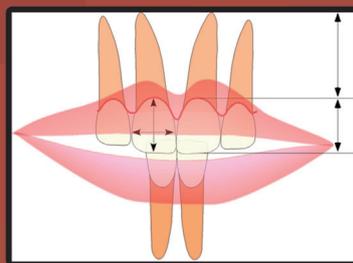
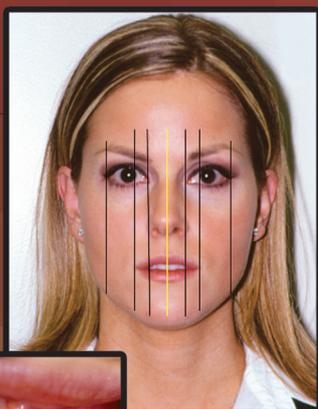
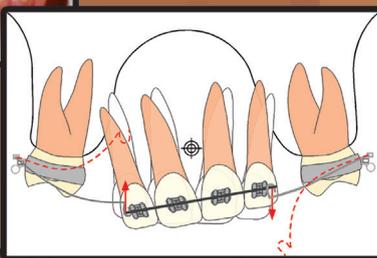


# БИОМЕХАНИКА и ЭСТЕТИКА в Клинической ортодонтии



РАВИНДРА НАНДА



Перевод  
с английского

2-е издание



Москва  
«МЕДпресс-информ»  
2016

УДК 616.314-089.23  
ББК 56.6  
Н25

*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.*

*Авторы и издательство приложили все усилия, чтобы обеспечить точность приведенных в данной книге показаний, побочных реакций, рекомендуемых доз лекарств. Однако эти сведения могут изменяться.*

*Внимательно изучайте сопроводительные инструкции изготовителя по применению лекарственных средств.*

*Перевод с английского: А.В.Коваленко.*

**Нанда Р.**

Н25 Биомеханика и эстетика в клинической ортодонтии / Равиндра Нанда ; пер. с англ. — 2-е изд. — М. : МЕДпресс-информ, 2016. — 388 с. : ил.  
ISBN 978-5-00030-323-8

Издание содержит полезную информацию по наиболее важным аспектам ортодонтии, последовательно описаны диагностика и планирование лечения, приведено большое количество клинических примеров, особое внимание уделено функциональной эстетике. Кроме того, представлены результаты экспертной оценки выдающихся специалистов в современной ортодонтии. Эстетические параметры и конструкции аппаратов, описанные в книге, могут быть успешно использованы для получения предсказуемого результата в ежедневной клинической практике.

Данное издание предназначено для практикующих врачей, студентов-постдипломников, преподавателей медицинских вузов.

УДК 616.314-089.23  
ББК 56.6

ISBN 0-7216-0196-0

ISBN 978-5-00030-323-8

© This edition of *Biomechanics and Esthetic Strategies in Clinical Orthodontics (0721601960)* by *Ravindra Nanda* is published by arrangement with Elsevier Inc., New York, New York, USA

© Издание на русском языке, перевод на русский язык, оформление, оригинал-макет. Издательство «МЕДпресс-информ», 2009

# ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние несколько десятилетий среди ортодентов и врачей других специальностей, а также среди населения значительно увеличился и продолжает расти интерес к эстетике. Хотя эстетика — понятие субъективное и отличается в разных этнических группах, все же можно выделить определенные параметры привлекательности. Эти параметры следует учитывать при постановке диагноза, составлении плана лечения и выборе ортодонтической механики.

Впервые учебник по ортодонтии сочетает два очень важных аспекта ортодонтического лечения: эстетику и биомеханику. Биомеханика — это наиболее важный фактор при конструировании ортодонтического аппарата. В данной книге показано, как успешно решить эстетические задачи ортодонтического лечения с помощью биомеханики ортодонтической аппаратуры. В книге описана конструкция простых аппаратов, которые можно без труда использовать в любой ортодонтической технике и философии ортодонтии.

Данная книга дополняет нашу книгу «Биомеханика в клинической ортодонтии» (Biomechanics in Clinical Orthodontics), выпущенную в 1996 г. В новом издании представлены расширенные и обновленные данные по двум главам предыдущей книги, а также добавлены 16 новых глав. Книга основана на опыте авторов, признанных ведущими специалистами в своей области, и освещает ортодонтические вопросы — от диагностики и планирования лечения до биомеханических принципов и заключительных этапов лечения различных зубочелюстных аномалий.

Доктора Хуанг (Huang), Кинг (King) и Кэпила (Kapila) освещают современные аспекты биологических механизмов перемещения зубов. Доктор Кейм (Keim) рассматривает социальную психологию в связи с эстетикой лица, важный вопрос, который, вероятно, еще не был так полно рассмотрен в ортодонтической литературе. Доктор Захриссон (Zachrisson) показывает, как тщательная диагностика может улучшить эстетический результат лечения. Доктора

Рэм Нанда (Ram Nanda) и Дандажена (Dandajena) дают критическую характеристику различным методам лечения аномалий класса II. Три главы данной книги, написанные докторами Сугавара (Sugawara) и Чанг (Chang), посвящены аномалиям класса III. Современные данные по скелетным имплантатам и абсолютной опоре представлены в двух главах докторов Эрверди (Erverdi), Кейлза (Keles) и Сугавара (Sugawara). Доктора Лэган (Legan) и Конли (Conley) представили биомеханические аспекты в хирургической ортодонтии. Доктора Кокич (Kokich) и Кокич-мл. (Kokich-Jr.) обсуждают роль пародонтологии и реставрации в эстетическом результате ортодонтического лечения. Мои коллеги, доктора Кюхльберг (Kuhlberg) и Урибе (Uribe), были моими соавторами в семи главах этой книги и внесли большой вклад в их написание.

В данной книге последовательно описаны диагностика и планирование лечения, особое внимание уделено функциональной эстетике. Книга содержит большое количество клинических примеров с сотнями цветных иллюстраций. Кроме того, в ней представлены результаты экспертной оценки одних из самых выдающихся специалистов в современной ортодонтии. Представленные здесь эстетические параметры и конструкции аппаратов могут быть успешно использованы для получения предсказуемого результата.

В данной книге студенты-постдипломники, сотрудники университета и практикующие врачи найдут полезную для себя информацию по наиболее важным аспектам ортодонтии. После трех лет непрерывной работы я с радостью и гордостью представляю Вам эту книгу. Я очень признателен всем тем, кто внес вклад в создание этой книги, и надеюсь, что врачи-ортодонты будут читать ее с тем же удовольствием, с которым мы ее писали.

*Равиндра Нанда,*  
декабрь 2004  
Фармингтон, шт. Коннектикут

# БЛАГОДАРНОСТИ

Прежде всего я хочу поблагодарить моих соавторов за то, что они, несмотря на свою занятость, нашли время для написания этой книги. Их экспертная оценка очень ценна для нас.

Выражаю сердечную благодарность моему коллеге доктору Флавио Урибе (Flavio Uribe) за помощь в написании этой книги. Работая вместе с ним, я убеждаюсь, что в нашей профессии есть молодые талантливые специалисты, которые обеспечат ей блестящее будущее. Доктор Энди Кюхльберг (Andy Kuhlberg) проделал прекрасную работу по написанию трех глав данной книги и отлично проиллюстрировал 10 глав с помощью компьютерной графики.

Особая благодарность доктору Эрин Казмирски-Фурно (Erin Kazmierski-Furno), моей старшей студентке-постдипломнице, которая не ответила отказом ни на одну мою просьбу. Она провела много часов за сканированием фотографий и созданием иллюстраций к данной книге.

Моя личная благодарность Перри Хаго (Perry Haque), Линдси Брем (Lindsay Brehm) и Полю Блан-

ше (Paul Blanchette) за помощь, которую они мне оказывали в течение последних нескольких лет.

Я также хочу выразить признательность более чем 125 бывшим студентам за их поддержку. Пользуясь случаем, я хочу поблагодарить их за финансовую помощь в создании Кафедры ортодонтии Рави Нанда (Ravi Nanda) Университета Коннектикута. Это большая честь для меня, и никакой учитель не мог бы желать большего.

Я также хочу поблагодарить Пенни Рудольф (Penny Rudolph), исполнительного редактора издательства «Elsevier», которая почувствовала, что необходимо продолжить книгу «Биомеханика в клинической ортодонтии». Также я искренне благодарю Джэйме Пендилла (Jaime Pendill), главного редактора по развитию издательства «Elsevier», за то, что он побуждал меня и моих коллег закончить эту книгу вовремя.

И, наконец, моя особая благодарность моей жене Кэтрин (Catherine) за поддержку на каждом этапе написания книги.

