

Титановые дуги: понимание и оптимизация их использования – Часть 1.

Доктор Майкл Л.Шварц
Калифорния, США

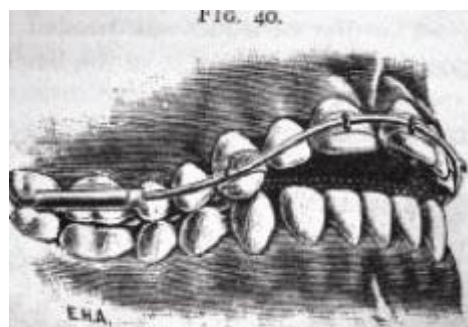
Выбор дуги является наиболее сложным и часто запутанным моментом. С появлением различных типов сплавов и конфигураций дуг он еще более усложняется. Так как дуги являются силовой системой в ортодонтии, то при рациональном выборе дуги следует учитывать вопросы челюстно-лицевого роста и развития, биологии перемещения зубов, биомеханики, физики, металлургии, трения и, разумеется, философию лечения.

Биология перемещения зубов, действие основных сил, время их применения и реакция зубов на силовое воздействие еще не полностью изучены. В результате, выбор дуги как основы силовой системы по-прежнему остается скорее искусством, чем наукой, и почти полностью зависит от эмпирического опыта. Без рациональных критериев выбора появилось множество дуг разных размеров, форм, сплавов. С другой, стороны, это повлекло за собой тенденцию к консерватизму при выборе дуги. Как же принять осознанное и оптимальное решение при выборе дуги? Ответ состоит в понимании свойств, возможностей и ограничений разных типов дуг. Чтобы избежать крайностей догматического подхода и рекламных лозунгов, необходимо понимать как минимум принципы производства дуг и вытекающие из этого их свойства. С переходом от относительно простых стальных к титановым высокотехнологичным дугам больше невозможно обходиться без материаловедения в ортодонтии. Хочется надеяться, что данная работа поможет сориентироваться в новых сплавах и выбирать дуги в соответствии с вашими потребностями и представлениями, а также в зависимости от индивидуального случая каждого пациента.

Век эволюции ортодонтической дуги

Краткий обзор истории развития дуги даст основу для их правильного понимания и поможет избежать основных недоразумений.

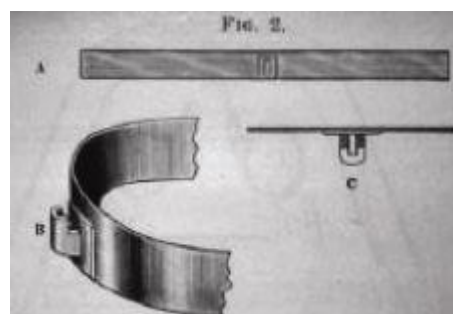
В начале 20-го века Эдвард Энгль, родоначальник лечения несъемной аппаратурой, разработал «Е-дугу» (Е - от английского expansion, расширение). Эта дуга предназначалась для лечения без удаления. Энгль и его последователи в то время полагали, что все



Е-дуга Энгля, 1905 г.

дизокклюзии можно лечить без удалений. До 1920 года было кощунством даже думать об удалении здорового зуба. Поэтому Е-дуга была достаточно ригидной, для того чтобы выдерживать изгиб и создавать основу для расширения зубов. Материалом служил золото-никелевый сплав, размер дуги определялся эмпирически. Дуга должна была устанавливаться интраорально и не деформироваться при лигировании на скученно расположенные зубы. На тот момент размер дуги из золото-никелевого сплава был определен в 0.036 дюйма. Лечение состояло в том, что зубы лигировались с помощью золото-никелевой дуги, крепились к Е-дуге не кольцах и последовательно, достаточно часто, подтягивались лигатурами с целью выдвинуть зубы к линии Е-дуги.

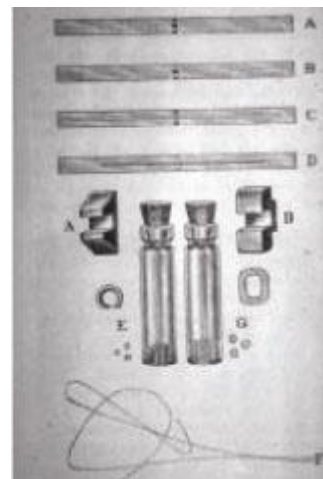
В 1920 году доктор Энгль сделал вывод, что Е-дуга может лишь наклонять зубы вестибулярно, что дало



Ленточная дуга, ок. 1920 г.

толчок разработке ленточной дуги. Ленточная дуга изготавливалась также из золото-никелевого сплава, но имела прямоугольную конфигурацию размером .030x .022. Ленточная дуга также соответствовала задачам лечения без удаления, и поэтому не предполагалась ее деформация. Зубы выдвигали к ленточной дуге и затем прикрепляли к вертикальным пазам для выравнивания. Практически не обсуждалась возможность изгибания дуги по линии брекетов, т.к. лечение всегда проводилось без удаления.

Система была представлена и опубликована в журнале Dental Cosmos в 1928 году под заголовком «Новое и самое лучшее в ортодонтической механике». Для того, чтобы преодолеть недостаточный контроль над мезио-дистальным наклоном в ленточной дуге с вертикальным пазом, паз был перемещен на узкую поверхность дуги и ленточная дуга после поворота на 90° превратилась из уплощенной (плоско расположенной) в дугу с рабочей узкой кромкой (edgewise). Впоследствии возобладали именно этот способ применения дуги, и все дуги стали изготавливаться по принципу эджуайз – для установки в паз брекета узкой частью. Соответственно, изменился размер паза – с .030 на .022. Лечение по-прежнему осуществлялось без удаления зубов. Каждый брекет для системы эджуайз припаивался к кольцам. Зубы выдвигались к жесткой дуге и затем фиксировались через паз эджуайз для контроля торка и мезио-дистальной наклона зубов. Если зуб оказывался ретирован, то к кольцу припаивались два отдельных брекета. Так появились первые двойные (twin) брекететы. Примерно в это же время студенты Ортодонтической школы Энгля начали отходить от его подхода к лечению без удаления.



