой находится в пределах 100-150 г. Меньшие значения этого усилия касаются перемещения однокорневых, а большие — многокорневых зубов. Поскольку величина оптимального ортодонтического усилия в первую очередь зависит от площади поверхности корня зуба, который нужно переместить, определим среднюю площадь одно- и многокорневых зубов. В табл. 1 представлены величины площади корней зубов в норме [8].

Средняя величина площади поверхности однокорневых зубов составляет $S_0=204,7$ мм², а многокорневых — $S_6=347,6$ мм². Итак, если исходить из оптимальной ортодонтической силы для однокорневых зубов равной 100 г, то среднее напряжение для однокорневых зубов составит величину $\Sigma_0=0,489$ г/мм². Соответствующее среднее напряжение для многокорневых зубов будет равно $\Sigma_6=0,432$ г/мм². Итак, можно считать, что среднее напряжение Σ_c для одно — и многокорневых зубов будет равна

$$\Sigma_c=0,5(\Sigma_0+\Sigma_6)=0,461 \text{ г/мм}^2 \quad (2)$$

Исходя из этой величины среднего напряжения и площадей корней зубов в табл. 2 даны расчеты оптимальных величин ортодонтических усилий для зубов по следующей формуле

$$F_i=\Sigma_c S_i \quad (3)$$

где, F_i , S_i — соответственно, ортодонтическое усилие и площадь корня i -го зуба.

Из табл. 2 можно видеть, что наименьшую силу — 70 г надо прикладывать для перемещения центральных нижних резцов, которые имеют наименьшую площадь корней, а наибольшую — 214 г — ко вторым верхним молярам. Таким образом, из табл. 2 можно получить величину оптимального усилия,

которое необходимо для корпусного перемещения зуба.

На опору ортодонтического устройства действует реактивная сила, которая является равнодействующей ортодонтической и направлена в противоположную сторону. Части опоры (зубы, мини-имплантаты и проч.), углублены в вестибулярную кость, должны иметь такую площадь поверхности $S_{оп}$, чтобы под действием реактивной силы опоры перемещалась не более чем на некоторую допустимую, из лечебных соображений, величину $U_{оп}$.

На рис. 2 изображена кривая зависимости перемещения зуба u от среднего напряжения Σ , приложенного к нему [5]. Кривая зависимости u (Σ) пересекает ось Σ в точке порога чувствительности Σ_c . Порогом чувствительности называют среднее напряжение при котором перемещение еще не происходит. Зависимость u (Σ) на участке между точками Σ_c и Σ с можно считать линейной и описать следующим уравнением:

$$u(\Sigma)=k(\Sigma-\Sigma_c) \quad (4)$$

где k — константа. При напряжении большем Σ_c зависимость u (Σ) становится существенно нелинейной и дальнейший рост Σ уже не приводит к росту перемещения. Поэтому напряжение выше, чем Σ_c прикладывать к зубам нежелательно.

Предположим, что нам надо заместить дефект зубного ряда путем перемещения зуба на расстояние U_3 . Тогда согласно (4) для перемещаемого зуба можно записать следующее уравнение:

$$u_3=k(\Sigma_c-\Sigma_c) \quad (5)$$

Так как на опорные элементы, на которые опирается ортодонтический аппарат, действует усилие, равное по величине ортодонтической силы, то для опорных зубов согласно (4) будет справедливым следующее выражение:

$$u_{оп}=k(\Sigma_{оп}-\Sigma_c) \quad (6)$$

где $\Sigma_{оп}$ — среднее напряжение на заглубленных в альвеолярную кость опорных элементах.

Решая (5) относительно k и подставляя его в (6), получаем для среднего напряжения на опорных элементах $\Sigma_{оп}$ следующее выражение:

$$\Sigma_{оп}=u_{оп}(\Sigma_c-\Sigma_c)/u_3+\Sigma_c \quad (7)$$

Для того, чтобы средние напряжения на опорных элементах не превышали $\Sigma_{оп}$, их площадь $S_{оп}$ должна быть не менее

$$S_{оп}^n=F_i/(u_{оп}(\Sigma_c-\Sigma_c)/u_3+\Sigma_c) \quad (8)$$

Таким образом мы установили математическую зависимость, которая позволяет определить площадь опорных элементов, необходимую для перемещения зуба и опорных элементов на заданное расстояние.