Равиндра Нанда

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ГЛАВА 1

### **Принципы биомеханики в ортодонтии 15**

*Andrew Kuhlberg, Ravindra Nanda*

---

## ГЛАВА 2

### **Биологические основы ортодонтического перемещения зубов 30**

*John C.Huang, Gregory King, Sunil Kapila*

---

## ГЛАВА 3

### **Индивидуальная диагностика в ортодонтии 51**

*Flavio Uribe, Ravindra Nanda*

---

## ГЛАВА 4

### **Индивидуальное планирование ортодонтического лечения 87**

*Ravindra Nanda, Flavio Uribe*

---

## ГЛАВА 5

### **Значение эстетики лица с точки зрения социальной психологии 108**

*Jill Bennett Nevin, Robert Keim*

---

## ГЛАВА 6

### **Эстетика улыбки 124**

*Björn U.Zachrisson*

---

## ГЛАВА 7

**Лечение глубокой окклюзии 145***Ravindra Nanda, Andrew Kuhlberg*

---

## ГЛАВА 8

**Лечение открытого прикуса 169***Flavio Uribe, Ravindra Nanda*

---

## ГЛАВА 9

**Стратегия лечения аномалий окклюзии класса II без удаления зубов с точки зрения биомеханики 190***Ram S.Nanda, Tarisai C.Dandajena, Ravindra Nanda*

---

## ГЛАВА 10

**Биомеханические основы закрытия экстракционных промежутков 207***Ravindra Nanda, Andrew Kuhlberg, Flavio Uribe*

---

## ГЛАВА 11

**Клиническое руководство по лечению развивающейся аномалии окклюзии класса III 224***Junji Sugawara*

---

## ГЛАВА 12

**Стратегия лечения развивающейся аномалии окклюзии класса III 256***Frank Hsin-Fu Chang, Jenny Zwei-Chieng Chang*

---

## ГЛАВА 13

**Биомеханические аспекты модифицированной протракционной внеротовой тяги 277***Ravindra Nanda*

---

## ГЛАВА 14

**Выбор опоры и мини-имплантаты в ортодонтии 291***Nejat Erverdi, Ahmet Keles, Ravindra Nanda*

---

## ГЛАВА 15

**Биоэффективная система скелетной опоры 308***Junji Sugawara*

---

## ГЛАВА 16

**Биомеханические факторы в ортогнатической хирургии 323***Harry L. Legan, R. Scott Conley*

---

## ГЛАВА 17

**Биомеханические стратегии для оптимального окончания лечения 344***Flavio Uribe, Ravindra Nanda*

---

## ГЛАВА 18

**Взаимодействие ортодонтии, пародонтологии и реставрационной стоматологии 362***Vincent G. Kokich, Vincent O. Kokich*

---

# Принципы биомеханики в ортодонтии

*Andrew Kuhlberg, Ravindra Nanda*



**В** основе ортодонтического лечения лежит перемещение зуба под действием различных сил. Величина и направление силы зависят от конструкции аппарата и режима его применения, которые подбирает врач. В ответ на воздействие силы на зуб в тканях пародонта происходит ряд сложных биологических реакций, результатом которых является движение зуба в кости. Клетки тканей пародонта не различают конструкцию аппарата, сплав, из которого он изготовлен, форму дуги и т.д., поэтому выраженность биологического ответа на лечение зависит исключительно от величины давления на зуб и степени напряжения, возникающего при этом в тканях. Таким образом, для получения точного прогнозируемого результата лечения необходимы четко заданные параметры воздействующей силы. С другой стороны, следует учитывать нюансы строения и взаимодействия компонентов в биологических системах, которые осложняют возможность получения стопроцентно прогнозируемого результата в клинике даже при четко заданных параметрах силы. Не исключено, что в перспективе, при углубленном изучении этих систем, удастся уменьшить количество неизвестных факторов, влияющих на ортодонтическое лечение, и, таким образом, снизить вариабельность результатов. В настоящее время для управления процессом ортодонтического лечения необходимо знание принципов биомеханики.

Рассмотрим определения этих составляющих: механика — это дисциплина, описывающая воздействие сил на тела, биомеханика рассматривает действие принципов механики в условиях биологических систем, а ортодонтическое лечение заключается в приложении сил к зубу. Силы развиваются с помощью различных ортодонтических аппаратов, здесь можно провести аналогию с применением

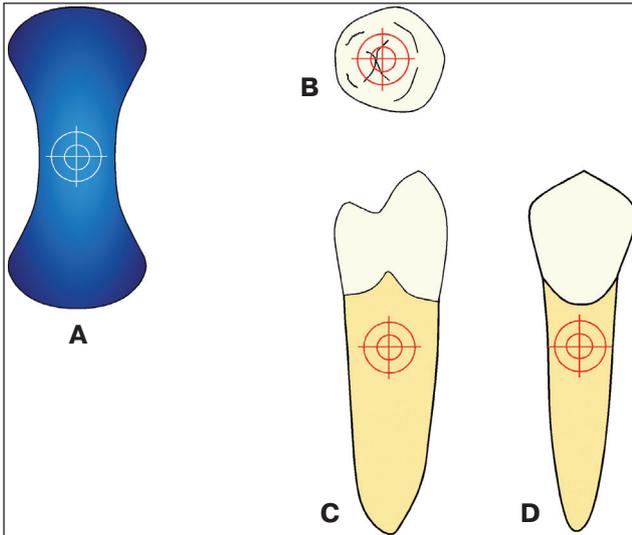
фармацевтических препаратов в медицине. Лекарственные препараты используются для достижения специфического биологического ответа, который устранил или облегчит симптомы заболевания. Чтобы правильно назначить препарат, необходимо понимать механизмы его действия. Подобным образом, успех лечения в ортодонтии зависит от умения прикладывать силы необходимой величины и направления для достижения желаемого результата.

Продолжительность ортодонтического лечения в настоящее время все еще составляет около 2 лет. При этом большое количество времени тратится на исправление возникших в ходе лечения побочных эффектов (нежелательного перемещения зубов). Эффективность лечения может снижаться по причине неточности технического исполнения аппарата в той же мере, что и от отсутствия психологического контакта с пациентом. Значительное повышение эффективности достигается при применении принципов биомеханики на практике, это позволяет разработать индивидуальный план, сократить время лечения и получить более предсказуемый результат.

## Основы механики в ортодонтии

Знание фундаментальных концепций механики необходимо для понимания клинического значения биомеханики в ортодонтии.

Вначале рассмотрим *центр сопротивления*. Все объекты имеют центр массы — это точка, через которую должна пройти прилагаемая сила для линейного (без ротаций) перемещения свободного объекта, т.е. центр массы — это «точка равновесия» объекта. На рисунке 1-1А изображен центр массы произволь-