Аппаратура эджуайз, 1925

В конце 1920-х – в течение 1930-х годов нержавеющая сталь начала вытеснять сплав золота и никеля. Сталь на 20% жестче, чем золото-никелевый сплав. Вследствие этого, для сохранения прежнего значения силы, на 20% уменьшился размер стальной дуги – с .022 x .030 на .018 x .025. Таким образом, паз .018 есть прямое следствие перехода от золота-никеля к нержавеющей стали. Если в 1930-х применялась стальная дуга размером .022, то чисто эмпирически это означало увеличение силы или нагрузки на 20% по сравнению с предыдущими моделями дуг. Два размера пазов брекетов, которые сегодня используются, - не более чем результат опытной эволюции от E-дуги через ленточную дугу к дуге эджуайз и переход к стальной дуге. Ни размер паза и дуги, ни результирующие силы не основывались на знании биологии и особенностях нагрузки.

Когда ортодонты начали осознавать потенциальный вред постоянной практики расширения зубной дуги, задачи дуги существенно изменились. Стало необходимо (и гораздо более эффективно) изгибать дугу по положению брекета. Поскольку стальная дуга .018 x .025 была чересчур жесткой для изгибания, то ортодонты стали использовать дуги меньших диаметров, а также делать на дугах компенсирующие петли. Все это помогло снизить соотношение нагрузки и отклонения у нержавеющей стали и позволило гнуть дугу к пазам брекетов в пределах эластичности дуги, без риска вызвать необратимую деформацию.



До 1977 года было только две возможности изменять у дуги соотношение нагрузки/изгиба – изменять диаметр дуги или ее длину с помощью петель. В 1977 году появилось

две альтернативы – Нитинол (Nitinol) от Юнитек и Ди-Рект (D-Rect) от Ормко. В 1980-ом был изобретен сплав титана и молибдена. С того времени произошло значительное распространение титановых сплавов, эти технологические изменения оказали огромное влияние на все аспекты ортодонтии.

В 1900-ых прикладываемые силы были чрезмерно высоки по отношению ко времени лечения (очень высокий показатель нагрузки/изгиба). Материалы и техника были весьма неэффективны из того, что были неупругими. Пациентам нужно было приходить к врачу ежедневно для новых активаций, и даже этого было недостаточно. При переходе с золота на нержавеющую сталь возрос показатель эластичности, но также немного увеличилась и упругость. Тем не менее, из-за относительно неупругой природы визиты пациентов в клинику требовались каждые 2-3 недели. При использовании титановых сплавов соотношение нагрузки/изгиба значительно уменьшается, и их высокая упругость позволяет увеличить интервалы между посещениями пациентов.

Один из самых важных вопросов, которые ставят перед нами новые титановые сплавы – величина нагрузки. Какое усилие требуется для каждого типа перемещения зубов? Есть ли оптимальная величина нагрузки? Какая минимальная сила требуется, чтобы достичь запланированного эффекта? Используя только одну дугу из нержавеющей стали, трудно было варьировать в градации нагрузки для различных случаев лечения. Сегодня, имея большое множество видов дуг (и, соответственно, систем приложения сил) – от избыточных по силе до неэффективных – мы можем попытаться ответить на некоторые из этих базовых вопросов.

Механические свойства – определения

Вплоть до 1977 года у ортодонтонтов не было насущной необходимости понимания физических свойств дуг. Материалом для работы служила только нержавеющая сталь. Сегодня существует широкий ассортимент сплавов и дуг с различными характеристиками, знание которых имеет большое значение для грамотного и рационального выбора дуги.

Большинство свойств дуги измеряются и графически отображаются в виде соотношения нагрузки и изгиба. Эти графики нагрузки и изгиба могут быть получены в результате нескольких разных способов тестирования. Сюда входит растяжение дуги, поперечное сгибание и изгиб по трем точкам. Каждый способ тестирования может давать несколько отличающуюся информацию.

Предел эластичности – постоянная структура

Сила (нагрузка), применяемая к дуге, вызывает ее деформацию (изгиб). По мере увеличения силы растет и деформация до момента, когда нагрузка не вызывает внутренние металлургические изменения в дуге. До этой точки дуга способна вернуться к своей исходной форме, если нагрузка перестанет действовать. Металл проволоки сохраняет эластичность, пока в нем не произошли внутренние перемещения частиц, атомов и молекулярных связей. Эта точка называется *пределом эластичности*. В точке эластичности дуга подвергается необратимой деформации и возникает новая постоянная структура металла. На диаграмме нагрузка (сила) будет пропорциональна деформации (изгибу). График идет линейно вверх до предела эластичности. После этой точки соотношение перестает быть линейным. Таким образом предел эластичности можно рассматривать как пропорциональное изменение. Величина усилия, необходимого для необратимой деформации, называется *приобретенной прочностью*. Величина деформации (в

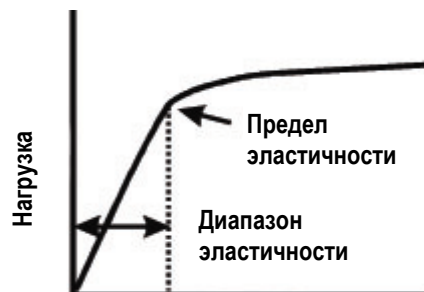


миллиметрах), достигаемая до предела эластичности, определяет т.н. диапазон эластичности, иногда именуемый рабочим диапазоном.

Если мы хотим поместить дугу в паз брекета, не вызывая ее необратимой деформации мы должны оставаться в пределах диапазона эластичности данной дуги. Для этого нам нужно выбрать дугу с хорошими показателями эластичности.

Диапазон эластичности

Диапазон эластичности отражает способность дуги восстанавливать свою форму, не принимая постоянную деформацию. Это отношение величины изгиба к пределу эластичности. Дугу с большим диапазоном эластичности желательно применять на ранних стадиях выравнивания зубов, когда часто требуется производить значительные изгибы дуги.