Рассмотрим конкретный пример расчета ортодонтического усилия и площади опорных элементов при лечении частичной потери зубов. Предположим, что для замещения отсутствующего первого моляра нижней челюсти нам нужно переместить второй моляр на $U_3=7$ мм. При этом перемещение опорных элементов (зубов и мини-имплантатов) не должно превышать $U_{оп}=1$ мм. Согласно табл. 2 для перемещения второго моляра нижней челюсти нужно ортодонтическое усилие $F_i=158$ г. Подставляя U_3 , $U_{оп}$ и F_i в (8) и задав средние напряжения $\Sigma_c=0,461$ г/мм², $\Sigma_c=0,32$ г/мм² получаем необходимую величину суммарной площади опорных элементов $S_{оп}=464$ мм². Таким образом, чтобы перемещение опорных элементов не превышало 1 мм, их суммарная площадь $S_{оп}$ должна быть не менее 464 мм². Для создания такой опорной площади можно задействовать первый и второй премоляры, которые имеют площадь поверхности корня зуба соответственно 206 и 212 мм². Поскольку суммарная площадь премоляров составляет 418 мм², что меньше требуемых 464 мм², то задействуем еще мини-имплантат № 16 диаметром 1,6 мм и длиной 7 мм. Площадь рабочей поверхности мини-имплантата № 16 равна 47 мм². Итак суммарная площадь опорных элементов составит 465 мм², что должно обеспечить поставленную нами условие перемещения опоры не более 1 мм.

Выводы

Проведенные исследования показали, что при лечении частичной потери зубов и деформации зубных рядов способом перемещения зубов ортодонтическое усилие вызывает механические напряжения на границе корня зуба с альвеолярной костью. Для проведения такого лечения необходимо рассчитать величину ортодонтического усилия и площадь опоры для ортодонтического аппарата. Методами механики деформируемого твердого тела было определено оптимальное среднее напряжение, которое необходимо приложить к поверхности корня перемещаемого зуба. В зависимости от площади поверхности

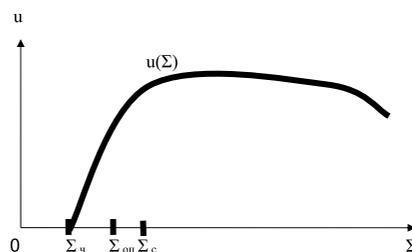


Рис. 2. Кривая зависимости перемещения зуба u от среднего напряжения Σ , приложенного к нему

Оптимальные величины ортодонтических сил, г

Таблица 2.

	Номер зуба в зубном ряду							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Зубы верхней челюсти, мм ²	91	79	130	115	109	214	181	146
Зубы нижней челюсти, мм ²	70	75	102	95	98	181	158	125

корня зуба были рассчитаны величины оптимальных ортодонтических сил, которые надо приложить для его перемещения.

На основе экспериментальной зависимо-

сти перемещения зуба от приложенного к нему усилия получено уравнение корпусного перемещения зуба от среднего напряжения на границе его корня. Выведена

математическая формула для определения минимальной площади опорных элементов, на которых установлен ортодонтический аппарат.