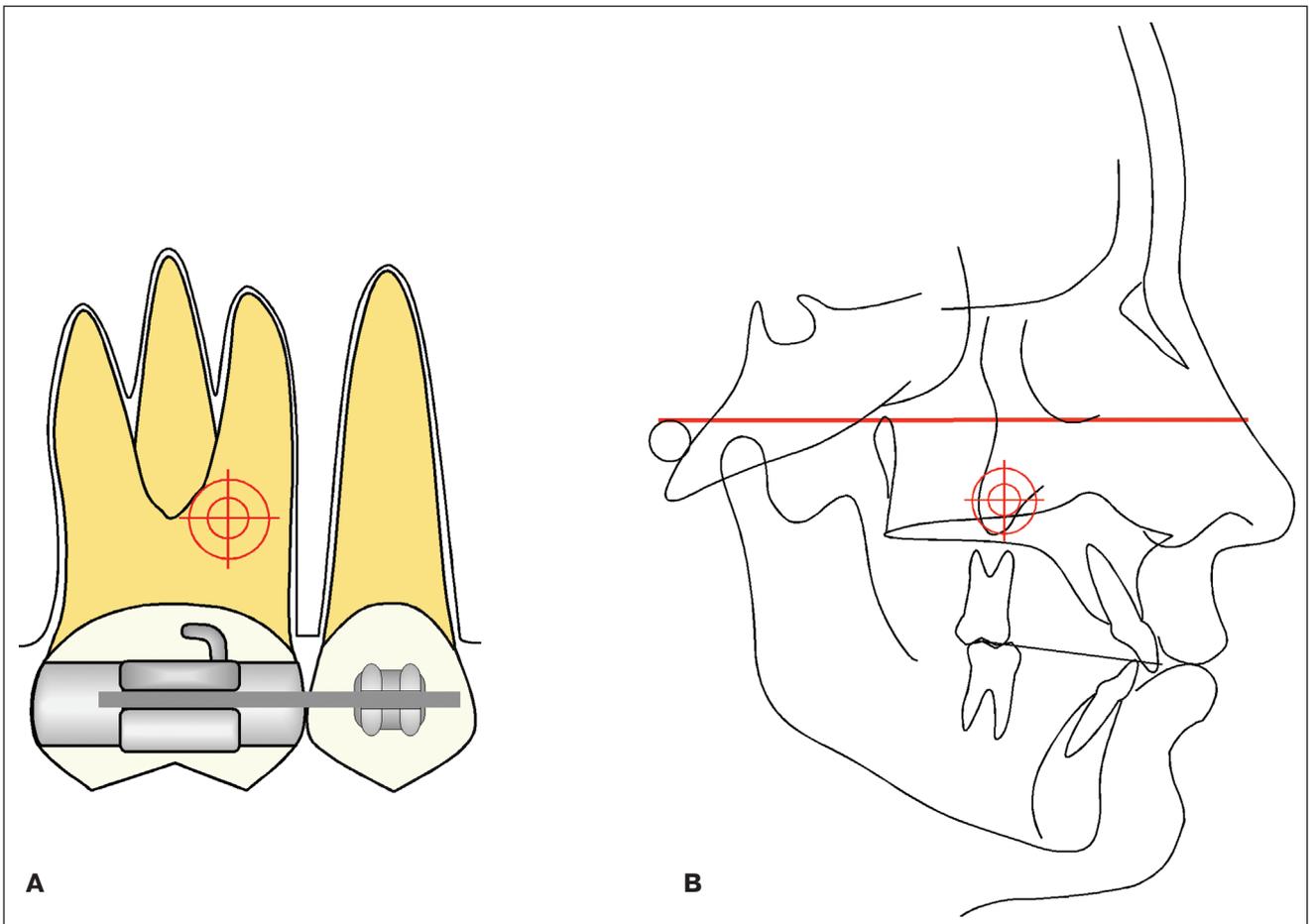


**Рис. 1-1** Центр сопротивления. **A** Центр массы свободного тела. Центр сопротивления одиночного зуба с окклюзионной (**B**), мезиальной (**C**) и вестибулярной (**D**) поверхностями.

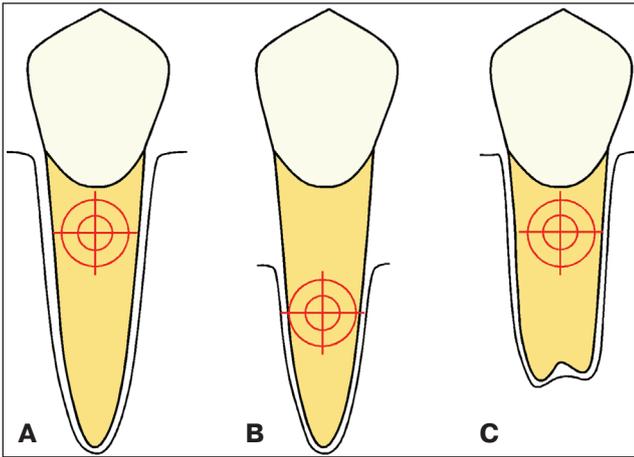
ного свободного тела. Рассматривая зуб, следует отметить, что он не является свободным телом, так как ограничен тканями пародонта. Для несвободных тел понятия центра сопротивления, центра массы и точ-

ки равновесия эквивалентны. На рисунке 1-1B–D изображена приблизительная локализация центра сопротивления для одиночного зуба. Следует заметить, что центр сопротивления можно описать во всех плоскостях пространства, так, одиночный зуб, группа зубов, зубной ряд и собственно челюсть имеют свои центры сопротивления. На рисунке 1-2 представлена приблизительная локализация центров сопротивления группы из двух зубов и верхней челюсти.

Локализация центра сопротивления зуба зависит от длины и морфологии его корня, количества корневой и количества поддерживающей костной ткани (рис. 1-3). И хотя точную локализацию центра сопротивления зуба определить довольно сложно, тем не менее, аналитические исследования показали, что центр сопротивления однокорневого зуба с нормальным уровнем альвеолярной кости находится на  $1/4$ – $1/3$  расстояния от цементно-эмалевой границы до верхушки корня [1–6]. Также можно установить локализацию центра сопротивления лицевых костей (например, верхней челюсти), всего зубного ряда или групп зубов [7]. Экспериментальные и аналитические исследования показали, что центр сопротивления для перемещения верхней челюсти находится несколько ниже подглазничного отверстия, а для интрузии верхних фронтальных зубов центр сопротивления будет располагаться дистально относительно корней латеральных резцов [5, 6].



**Рис. 1-2** Центр сопротивления группы из двух зубов (**A**) и верхней челюсти (**B**).



**Рис. 1-3** Локализация центра сопротивления зуба зависит от количества костной ткани и длины корня (А). Локализация центра сопротивления зуба при атрофии альвеолярной кости (В) и при коротком корне зуба (С).

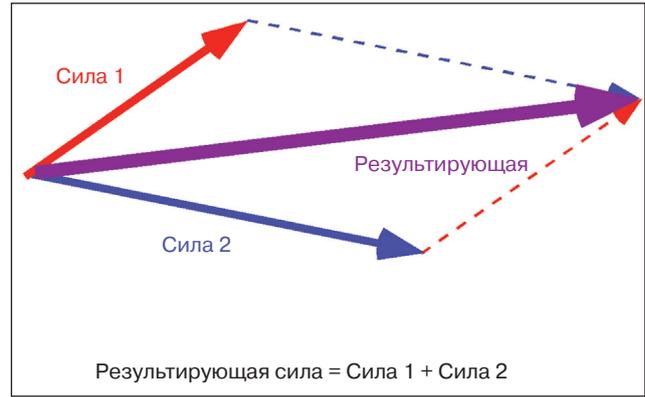


**Рис. 1-4** Вектор силы характеризуется величиной, линией действия, точкой начала (приложения) и направлением (ориентацией).

Хотя точную локализацию центра сопротивления определить невозможно, при выборе и активации ортодонтической аппаратуры важно знать его приблизительное расположение, так как соотношение сил, действующих на зуб, с его центром сопротивления определяет тип перемещения зуба. Это соотношение более подробно будет описано ниже в данной главе.

В ортодонтии основным определяющим моментом является *сила*, так как именно благодаря ей происходит перемещение зубов. Сила определяется как действие, прилагаемое к телу, и равна массе, умноженной на ускорение свободного падения ( $F = ma$ ). Единицами измерения силы являются ньютоны (Н) или г (мм/с) [8]. В ортодонтии применяют ньютоны, поскольку влияние ускорения ( $m/c^2$ ) на величину силы в клинической практике значения не имеет. Сила – это вектор, и она определяется векторными характеристиками [9], вектор имеет величину и направление (рис. 1-4). Направление вектора описывает линию его действия, ориентацию и точку начала (приложения).

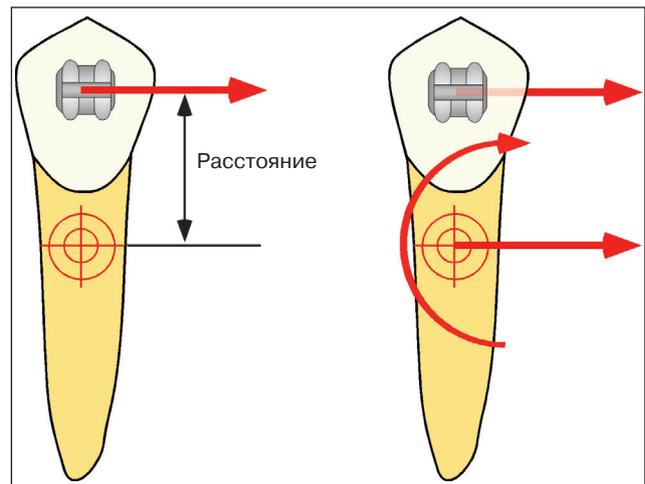
Векторы могут комбинироваться друг с другом (рис. 1-5). Поскольку вектор имеет величину и направление, охарактеризовать сложный вектор путем простого арифметического сложения входящих в его состав векторов невозможно. Суммирование векторов можно осуществлять путем соединения начала первого вектора и окончания последнего присоединенного вектора. Сумму двух или более векторов



**Рис. 1-5** Сложение векторов. Сумму двух или более векторов называют результирующей. Ее находят соединением векторов с сохранением их длины и направления.