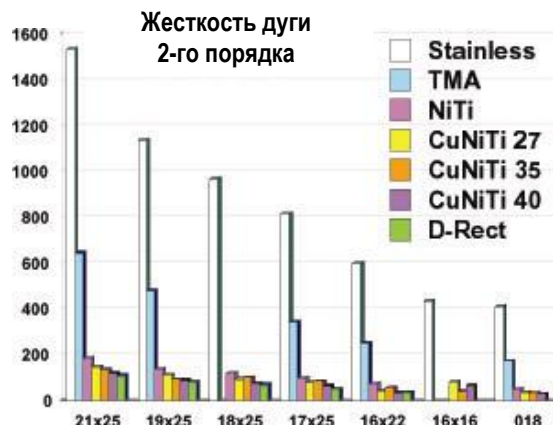
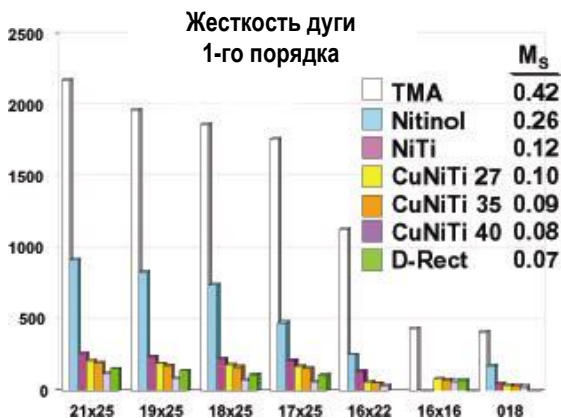
Модуль Эластичность-Жесткость

Зависимость деформации от нагрузки до достижения предела эластичности определяет показатель (модуль) эластичности дуги, или, другими словами, ее жесткость. Крутая линия графика соответствует относительно жесткой дуге с высоким показателем эластичности. Это также может быть и дуга с высоким соотношением нагрузки/изгиба (большая нагрузка, малый изгиб). Напротив, у дуги с низким соотношением нагрузки/изгиба будет соответствовать пологая линия на графике, низкий показатель эластичности, и она может быть деформирована в большем объеме с меньшей силой. Показатель эластичности является внутренним фактором, с изменением сплава, при нагревании или фазе трансформации можно изменить этот показатель, т.е. жесткость дуги.



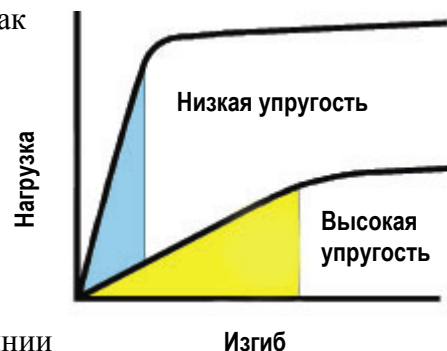
Жесткость дуги

Для того, чтобы соотнести характеристики новых сплавов с уже знакомым для ортодентов материалом – нержавеющей сталью – доктор Чарльз Бёрстон ввел меру жесткости дуги W_s . Во-первых, показатель (модуль) эластичности сравнивается с нержавеющей сталью, что выражается в мере жесткости материала, M_s . Далее, чтобы выявить соотношение дуг разного размера, необходимо ввести такой фактор как жесткость в зависимости от сечения дуги, C_s . Жесткость сечения дуги будет различной для ее характеристик изгибов первого и второго порядка. Диаграммы демонстрируют жесткость нескольких дуг и жесткость материала.



Упругость

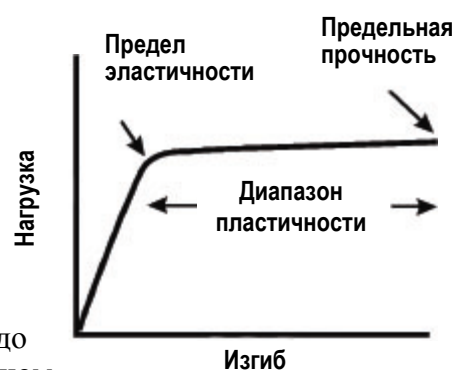
Термин «упругость» часто понимается неверно, как синонимичный понятию гибкости, что не соответствует свойствам материалов. Дуга из мягкого сплава бывает очень гибкой, но не оказывает никакого сопротивления. На графике нагрузки и деформации упругость является пространством внизу кривой от ее начала до предела эластичности. Вероятно, упругость лучше всего можно определить



как сохраненную энергию. При эластичном состоянии проволоки усилие, прикладываемое к дуге для изгибания, может быть возвращено обратно. Когда упругая дуга лишается нагрузки, то использует сохраненную энергию для передачи усилия на зуб через брекет. Среди всех механических свойств материалов для клинического применения наиболее важное отличие между сталью и титановыми сплавами состоит в упругости.

Диапазон пластичности

Когда нагрузка на дугу вызвала необратимую деформацию, дуга более не является эластичной по сути, но при этом изгибается и становится *пластичной*. Если усилие достаточно велико, дуга иногда может сломаться, т.к. достигла своей *предельной прочности*. График зависимости между нагрузкой и деформацией более не пропорционален. Величина деформации от предела эластичности до момента разрушения дуги называется диапазоном пластичности. Дуга с расширенным диапазоном пластичности имеет свойство формообразования (формуемость). Ее можно гнуть несколько раз без опасения сломать. Дуга, на которой вы хотите гнуть петли, должна иметь хороший диапазон пластичности.

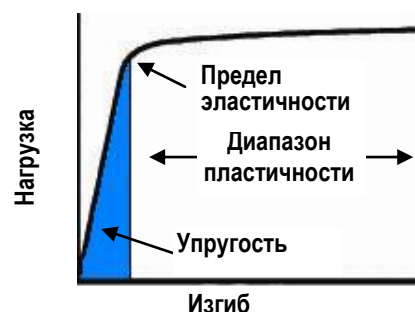


Упругое последствие (способность к выпрямлению)

Выпрямление – величина восстановления после деформации, которое производит дуга вследствие снятия нагрузки. Выпрямление чаще всего обозначают числом градусов, на которое дуга возвращается обратно после изгибания при определенном радиусе под определенным углом. То есть это процент деформации. Например, дуга изогнутая под углом 90° и выпрямлением 45° будет иметь 50-процентное восстановление.