Резюме

Определена величина оптимальных ортодонтических усилий, которые надо приложить для корпусного перемещения зубов. На основе предложенного определяющего уравнения, описывающее зависимость перемещения зуба от среднего напряжения на границе корня зуба, разработана математическая зависимость для определения площади опорных элементов ортодонтического аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gabella N. World oral health / N. Gabella // Odontostomatol. Trop. — 2012. — Vol. 35, № 138. — P. 3–4.
- Біда В.І., Оснач Р.Г., Біда О.В. Ортодонтичний апарат для мезіалізації жувальної групи зубів / Патент на корисну модель № UA 82356 МПК (2006.01) А61С 7/00, А61С 8/00 (2006.1) Промислова власність, Бюл., № 4 від 25.07.2013 — 4 с.
- Оснач Р.Г., Беда А.В. Ортодонтическое лечение дефектов зубных рядов, осложненных зубочелюстными деформациями, путем мезиализации жевательных зубов с применением аппарата собственной конструкции Научно-практический журнал «Стоматолог» 3(10). — 2013. — С.46-49.
- Чуйко А.Н., Шинчуковский И.А. Биомеханика в стоматологии. Х.: Изд-во «Форт», 2010. — 468 с.
- Проффит У.Р. Современная ортодонтия М: МЕДпресс-информ, 2006. — 560 с.
- Неспрядько В.П., Орлов В.А., Тормахов М.М. Напружений стан тканин періодонта опорних зубів // Современная стоматология, 3, 2005, С. 137-140.
- Григоренко О.Я., Дорошенко С.И., Жачко Н.І., Тормахов Н.Н., Фліс П.С. Моделювання процесу повороту зуба при апаратурному лікуванні // Доповіді НАН України, 1999, № 2. — С. 74-78.
- Чуйко А.Н. Вовк В.Е. Особенности биомеханики зубочелюстного сегмента в норме // Стоматолог. — Харьков, 2004. — С. 11-17.

ПО ПИСЬМАМ ЧИТАТЕЛЕЙ

С чем связан рост зубочелюстных аномалий в последние десятилетия?

Рост распространенности зубочелюстных аномалий многие авторы связывают со многими причинами, среди которых увеличение количества генетических мутаций, которые имеют наследственный характер, эволюционный процесс редукции зубочелюстной системы и изменение ее функции. В процессе развития и роста челюстно-лицевого скелета большое значение имеет функция жевательных мышц, которая зависит, от того, какую силу они затрачивают на пережевывание пищи, поскольку в последние годы значительно изменился характер пищи, она стала более «мягкой», это отрицательно повлияло на состояние пародонта. Ротовое дыхание, неправильное глотание и нарушения речи способствуют сужению зубных дуг, изменению положения передних зубов и углублению режцового перекрытия. Также следует отметить негативное влияние факторов внешней среды, ее техногенное загрязнение. В силу вышеупомянутого ухудшается аллергологический статус, количество аллергических ринитов, которые способствуют развитию ротового дыхания и как следствие, аномалиям прикуса.

Какова подготовка участка для введения миниимпланта?

Теоретически при использовании самосверлящего миниимпланта подготовка ме-

ста для его введения не требуется, так как он может быть введен прямо через мягкие ткани в кость при помощи ручной отвертки или других инструментов. Так как это простейшая процедура, множественные этапы относительно подготовки места для введения импланта можно добавить в процедуру введения. Учитывая, что существует множество различных протоколов введения миниимплантов в зависимости от производителя и клинициста. Считается, что выбор протокола введения зависит от личных предпочтений врача. Для некоторых этапов такой подход имеет смысл, но доказательств, что одна процедура имеет преимущество над другой, недостаточно. Однако для других этапов такие же доказательства существуют в аспекте лучших результатов применения той или иной процедуры.

На основе чего проводится диагностика глубокого прикуса?

Диагностика различных видов глубокого прикуса проводится на основе:

- изучения ширины коронок верхних и нижних резцов, их осевого положения (правильная позиция, протрузия, ретрузия);
- выраженности денальных бугров верхних резцов, контактов между передними зубами;
- двухстороннего соотношения клыков и первых постоянных моляров в сагитальном направлении в зубных рядах, сомкну-

тых в привычной окклюзии;

- раннего разрушения и потери временных и постоянных зубов боковой области;
- мезиального наклона или смещения верхних и нижних зубов на место разрушенных или удаленных.

Для диагностики глубокого прикуса надо измерить и вычислить:

- мезиодистальные размеры коронок верхних (Si) и нижних (Si) резцов, их сумму;
- соответствие сумм мезиодистальных размеров резцов по индексу Пона (1,35 мм);
- глубину режцового перекрытия;
- величину сагитальной щели между верхними и нижними центральными резцами;
- длину переднего отрезка зубных дуг за Коргхаузом;
- ширину зубных дуг по Пону.

Диагноз устанавливается на основе клинических исследований, антропометрических измерений моделей зубов, метрического изучения фотографий лица в фас и профиль, боковых телерентнограмм головы, оценки ортопантограммы.