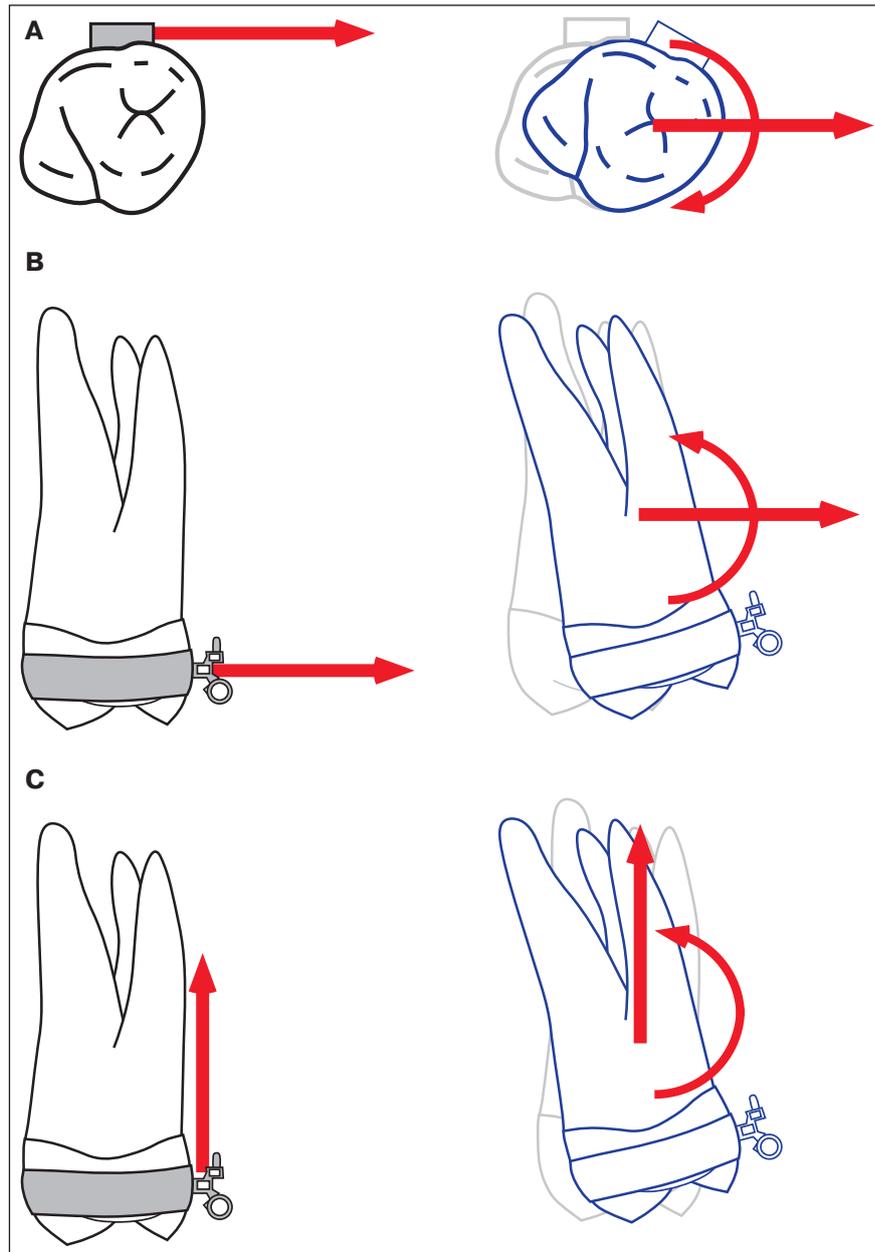


**Рис. 1-6** Векторные компоненты. Вектор можно проанализировать, разложив его на компоненты по осям.



**Рис. 1-7** Момент силы. Сила, не проходящая через центр сопротивления, наряду с линейным перемещением вызывает ротационный момент.

называют *результирующей*, а полученный вектор – *результирующим*. Количественное определение результирующего вектора требует тригонометрических вычислений.



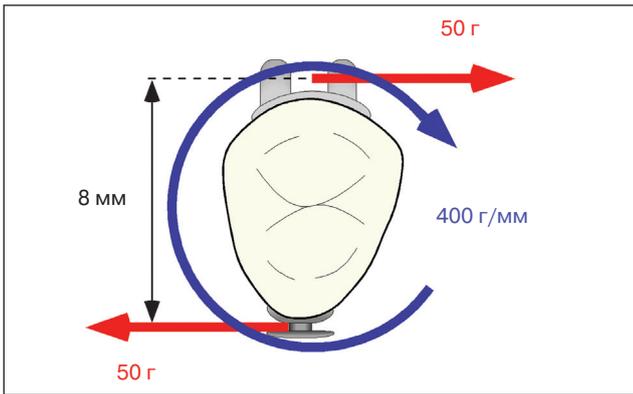
**Рис. 1-8** Клинический пример момента сил. **А.** Мезиальная сила, приложенная к брекету на моляре, создает момент, ротирующий зуб мезиально и внутрь. **В.** Сила натяжения, приложенная к моляру, создает момент, наклоняющий коронку вестибулярно. **С.** Интрузионная сила, приложенная к брекету моляра, также создает момент, наклоняющий коронку вестибулярно. (Цит. по: Nanda R. Biomechanics in clinical orthodontics. Philadelphia: WB Saunders, 1996; с разрешения.)

Векторы также можно раскладывать на компоненты. Разложение силы на компоненты по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  может помочь при сложении векторов (см. рис. 1-6). Клиническое определение горизонтальных, вертикальных и трансверсальных компонентов силы облегчает понимание направления перемещения зуба под действием этой силы. Для определения значений векторных компонентов также необходимы тригонометрические вычисления.

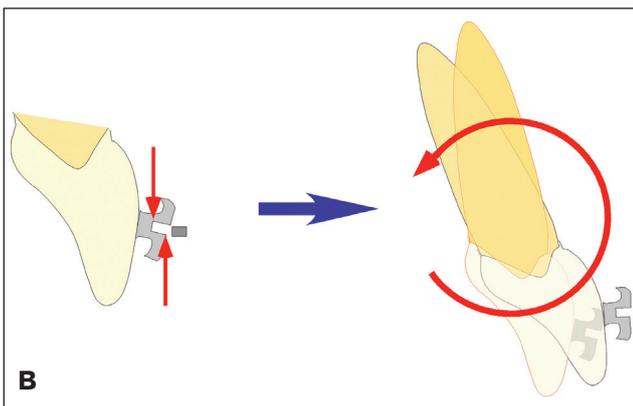
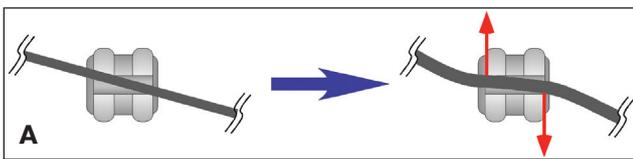
Ортодонтические силы чаще всего прилагаются к коронке зуба, поэтому силы обычно не проходят через центр сопротивления зуба. Силы, не проходящие через центр сопротивления зуба, помимо линейного перемещения, вызывают ротацию зуба под действием

*момента силы.* Момент силы — это тенденция к созданию ротационного перемещения. Он определяется путем умножения величины силы на величину перпендикуляра, опущенного от линии действия силы до центра сопротивления (см. рис. 1-7). Направление момента находят при вращении линии действия силы вокруг центра сопротивления по направлению к точке приложения (см. рис. 1-7). Момент измеряется в граммах на миллиметр (ньютонх на миллиметр). Значение момента силы обычно не учитывается в клинической ортодонтии, хотя это необходимо для создания эффективной конструкции аппарата [9].

Величина момента силы определяется двумя переменными — величиной силы и расстоянием



**Рис. 1-9** Момент пары. Пара создает чистую ротацию вокруг центра сопротивления.



**Рис. 1-10** Клинический пример пары сил. **А.** Дуга в пазах брекета с ангуляцией. **В.** Прямоугольная дуга в пазах брекета.

(рис. 1-8). Обе эти переменные можно эффективно изменять клинически для получения желаемого соотношения сил.

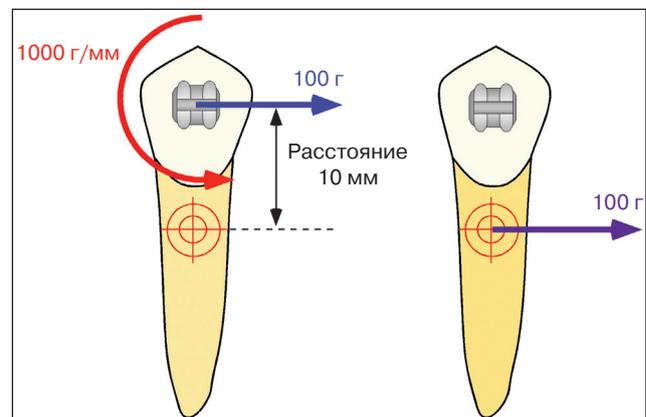
Еще одним способом получения ротационного перемещения является *момент пары* (рис. 1-9). Пара — это две параллельные силы одинаковой величины, действующие в противоположных направлениях на определенном расстоянии (т.е. с разными линиями действия). Величину пары находят путем умножения величин сил на расстояние между ними и измеряют в граммах на миллиметр. Направление ротации определяется при вращении линии действия одной силы вокруг центра сопротивления по направлению к точке приложения другой силы. Пары вызывают чистый ротационный момент вокруг центра сопротивления независимо от их места приложения к объекту (рис. 1-10). Пары в ортодонтии часто называют приложенным моментом. Торк — частый синоним момента (момента сил и момента пары) в ортодонтии. Многие ортодонты ошибочно измеряют торк в градусах. Изгиб дуги или

наклон паза брекета — это способы получения момента, т.е. их величина (градусы) описывает форму дуги или брекета. Правильной единицей измерения торка является грамм, умноженный на миллиметр (сила, умноженная на расстояние). Момент более точно описывает ротационный компонент системы сил и конструкции аппарата [9].