Нержавеющая сталь

График соотношения нагрузки и деформации для нержавеющей стали имеет крутой подъем, показатель эластичности 25×10^6 psi. Стальная проволока имеет относительно короткий диапазон эластичности и потому легко поддается необратимой деформации. При малом диапазоне эластичности и высоком показателе (модуле) эластичности это относительно неупругий материал, имеющий широкий диапазон пластичности с хорошим формообразованием. Нержавеющая сталь легко подвергается сварке и пайке (металлургические свойства не отражены в графике). Сталь была основным материалом в ортодонтии, начиная с 1930-х годов, и представляет основу для сравнения с другими сплавами и конфигурациями дуг.

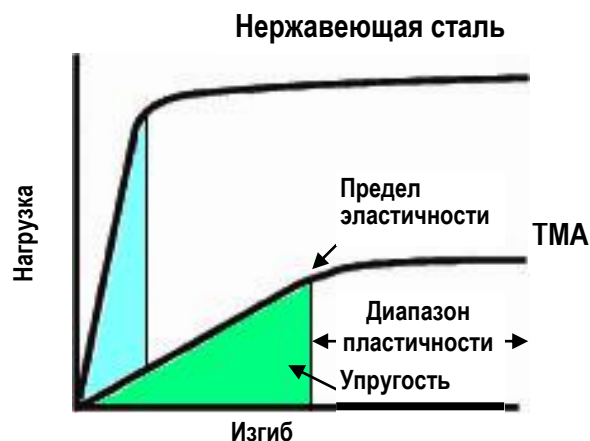


Дуги β -Титан – ТМА

В 1980 году был сделан следующий шаг после нержавеющей стали и никель-титана – разработан сплав титана и молибдена (11% молибдена, 6% циркония, 4% титана). Коэффициент жесткости металла составляет 0.42 (42% от жесткости стали). Цитируя разработчиков этого сплава: «нашей задачей было разработать ортодонтический сплав, по качествам превосходящий все известные

образцы. Несмотря на то, что требования, предъявляемые к ортодонтическим, дугам могут отличаться в зависимости от их применения, можно выделить три общих характеристики превосходной дуги. Во-первых, при изгибе на больших участках дуга не должна подвергаться необратимой деформации, следовательно, необходима хорошая способность к выпрямлению. Это способствует тому, что клиницист может активировать аппаратуру без постоянной деформации, т.е. достигается лучший контроль за перемещением зубов и сокращаются интервалы для коррекции в ходе лечения. Во-вторых, дуга должна быть мягче стальных аналогов, что позволит легко входить в паз брекета и в то же время создавать легкие силы в системе. В-третьих, дуга должна быть очень пластичной, т.е. давать возможность легко менять изгиб и без разломов формировать сложные конфигурации - такие, как петли.»

Сравнение графиков нагрузки и напряжения у нержавеющей стали и дуги ТМА демонстрирует уникальные свойства ТМА. У этой дуги упругость более чем вдвое превосходит упругость стали, сохраняется большой диапазон пластичности и такая же способность к формированию, как у стали. Тем не менее, эту мягкую дугу следует изгибать по большему радиусу (вокруг круглого конца щипцов).



Никель-титановые сплавы

Нитинол, (Nitinol - сокращение от Никель-титан-лаборатория-морской-артиллерии), был первым никель-титановым сплавом в ортодонтии. Исследования материалов этого класса были впервые проведены в ВМФ США, НАСА (Национальное агентство по авиации) и Университете Айовы в 1971 году. Первоначальное назначение состояло в применении материала в спутниках связи.

Спутники подпитывались энергией от больших солнечных батарей. Никель-титановая проволока составляла раму для этих батарей. При температуре окружающей среды на Земле проволока была исключительно мягкой (до достижения порога температурного перехода). Когда в космосе она подвергалась лучистому теплу солнца, проволока нагревалась, проходя порог температурного перехода, приобретала упругость и ту форму, которая была задана на Земле. Каркас из никель-титана при нагревании раскрывался, открывая солнечные батареи. Это свойство сплава получило название *память формы*.

Доктор Джорж Андресен (ныне покойный), заведующий кафедрой ортодонтии в университете Айовы, признал возможность использования этой дуги в ортодонтии. После внедрения в практику в 1977 технология и производство никель-титановых сплавов претерпела значительные изменения.

Металлургические свойства памяти формы являются результатом фазового перехода одной кристаллической структуры в другую. Эта трансформация (между мартенситной и аустенитной фазой) происходит с материалом в случае, когда никель-титановый сплав

переходит через порог TTR (температурно обусловленная трансформация), или подвергается трансформации под действием нагрузки.

Первой никель-титановой дугой представленной в ортодонтии был Нитинол, который не имел тех же свойств, характерных для большинства современных никель-титановых дуг. Часто дуги различных производителей, имеющих различные свойства, называют Нитинолом. Дуги разных производителей имеют различные физические свойства, что может иметь значение для клинического применения. Оригинальные дуги Нитинол (выпускаемые с 1977 по 1990) не имели свойства *суперэластичности* и работали с более жесткой силой. Для прояснения свойств дуг этого сплава представлен график соотношения усилия и деформации.

Самое большое отличие в кривой усилие/деформация никель титана от других сплавов в том, что она не линейна в области предела эластичности. Эти неэластические свойства назвали *псевдоэластичностью*. Причиной этой диспропорции является переход дуги из фазы в фазу как результат приложенной силы (сила обуславливает фазу трансформации).

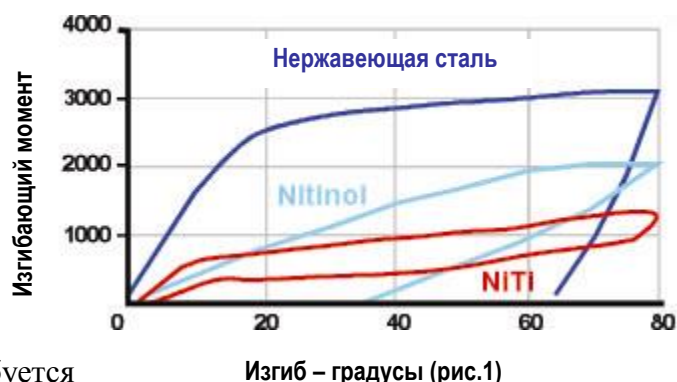
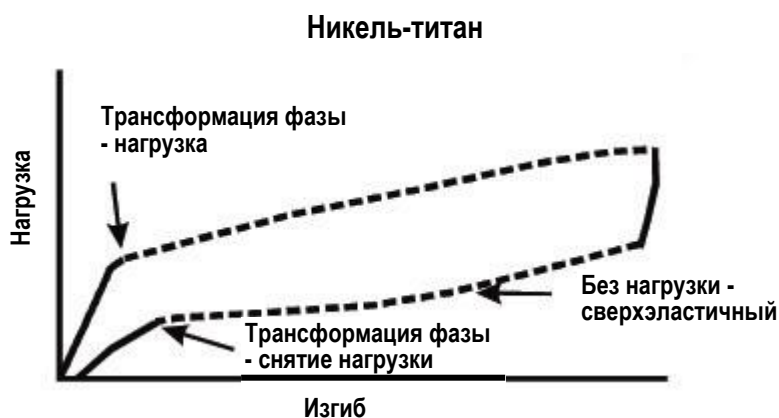
Материал, который пропорционален в своем эластичном состоянии (однофазный сплав), демонстрирует схожий график как при его подаче нагрузки, так и при ее снятии. Из-за того, что приложенная сила вызывает фазу трансформации никель-титанового сплава, кривая разгрузки отличается ее меньшей силой по сравнению с кривой загрузки. Так как сила, которая дуга передает на брекет, и, соответственно, на зуб является первостепенным фактором, кривая снятия нагрузки имеет дополнительное значение.

Никель-титан может после дополнительной обработки приобрести свойство *суперэластичности*. Суперэластичность - это свойство создавать постоянную силу независимо от нагрузки. На графике усилия и деформации это свойство отражено относительно плоской частью кривой разгрузки. Для достижения суперэластичности дуга должна начинать работу в аустенитической фазе.

Статья Dr. Burstone (Китайская дуга NiTi – новый ортодонтический сплав. AJODO 1985; 87:445-452) помогла оценить значение суперэластичности. Его публикация впервые определила разницу в работе мартенситного Нитинола и суперэластичного Китайского NiTi.

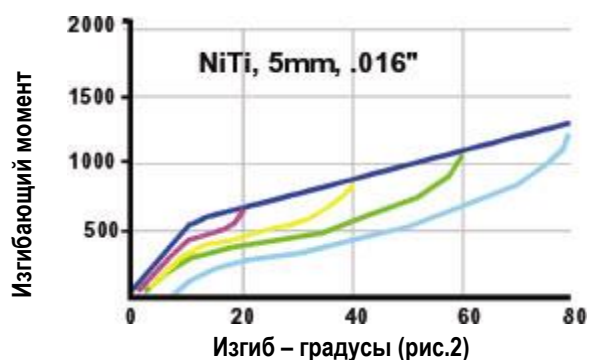
Производство ортодонтических дуг требует протягивания через цилиндры большего размера. Это проделывается много раз для достижения нужного размера или формы конечного продукта. Каждое протягивание закаляет сплав. В то время как нержавеющая сталь не слишком чувствительна к этому процессу, никель-титан чувствителен.

Для достижения желаемых свойств требуется окончательная температурная закалка. Первая



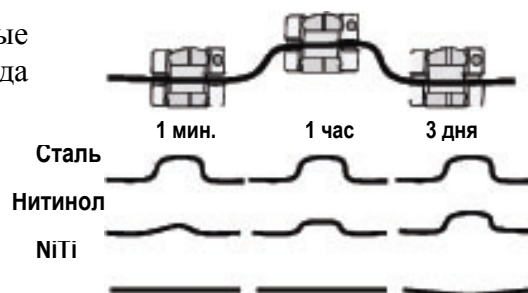
никель-титановая дуга, Nitinol, имела специальное механическое упрочнение, мартенситную фазу и не обладала желаемыми свойствами суперэластичности.

Почему суперэластичность так важна? В той публикации доктор Бёрстон в 1985 году описал результаты тестирования и показал существенные различия у двух сплавов никеля и титана - один имел суперэластические свойства (Китайский NiTi), а другой - Nitinol - с механическим упрочнением не был суперэластичным (рис.1). Не суперэластичный никель-титан приобретал необратимую деформацию и у него отсутствовала фаза трансформации при снятии нагрузки. На рис. 2 Китайский NiTi (выпускаемый Ormco как дуга NiTi™) был изогнут на 20, 40, 60 и 80 градусов и измерялась степень разгрузки при каждом изгибе. При выраженном отклонении (от 60° до 80°) чем ближе дуга была к своей оригинальной аустенической фазе, тем жестче она становилась. При большом отклонении дуга демонстрировала меньше силы, чем при маленьком отклонении. При большом отклонении ее жесткость составляла 7% от нержавеющей стали, тогда как при маленьком отклонении ее жесткость составляла 28%. Другие параметры этого исследования продемонстрировали, что если дуга суперэластична, то чем ближе она к своей первоначальной форме, тем более эффективно она работает. Это указывает на то, что дуга может быть оставлена до тех пор, пока она не станет абсолютно пассивной, при условии: 1) она не изменит свойства под действием времени и 2) прикладываемая сила адекватна силе для желаемого перемещения зубов.



Для тестирования зависимости свойств дуги от времени (рис. 3) было зафиксировано три брекета с нормальным расстоянием между ними, но с такой разницей в высоте, при которой происходила необратимая деформация нержавеющей стали. Дуги были удалены через одну минуту, один час и три дня. Не суперэластичный Nitinol со временем приобретал большую деформацию. Суперэластическая NiTi не имела значимой разницы в форме в зависимости от времени.