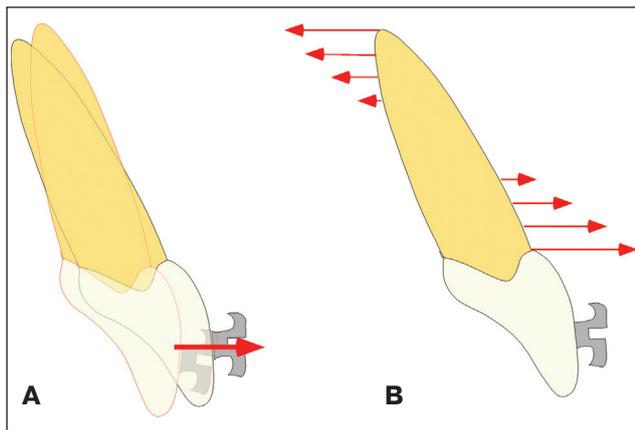
### Эквивалентные системы сил

Приложение сил или пар (моментов, торка) обычно происходит в брекетах, к которому подсоединяются дуги, эластики и пружины. Для определения типа перемещения зуба под действием сил можно создать *эквивалентную систему сил* в центре сопротивления зуба. Концепция эквивалентности описывает или определяет альтернативную, но идентичную комбинацию сил и моментов, действующих в точке приложения. При таком анализе можно найти такую систему сил в центре сопротивления зуба, которая будет эквивалентна силе, действующей в точке приложения (обычно в области брекета). Комбинация сил, приложенных к центру сопротивления зуба, определяет тип его перемещения. Так, приложение одной силы к центру сопротивления зуба приводит к его линейному перемещению, тогда как приложение пары сил вызывает ротацию [7].

Эквивалентная система сил определяется следующим образом (рис. 1-11). Вначале необходимо перенести векторы сил. Линейный компонент вектора силы не зависит от точки ее приложения к телу, поэтому вектор просто переносится из точки приложения в центр сопротивления с сохранением величины и направления. Далее определяют момент силы, как было описано выше. Поскольку сила, действующая на брекеты, также генерирует момент силы, этот момент будет равен величине силы, умноженной на расстояние от точки приложения силы к центру сопротивления. Величина и направление пары не зависят от их расположения. Пары — это свободные векторы, и их действие на объект одинаково независимо от их расположения: они всегда вызывают ро-



**Рис. 1-11** Эквивалентная система сил в центре сопротивления зуба. **А.** Система сил, прилагаемая к брекету. **В.** Система сил в центре сопротивления зуба. Система сил в центре сопротивления описывает ожидаемое перемещение зуба.



**Рис. 1-12** Неконтролируемый наклон. **А.** Неконтролируемый наклон вызван приложением простой силы (без момента). **В.** Модель распределения давления в периодонтальной связке. Обратите внимание, что коронка и корень зуба перемещаются в противоположных направлениях.

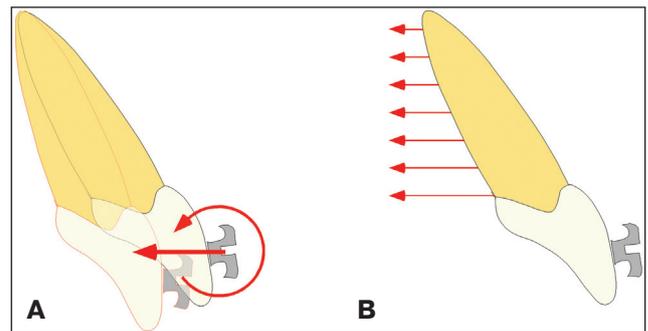
тацию объекта относительно центра сопротивления. Таким образом, для определения момента в центре сопротивления необходимо сложить момент силы и приложенный момент. Результирующая система сил будет описывать ожидаемое перемещение зуба. При определении эквивалентной системы сил становится очевидным, что для получения желаемого и предсказуемого перемещения зуба необходимо знать прилагаемые силы и моменты.

## Типы перемещения зубов

Существует бесконечное множество вариантов перемещения зубов, тем не менее, их можно подразделить на четыре основных типа: наклон, корпусное перемещение, перемещение корня и ротация. Каждый тип перемещений является результатом действия различных по величине, направлению или точке приложения сил. Взаимосвязь между прилагаемой системой сил и типом перемещения описывает *соотношение момент/сила*. Соотношение момент/сила определяет тип перемещения или центр вращения [2, 3, 9–12]. Кроме соотношения момент/сила, тип перемещения зуба определяется состоянием периодонтального прикрепления, так, уменьшение высоты альвеолярной кости приведет к изменению типа перемещения.

### Наклон

Наклон – это такое перемещение зуба, при котором корень зуба смещается в сторону, противоположную стороне смещения коронки, т.е. происходит вращение зуба вокруг одной точки. Центр вращения при этом находится апикально по отношению к центру сопротивления. В свою очередь, в зависимости от локализации центра вращения наклон можно подразделить на контролируемый и неконтролируемый. При неконтролируемом наклоне центр вращения находится между центром сопротивления и верхушкой корня, а при контролируемом наклоне – непосредственно в области верхушки корня зуба.



**Рис. 1-13** Контролируемый наклон. **А.** При контролируемом наклоне центр вращения находится в области верхушки корня. **В.** Модель распределения давления в периодонтальной связке при контролируемом наклоне. Давление максимально в пришеечной области.

### Неконтролируемый наклон

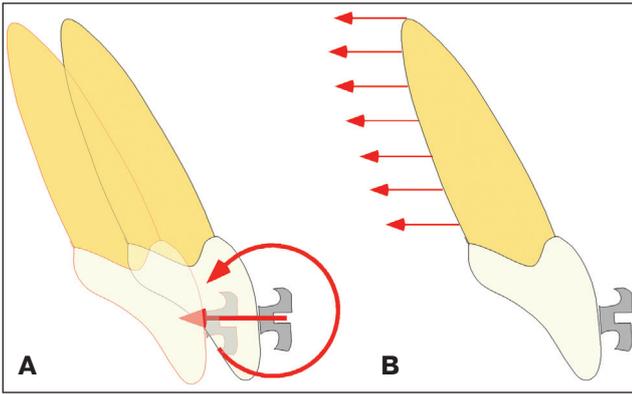
Простая горизонтальная лингвально направленная сила, приложенная в области брекета, приведет к перемещению корня и коронки зуба в противоположных направлениях. Такое перемещение обычно называют неконтролируемым наклоном (рис. 1-12А). Его проще всего получить (для этого необходимо лишь толкнуть или потянуть за коронку зуба), но обычно такое перемещение нежелательно. На рисунке 1-12В изображена модель распределения давления в периодонтальной связке при неконтролируемом наклоне. Давление распределяется неравномерно: максимальное давление наблюдается в области верхушки корня и в области перехода коронки в шейку зуба. Соотношение момент/сила для такого типа перемещения зуба составляет от 0:1 до ~5:1 [1, 9]. (Внимание! Соотношения момент/сила представлены для средней длины корня и 100% высоты альвеолярного отростка.)

Такой тип перемещения может быть полезен, например, для вестибулярного наклона резцов, находящихся в ретрузии при аномалиях окклюзии класса II подкласса 2 и аномалиях класса III.

### Контролируемый наклон

Контролируемый наклон является предпочтительным типом перемещения зуба. Для получения контролируемого наклона необходимо приложение силы к коронке зуба, как и при неконтролируемом наклоне, и приложение момента для «контроля» или сохранения положения верхушки корня. На рисунке 1-13А представлено наклонное перемещение зуба, при котором центр вращения находится в области верхушки корня зуба. Для этого вида перемещений обычно требуется соотношение момент/сила 7:1.

На рисунке 1-13В изображена модель распределения давления в периодонтальной связке при контролируемом наклоне зуба. Давление в области верхушки корня минимально, что позволяет сохранить его положение, в то время как давление в пришеечной области максимально, что вызывает перемещение коронки [1, 9]. Такой тип перемещения особенно необходим при протрузии верхних резцов, поскольку при этом верхушка корня обычно находится в правильном положении и необходимо переместить только коронковую часть.



**Рис. 1-14** А. Корпусное перемещение зуба. В. Модель распределения давления в периодонтальной связке при корпусном перемещении.