Рис.3



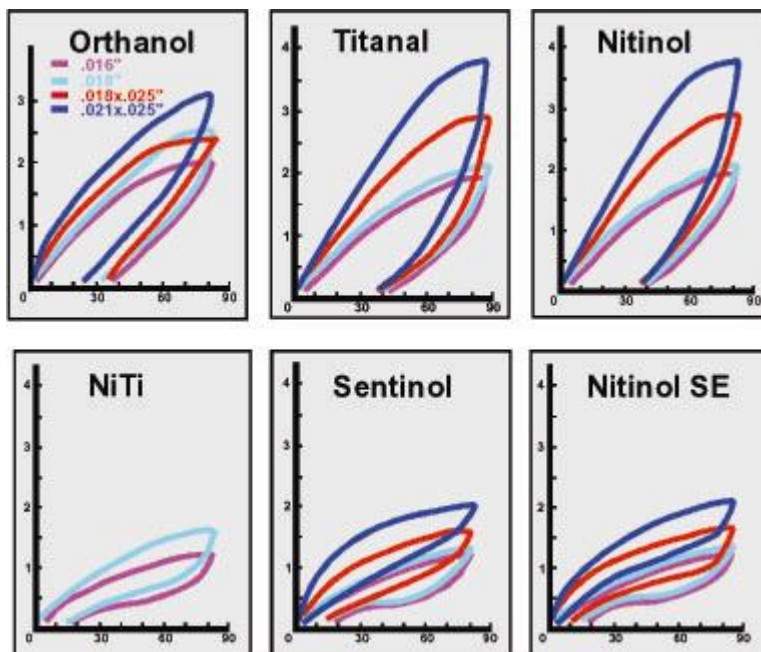
Все материалы проходят через некоторые диапазоны температурного изменения, TTR. Вода переходит из фазы льда в воду и в пар при диапазоне перехода TTR от 0° до 100°. Когда материал переходит через это температурное значение, то говорят, что материал стал термически активным. Термически активная ортодонтическая дуга в идеале должна иметь фазу перехода при температуре около 22° и в идеале иметь это значение близкое к 37°, температуре полости рта. Диапазон температурного перехода (TTR) определяет самую низкую температуру, при которой сплав начинает проходить фазу трансформации и наивысшую температуру, при которой эта трансформация происходит полностью.

Ниже значения TTR никель-титановый сплав находится в мартенситной фазе. После перехода через TTR он становится аустеническим. В аустенической фазе он восстанавливает форму (в нашем случае форму дуги, которая была заложена при температурной обработке при 450°C. это свойство *памяти формы*).

В 1991, в статье описывающей различные никель-титановые дуги (Свойства изгибания суперэластичных и несуперэластичный дуг NiTi, AJODO 1991, 99:310-318) был сделан акцент на выраженность различий свойств, которые могут существовать у практически идентичных сплавов NiTi в зависимости от производителя.

Распространенным вопросом является вопрос цены: почему одни фирмы продают такие дуги менее чем за 1\$, а другие более чем за 5\$. В первую очередь

разница в цене обусловлена сложностью изготовления качественных никель-титановых дуг. Кроме того, не каждая никель-титановая дуга обладает суперэластичностью и другими необходимыми свойствами. Разница в стоимости добавляется для осуществления лабораторных этапов и проведения экспертизы для достижения суперэластических свойств и для того, чтобы дуга имела точность размера и температурного значения перехода.



Суперэластичные и не суперэластичные никель-титановые дуги

Растянутые промежутки между посещениями

Первым преимуществом использования ортодонтических дуг из титанового сплава это качественный результат, время лечения и уменьшение лабораторного этапа. При использовании упругих дуг в многих случаях общее время лечения может быть уменьшено и во всех случаях могут быть увеличены интервалы между посещениями. В процессе лечения несъемной аппаратурой посещения могут быть в промежутки от 6 до 8 недель при том же или более коротком общем времени лечения. Во время посещения оценивается прогресс лечения, изменяется силовая система, если требуется, и заменяются некоторые элементы (такие как эластические лигатуры). Большая часть времени уходит на разговор с пациентом и родителями, мотивация молодых пациентов к чистке зубов и кооперации с врачом.

Для врача, который понимает и максимизирует характеристики титановых дуг, уменьшается необходимость лабораторных этапов. Это бережет время и энергию и с лихвой компенсирует дополнительные расходы, связанные с применением этих более сложных сплавов.

Итог

Ортодонтические дуги стали сложнее и требуют, чтобы врач потратил время на изучение их свойств, возможностей и ограничений. Подобно окружающему миру, ортодонтические материалы также стали более технологически сложными. Для максимизирования преимуществ новейших дуг необходимо читать новую литературу и постоянно быть в курсе последних изменений в этой области.

В первой части статьи я попытался определить и объяснить физические свойства некоторых титановых сплавов, которые в первую очередь необходимо знать

практикующему ортодонту. Во второй части я описал дуги, которые я выбрал для себя, и обосновал свои предпочтения. Мой выбор основывался на многих факторах (включая механические свойства, описанные выше. Хотя я надеюсь, что вторая часть этой статьи содержит полезную информацию, ее можно рассматривать как подход одного человека к искусству и науке ортодонтии.

Титановые дуги: понимание и оптимизация их использования – Часть 2: Выбор и применение ортодонтических дуг

Доктор Майкл Л.Шварц
Калифорния, США

Следующая часть представляет собой результат 12 летнего опыта лечения пациентов несъемной аппаратурой с использованием только бета- и никель-титана. Выводы, которые были сделаны и специфичный выбор дуг отражает взгляды автора на перспективы ортодонтии, материалы, биомеханику и т.д. Читатель может понять преимущества широкого разнообразия дуг и их свойств, благодаря чему можно выбрать дуги в зависимости от требований пациента и в согласии с индивидуальными взглядами врача и с полным пониманием физических свойств дуг.