### Корпусное перемещение

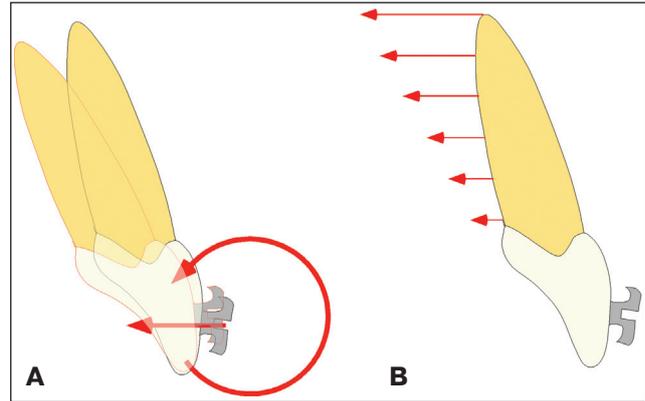
Корпусное перемещение — это тип перемещения зуба, когда верхушка корня и коронка зуба перемещаются в одном и том же направлении на одно и то же расстояние. Центр вращения при этом стремится к бесконечности.

На рисунке 1-14А показано корпусное перемещение резца. Такое перемещение вызывается под действием горизонтальной силы, приложенной в центре сопротивления. Однако брекет, к которому обычно прикладывается сила, находится далеко от центра сопротивления зуба. Как и контролируемый наклон, корпусное перемещение требует одновременного приложения к брекету силы и пары, и величину пары следует увеличивать, чтобы сохранить осевой наклон зуба. Для корпусного перемещения необходимо соотношение момент/сила 10:1. На рисунке 1-14В показано, что этот тип перемещения зуба вызывает равномерное распределение давления в периодонтальной связке [1, 9].

### Перемещение корня

Изменение осевого наклона зуба за счет перемещения верхушки корня при сохранении положения коронковой части называют перемещением корня (рис. 1-15А). Центр вращения зуба при этом находится в области режущего края или брекета. Перемещение корня требует увеличения прилагаемой пары. Соотношение момент/сила при этом должно составлять 12:1 и более [9]. На рисунке 1-15В изображена модель распределения давления в периодонтальной связке при перемещении корня. Величина давления в области верхушки корня при этом вызывает значительную резорбцию костной ткани в этой области. Такая концентрация давления может привести к подрывающей резорбции, что заметно уменьшает скорость перемещения. Это может быть преимуществом при использовании такого типа перемещения для усиления опоры.

Перемещение корня в ортодонтическом лечении часто определяется термином «торк». Торк — это приложение сил, вызывающих ротацию. Торком называют скручивающие изгибы на прямоугольной дуге или наклон паза брекета по отношению к длинной оси зуба и окклюзионной плоскости. Он обыч-

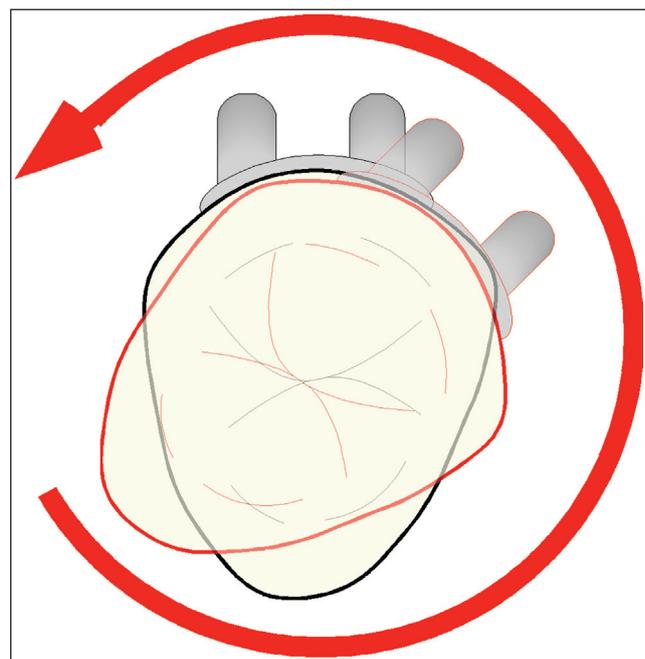


**Рис. 1-15** Перемещение корня. А. Перемещение корня происходит при локализации центра вращения зуба в области режущего края. В. Модель распределения давления в периодонтальной связке при перемещении корня. Давление максимально в области верхушки корня.

но определяется при измерении угла изгиба дуги. Угловые измерения не характеризуют механические параметры пружины или давления, вызывающего перемещение зуба. Величина торка зависит от размера паза брекета, диаметра дуги, величины зазора между дугой и брекетом, а также от начального положения зуба. Например, утверждение, что дуга размером 0,018×0,025" дает для четырех верхних резцов торк, равный 17°, не характеризует величину момента или давления, действующих на зуб.

### Ротация

Ротационное перемещение зуба требует приложения пары. Поскольку при этом в центре сопротивления зуба развивается момент, происходит ротация. Вид перемещения со стороны окклюзионной поверхности представлен на рисунке 1-16.



**Рис. 1-16** Ротация вокруг центра сопротивления зуба.

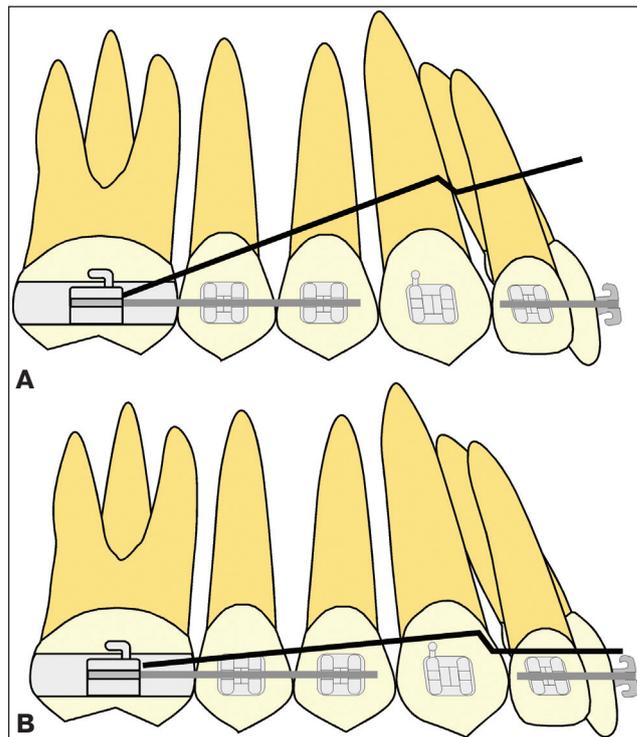
## Статическое равновесие

Статика — это область механики, изучающая силы, действующие на тело в покое. Статическое равновесие — это применение законов движения Ньютона для анализа системы сил в ортодонтии [9, 13, 14]. Законы Ньютона описывают некоторые фундаментальные концепции механики:

1. *Закон инерции.* Каждое тело находится в состоянии покоя или однородного движения по прямой, если на него не действуют силы.
2. *Закон ускорения.* Изменение движения пропорционально приложенной движущей силе и направлено по линии ее действия.
3. *Закон действия и противодействия.* Для каждого действия существует равное ему противодействие.

Чтобы понять, как эти законы применяются в ортодонтии, рассмотрим, что происходит при помещении дуги в пазы брекетов, зафиксированных на аномально расположенных зубах. Для того чтобы подвязать дугу к брекету, ее необходимо изогнуть (активировать). При введении дуги в паз брекета действуют первый и третий законы Ньютона. Вначале дуга и зубы находятся в состоянии покоя и не двигаются (хотя структуры пародонта испытывают нагрузку, которая вызывает биологические реакции, необходимые для перемещения зуба). Это демонстрирует закон инерции. Здесь же можно продемонстрировать третий закон Ньютона — закон действия и противодействия. Дуга действует на зубы, а зубы, в свою очередь, сопротивляются этому воздействию с равной и противоположно направленной силой. Если активная (действующая на зубы) и реактивная (действующая на дугу) силы равны и противоположны по направлению, результирующая сила равна нулю и объекты остаются в состоянии покоя.

Более значимым приложением закона действия и противодействия является концепция статического равновесия. Статическое равновесие подразумевает, что в любой точке тела сумма сил и моментов, действующих на него, равна нулю, т.е. при отсутствии результирующей силы и моментов тело остается в покое. Телом может быть как дуга или пружина, так

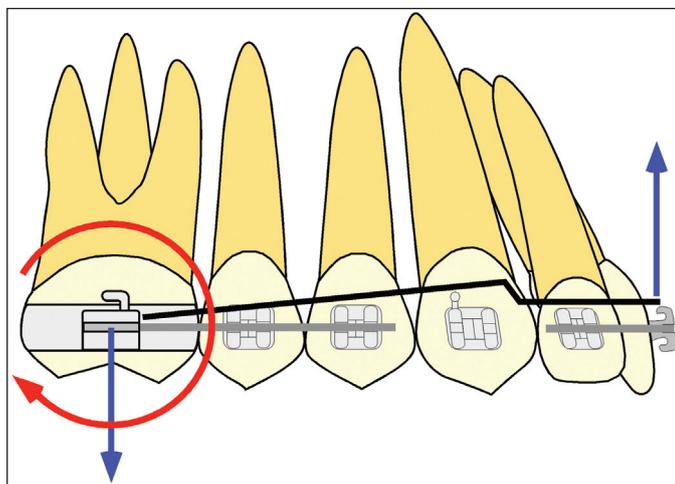


**Рис. 1-17** Схематическое изображение интрузионной дуги. **А.** Пассивная форма: интрузионная дуга вставлена в трубки на молярах, но не подвязана к резцу/резцам. **В.** Интрузионная дуга активирована за счет подвязывания к фронтальному сегменту.

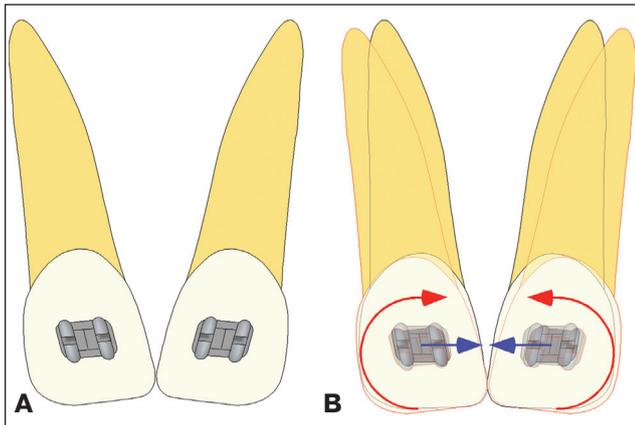
и зубы, к которым они подсоединяются. Статика — это область механики, изучающая эффекты системы сил, действующих на тела в покое.

Применение основ статического равновесия в анализе системы сил, развиваемой ортодонтическими аппаратами, помогает предопределить реакцию зуба на их действие. Анализ равновесия может быть выражен в форме уравнения:

- горизонтальные силы = 0
- вертикальные силы = 0
- трансверзальные силы = 0



**Рис. 1-18** Система сил при действии интрузионной дуги в состоянии равновесия. Вертикальные силы (голубые стрелки) уравновешиваются моментом, наклоняющим моляр дистально (красная стрелка).



**Рис. 1-19** Закрытие диастемы за счет мезиального наклона резцов. **А.** Коронки резцов контактируют друг с другом, а корни расходятся в стороны. **В.** Система сил, действующая при выпрямлении резцов. Силы и моменты одинаковы по величине и противоположны по направлению.

- и
- моменты (горизонтальная ось) = 0
  - моменты (вертикальная ось) = 0
  - моменты (трансверзальная ось) = 0

Эту формулу легче всего продемонстрировать на примере ортодонтического аппарата консольного типа [8, 15–17]. На рисунке 1-17А изображена интрузионная дуга, введенная в трубки на молярах и еще не подвязанная к резцам. На рисунке 1-17В представлена интрузионная дуга, подвязанная к резцам. Дуга вводится в дополнительную трубку на молярах и подвязывается к брекетам на резцах сверху (не вставляется в паз).

Как отмечалось выше, сумма действующих сил должна равняться нулю. Поэтому вертикальные интрузионные силы, действующие на резцы, должны быть противопоставлены вертикальным экстрозионным силам, действующим на моляры. Это состояние равновесия для вертикальных сил. Вертикальные силы также составляют пару (они одинаковы по величине, но противоположны по линии действия). На рисунке 1-18 отображена система сил, действующая в этом случае. Вертикальные силы могут считаться *интербрекетной парой*, поскольку каждая сила действует на одиночный брекет. Момент этой пары должен быть противопоставлен другим моментам, одинаковым по величине и противоположным по направлению, и действовать на моляры. Это *интрабрекетная пара*, формирующаяся силами, прилагаемыми к дуге внутри трубки на моляре. Такое направление момента вызывает дистальный наклон коронки моляра. Величина момента равна расстоянию между точками приложения парных вертикальных сил.

На рисунке 1-19 показана другая клиническая ситуация, иллюстрирующая равновесное состояние ортодонтического аппарата. Два резца наклонены друг к другу. Их коронки контактируют режущими краями, а корни значительно расходятся в стороны. Такая ситуация может наблюдаться на начальном этапе закрытия диастемы. Для наглядности предположим, что резцы наклонены мезиально в одинаковой степени и что брекеты на их коронках зафиксиро-

рованы точно в правильном положении. Для выравнивания резцов необходимо создать одинаковые по силе и противоположные по направлению моменты. Брекеты связываются между собой «восьмеркой» для удержания межбрекетного расстояния, и в их пазы вводится прямая дуга. Результирующая система сил показана на рисунке 1-19В. Связка «восьмеркой» оказывает на каждый резец небольшую горизонтально направленную силу. Эти силы действуют в противоположных направлениях (толкая резцы по направлению друг к другу) и по одной линии, т.е. условия равновесия соблюдены. Дуга образует моменты, действующие на каждый зуб. В этом примере моменты одинаковы по величине и противоположны по направлению (моменты, действующие на оба резца, стремятся сместить их корни мезиально).

Эти простые примеры показывают, как определить состояние равновесия ортодонтического аппарата. Приложение неодинаковых моментов создает более сложные системы сил, что наблюдается, например, при введении дуги в пазы брекетов неровно расположенных зубов (в любой плоскости), использовании дуги с V-образными [18–20] или остроугольными изгибами или дополнительной пружины для закрытия промежутков. Для компенсации разных по величине моментов необходима дополнительная сила. Во многих случаях такие дополнительные силы имеют вертикальное направление (интрузионные/экстрозионные). Вертикальные силы могут привести к экстррузии зубов или к изменению окклюзионной плоскости (в зависимости от резцового перекрытия, прорезывания боковых зубов и увеличения высоты нижней трети лица). Определение равновесного состояния полной системы сил позволяет выявить эти побочные эффекты.

Знание системы сил, развиваемой ортодонтическим аппаратом в состоянии равновесия, помогает предугадать реакцию на лечение — как желательные перемещения зубов, так и потенциальные побочные эффекты. Заранее зная возможные побочные эффекты, мы можем компенсировать их до того, как они возникнут. Устранить эти побочные эффекты невозможно, но их можно компенсировать либо минимизировать с помощью альтернативной конструкции или дополнительной аппаратуры (например, с помощью лицевой дуги).

## Материалы

### Ортодонтические дуги и пружины

Ортодонтические дуги, пружины и эластики — это основные элементы, генерирующие силы в ортодонтии. Дуги и пружины изготавливаются из различных сплавов [21]. Наряду с нержавеющей сталью, которая долгое время была стандартом, в современной ортодонтии используются никель-титановые [22], титан-молибденовые [23] и большое количество других сплавов. Знание основных характеристик материала имеет большое значение в выборе дуг для ортодонтического лечения [24]. По механизму действия ортодонтические дуги напоминают пружины.

Механические характеристики материала определяются несколькими факторами. Внутренние свой-

ства материала определяются его составом на молекулярном или кристаллическом уровне. Вариации внутренних свойств изменяют природу самого сплава. Внешние свойства материала — это его макроскопические характеристики, такие как диаметр или длина дуги. Эти свойства определяет врач.

Основные характеристики, описывающие свойства материала, отражены в кривой сжатия–растяжения или нагрузки–деформации (рис. 1-20). Она отражает клинические характеристики дуги. Диаграмма сжатия–растяжения связывает нагрузку — силу, действующую на материал, — с его деформацией. Кривая имеет две зоны: зону эластичности и зону пластичности. Зона эластичности — это линейная часть кривой. Деформация материала в этой зоне временная. Это означает, что после прекращения воздействия нагрузки материал вернется к своей начальной форме. Деформация материала за пределами зоны эластичности постоянная, т.е. материал изменяет форму. Ортодонтические дуги и пружины обычно используются в пределах зоны эластичности.

*Модуль упругости* — это угол наклона зоны эластичности кривой нагрузки–деформации. Он показывает жесткость или гибкость дуги. Сжатие–растяжение — это внутренние свойства сплава, следовательно, модуль упругости — это присущая сплаву характеристика. Клинический аналог модуля упругости — соотношение нагрузка/деформация, которое зависит как от внутренних свойств материала, так и от внешних свойств дуги (диаметра, длины, условий нагрузки и т.п.).

Гибкая дуга имеет более плоскую кривую (низкий модуль упругости), в то время как кривая для жесткой дуги будет более крутой (высокий модуль упругости). Чем ниже модуль упругости, тем меньше величина силы на единицу деформации и тем больше гибкость дуги. И наоборот, жесткие дуги имеют более высокий модуль упругости с большей величиной силы на единицу деформации.