Нивелирование и выравнивание

Главное требование к физическим свойствам начальной дуги для выравнивания всех брекетов это упругость и еще раз упругость. Дуга должна быть высоко формуема. Никель титановый сплав стал сплавом выбора для выравнивания брекетов и устранения ротаций. Мои клинические наблюдения никель титанового сплава начались в 1980. Однако до 1985 года мои клинические наблюдения не значимо влияли на критерий выбора дуг.

Начиная с 1985 года первой дугой для выравнивания пазов брекетов и устранения ротация стала дуга 0.018 NiTi (суперэластичная никель-титановая дуга фирмы Ormco). Эта дуга использовалась как первая дуга (сразу же после установки брекетов) в трех клиниках, в двух использовались брекеты 0.022 паза и в одном 0.018. основываясь на результатах использования этой дуги я пришел к выводу, что только одна никель-титановая дуга способна выполнить требования к первой фазе лечения: 1) устранение всех ротаций, и 2) выравнивание пазов брекетов для введения более жесткой прямоугольной дуги (это подразумевает под собой, что дуга имеет суперэластические свойства и не подвергается необратимой деформации). Типичный пример эффективности суперэластичности никель-титанового сплава продемонстрирован на рис.1 . Дуга 0.018 NiTi установлена после фиксации брекетов и колец. Через 10 недель никель титановая дуга была заменена на 0.019x 0.025 TMA. Пациент не отмечал дискомфорта. Активная фаза лечения была завершена через 10 месяцев.

Меньший диаметр никель-титановых дуг (меньше 0.018) не обеспечит такую же эффективность в данный период (средний период времени для нивелирования и выравнивания зубов на примере 613 пациентов составил 13 недель). Если сравнить жесткость дуг (посмотрите на график жесткости дуг выше), то та небольшая разница в силе дуг между дугами разного диаметра не оправдывает выбор дуги меньшего размера. Типичная реакция пациента на первую никель-титановую дугу выражалась



Случай 1 – до лечения, 1 класс, скученность



Случай 1, 10 недель лечения,
от .018 NiTi к 19x25 TMA

болезненностью зубов от трех до пяти дней у подростков и от семи до 14 дней у взрослых пациентов. Эта реакция не зависима от размера дуги.

Введение дуг с низким соотношением нагрузки и изгиба (т.е. мягкая дуга, дающая значительный изгиб дуги при сильной нагрузке), изготовленных из купер-никель-титана, сделало возможным внедрение дуг большего размера, прямоугольного сечения для начального нивелирования и выравнивания. Использование таких дуг необходимо, когда



Случай 2 – до лечения

критичен контроль торка. В случае 2, выраженный глубокий прикус, первая дуга на верхней челюсти была 0.019x 0.025 CuNiTi, 35°. Критерием выбора данного размера дуги являлся нежелательный вестибулярный наклон коронок и максимальное достижение лингвального корневого торка при выравнивании зубной дуги. Данная дуга была выбрана из-за возможности ее введения в пазы брекетов на данном этапе. Дугу с более низкой температурой перехода в активную фазу никель-титанового сплава (27 ° или оригинальная дуга NiTi с температурой трансформации 17°) было бы сложно ввести в паз брекета между латеральным резцом и клыком. Дугу с более высокой температурой перехода (CoNiTi 40°) проще ввести в пазы брекетов, но опыт работы с ней показывает, что она может не выполнить задачу выравнивания зубов.



Случай 2 – 19x25 CuNiTi 35°, 5 недель

После начального выравнивания и нивелирования (через 6 месяцев после начала лечения) с помощью дуга CoNiTi 35° была установлена дуга 0.019x 0.025 TMA с подчеркнутой окклюзионной кривой. На нижнюю челюсть была установлена дуга 0.019x 0.025 TMA после дуги 0.018 NiTi.

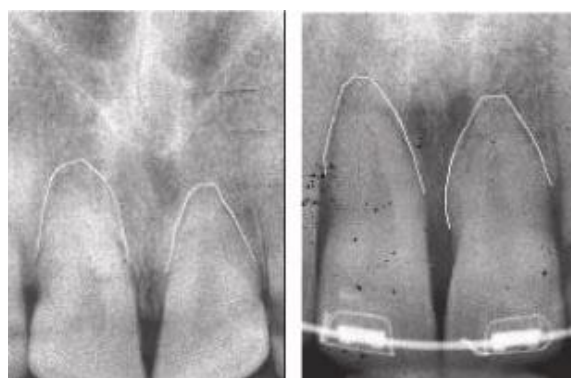


Случай 2 – 19x25 TMA, 6 мес.

Этот случай был выбран для демонстрации из-за выраженной резорбции корней на центральных резцах верхней челюсти. После сравнения рентгенограммы периапикальных тканей до лечения (укорочение из-за выраженного наклона зубов) и рентгенограммы в

процессе лечения, спустя шесть месяцев не было выявлено дополнительной резорбции корней.

Количество случаев резорбции корней (значительной резорбции у пациентов, не имеющих в анамнезе указаний на нее) с использованием титановых дуг уменьшилось до нуля. Объяснением является меньшее время лечения, уменьшенный уровень силы, уменьшенная потеря торка, которую необходимо восстанавливать.



Случай 2 - до лечения

Случай 2 - прогресс

Хотя существуют исключения из правил, следующие дуги рациональнее использовать в следующих случаях для выравнивания и нивелирования.

Размер дуги	Тип дуги	Показания к использованию
0.018	NiTi	Скученность и ротации - от умеренной до выраженной степени. Паз .018 и .022
.017x.025	CuNiTi 35°	Скученность и ротации - от умеренной до выраженной степени. Паз .018. Минимальный наклон.
.019x.025	CoNiTi 35°	Скученность и ротации - от умеренной до выраженной степени. Паз .022. Минимальный наклон.
.017x.025	CuNiTi 27°	Скученность и ротации - от средней до умеренной. Паз .018. Минимальный наклон.
.019x.025	CuNiTi 27°	Средняя скученность и ротации. Паз .018. Минимальный наклон.