*Предел упругости*, или так называемый пропорциональный предел, или предел текучести, — это точка, после которой силы большей величины вызывают постоянную деформацию дуги. Точно измерить этот предел технически очень сложно. На практике предел упругости определяют в точке, когда наблюдается 0,1% деформации. После предела упругости начинается зона пластичности дуги. Деформация дуги за границами предела упругости необходима для формирования изгиба на дуге.

Степень деформации дуги до предела упругости — это *диапазон эластичности дуги*. Эта характеристика дуги имеет клиническое значение, поскольку определяет допустимый предел активации дуги или пружины. Дуги с более широким диапазоном эластичности можно активировать в большей степени, чем дуги с узким диапазоном.

*Предел прочности на разрыв* — это вершина области пластичности на кривой, он определяет максимальную нагрузку, которую может выдержать материал. Деформация за границами предела прочности приводит к ослаблению материала. При дальнейшей деформации достигается точка разрыва, и дуга ломается. При приложении нагрузки в пределах этой точки материал, благодаря своим пружинящим свойствам,

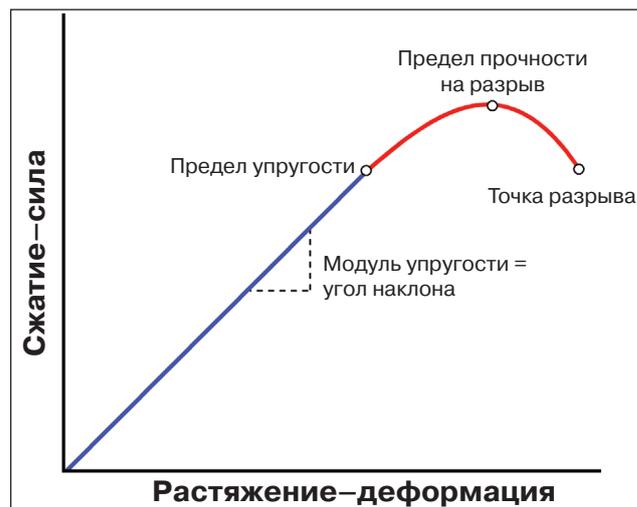


Рис. 1-20 Кривая сжатия–растяжения для ортодонтической дуги (см. описание в тексте).

будет изгибаться, а после прекращения воздействия возвращаться к первоначальной форме.

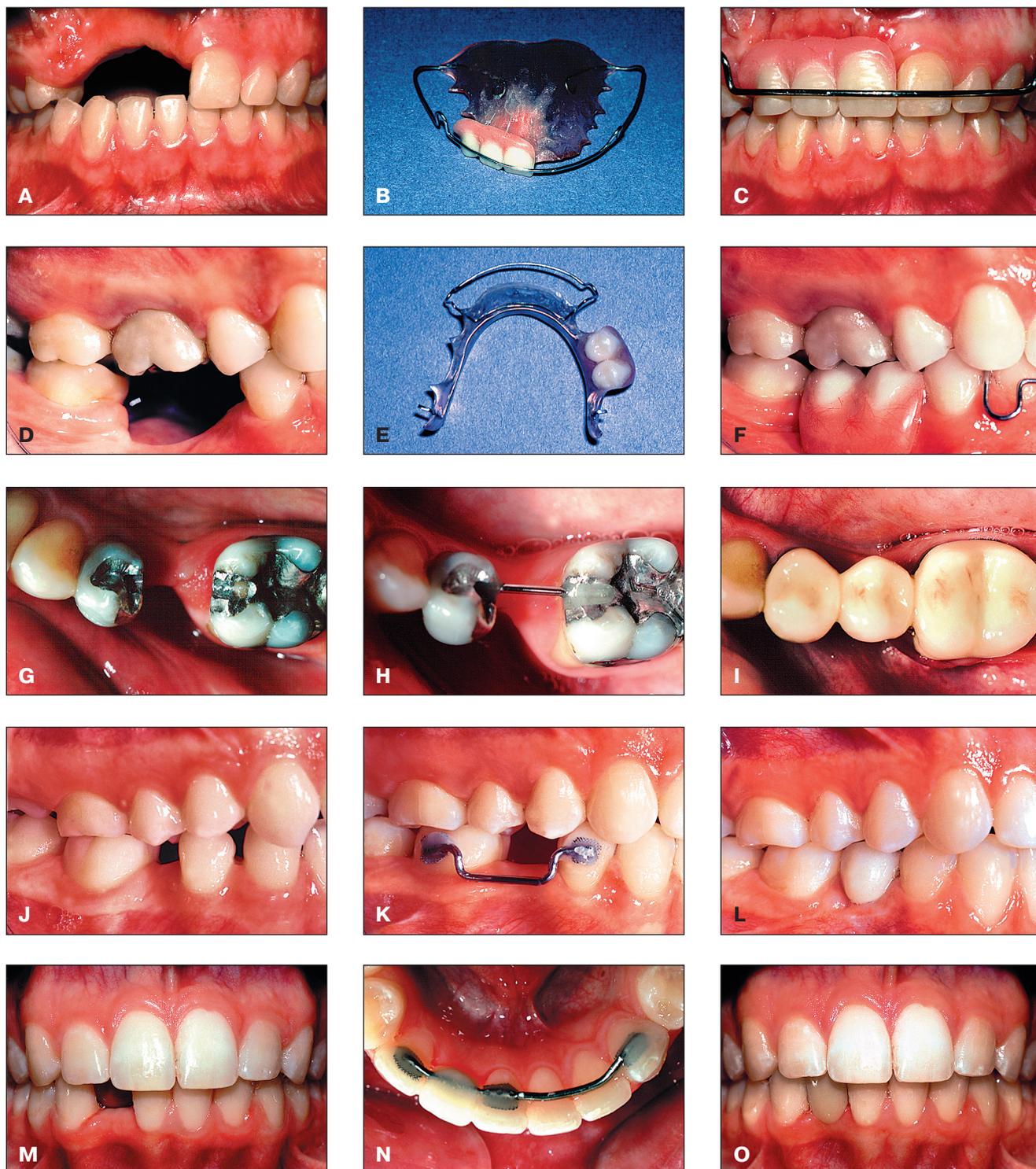
Все вышеперечисленные характеристики кривой сжатия–растяжения определяются внутренними свойствами материала. Характеристики кривой нагрузки–деформации, имеющей клиническое значение, определяются как внутренними, так и внешними свойствами. Диаметр дуги, ее длина и условия нагрузки — это внешние свойства, влияющие на характеристику кривой нагрузки–деформации. Для перемещения зубов наибольшее значение имеют эластичные свойства дуги. Уменьшение диаметра дуги, а также увеличение ее протяженности уменьшают соотношение нагрузка/деформация. Увеличение длины дуги за счет увеличения межбрекетного расстояния — типичный способ увеличения диапазона активации дуги и уменьшения степени нагрузки–деформации. Низкое соотношение нагрузка/деформация обычно связано с большей продолжительностью действия силы.

### Ортодонтические брекететы

При ортодонтическом лечении с помощью несъемной техники активные силы на зубы передаются в основном с помощью брекетов и трубок. Первая брекет-система была разработана Эдвардом Энгле (Edward H. Angle) в начале 1900-х годов и получила название эджуайз-техники. Следующим значительным этапом в улучшении конструкции брекетов является внедрение Эндрюсом (Andrews) «техники прямой дуги». Впоследствии многие авторы предлагали различные модификации этой техники, что привело к появлению большого количества брекет-систем, обобщенно называемых предварительно настроенными.

Ортодонтический брекет условно можно представить как переходник для облегчения воздействия сил, приложенных к зубу, т.е. механизм, через который врач подсоединяет дуги, пружины, эластики и другие устройства, действующие на зуб.

Первые брекететы типа эджуайз имели прямоугольный паз, который обеспечивал одновременное при-



**Рис. 18-24** Важным этапом планирования любого междисциплинарного лечения является выбор подходящего метода ретенции результатов ортодонтического перемещения зубов до проведения реставрации. При адентии нескольких верхних (A-C) или нижних (D-F) зубов целесообразно сохранить положение зубов после ортодонтического лечения с помощью съемного ретейнера с искусственными зубами. Это позволит восстановить эстетику и функцию. Если планируется реставрация с помощью мостовидного протеза в области боковых зубов, прекрасным методом ретенции является внутрикоронковая дуга с пластмассовым мостовидным протезом (G-I). Такой ретейнер предотвращает экструзию зубов-антагонистов и жестко сохраняет положение зубов до окончательного протезирования. Если для замещения отсутствующего нижнего второго премоляра планируется имплантация, рекомендуется использовать внекоронковую дугу с пластмассовым протезом (J-L). Это также обеспечивает жесткую ретенцию в процессе имплантации, остеоинтеграции и реставрации. При адентии нижнего резца (M-O) удобным методом сохранения пространства для протезирования или имплантации после ортодонтического лечения является несъемный лингвальный ретейнер с искусственным зубом.