Главная рабочая дуга

Функция главной рабочей дуги заключается в выполнении большинства задач на активной фазе лечения: нормализация глубины перекрытия, закрытие пространств, нормализация торка, форма зубной дуги, трансверзальный ее размер, детализация и др. дуга должна быть формуема и упруга. Сегодня мы выбираем дугу и в зависимости от роста пациента. Для пациентов с выраженным вертикальным компонентом роста лучше перейти на никель-титановую дугу с большим размером, чем переходить к дуге с большей жесткостью.

За исключением пациентов с тенденцией к открытому прикусу, бета-титановая дуга, ТМА стала дугой выбора как дополнительная и основная рабочая дуга после ее введения в 1980 году. Она формуема и имеет упругость более чем в два раза большую по сравнению с нержавеющей сталью. При 42 % жесткости от жесткости стали, она имеет достаточную силу для выполнения всех задач и достаточную силу для сопротивления побочным эффектам вариантам механотерапии (вертикальный компонент межчелюстных эластиков, наклон зубов при лечении с удалением).

Дуги Ютилити

Дуги ТМА хорошо работают как дуги ютилити. Критериями для их выбора является 1) способность формообразования для создания изгиба, 2) упругость для удержания активации, 3) соотношение нагрузки и отклонения при прямоугольном сечении большого размера соответствует практическому опыту применения дуг ютилити.

Традиционно дуга ютилити выполнялась из хромокобальтового сплава .016x .016 или из нержавеющей стали .016x .022. Причиной их использования являлась интрузивная сила в 200 грамм, которую они могли перенести на резцы. Эти дуги незначительно контролировали торк. Жесткость стальной дуги сечения .016x.022 составляла 1130/ 598. В пазах .022 свобода дуги составляла более 30°. Дуга ТМА сечения .021x .025 с жесткостью 914/645 имеет около 4° свободы. Дуга ТМА производит силу примерно того же уровня (несколько меньше), значительно больший контроль торка и большую упругость, чем традиционные стальные дуги ютилити.



Фиксация брекетов и колец, + 2 недели, 21x25 ТМА – дуга ютилити + 8 мес., 19x25 CuNiTi 35° секция .018 NiTi

На фотографии выше показан типичный пример фиксации брекетов на четыре резца и установки сепараторов к молярам. Частичная дуга NiTi .018 была установлена на четыре брекета. Две недели спустя были установлены кольца и введена .021x.025 ТМА. При установке дуги ютилити я также использую высокую тягу. На дугу ютилити наносятся дистальные изгибы тай-бэк. Причина использования высокой тяги – максимальный интрузивный эффект и минимизация экструзии моляров и дистальный наклон моляров, вызываемый дугой ютилити. Сложность использования полноразмерных ютилити дуг ТМА состоит в их удалении после того, как нанесен изгиб тай-бэк. Поэтому дуга ютилити должна оставаться активной все время лечения. Дополнительная упругость ТМА делает возможным эту увеличенную по времени активацию.

Нормализация окклюзионной кривой

Нормализация глубины перекрытия, коррекция кривой Шпее относительно просты при использовании ТМА с нанесенной реверсионной кривой или подчеркнутой окклюзионной кривой (.019x.025 или .017x.025 ТМА). Причины использования дуг ТМА: 1) способность к формообразованию для нанесения изгиба, 2) упругость для поддержания активации на долгом протяжении, 3) большой размер прямоугольной дуги для поддержания торка резцов и минимизации потенциального побочного эффекта лабиального отклонения.

Обычно глубокий прикус корректируется за 3 – 6 месяцев использования дуги ТМА с подчеркнутой кривой. Дуга .019x.025 быстрее выполняет данную задачу в подобных случаях, однако разница незначительна.



Случай 4 - до лечения

2 класс, 2 подкласс

В случае 4 (32-летний мужчина) справа соотношение зубов по II классу. Существовала значительная зубоальвеолярная компенсация в области резцов верхней челюсти. Верхние резцы требовали лингвального отклонения корней при выравнивании окклюзионной плоскости.



Случай 4, 19x25 / .018 NiTi, 2 мес. лечения



Случай 4, 19x25 TMA, 3 мес.



Случай 4, 19x25 TMA, 9 мес.

Начальной дугой на верхней челюсти была .019x.025 TMA. В данном случае выравнивание зубной дуги, раскрытие прикуса, коррекция средней линии и контроль торка верхних резцов произошло за 9 месяцев.

Подчеркнутая кривая Шпее на дуге TMA на верхнюю челюсть и реверсионная кривая на нижнюю челюсть на дуге TMA были установлены на 6 месяцев. Фаза активного лечения была завершена на дугах D-Rect (плетеная стальная дуга).



Случай 4, 2 года лечения, ретенция

Непрерывные дуги, скользящая механика

Для большинства случаев с удалением с непрерывными дугами скользящая механика работает на протяжении 18 месяцев. Моя дуга выбора для закрытия пространств это .019x.025 TMA (в пазе брекетов .018 дуга .017x.025). основание этого выбора следующее: 1) практически полноразмерная дуга для максимизации перемещения зубов, 2) соотношение нагрузки и изгиба позволяет ее устанавливать на раннем этапе, наблюдается достаточная жесткость для сопротивления побочным эффектам одночелюстных и межчелюстных эластиков, 3) способность к формообразованию, 4) упругость для поддержания подчеркнутой кривой и способность противостоять наклону зубов на стороне удаления.

Необходимо отметить, что выравнивание и нивелирование происходят быстро, однако закрытие пространств с дугами большого сечения часто требует больше времени по сравнению с другими техниками. Дополнительное время требуется для того, чтобы корпусно переместить зуб, а не наклонить его. Я бы подчеркнул значение силы трения или сопротивление скольжению. Многие недавние исследования указывают, что феномен скольжения дуги через брекеты или брекетов вдоль дуги в большей степени связан со способом фиксации брекетов, чем трением как таковым. Само по себе использование прямоугольных дуг большого сечения с выраженной шероховатостью поверхности и значительным коэффициентом трения не является противопоказанием к применению.

Пример использования прямоугольной дуги ТМА на стороне удаления представлен в случае 5. начальной дугой являлась дуга .018 NiTi, которая была установлена на первые 3 месяца. ТМА .019x.025 была установлена для закрытия пространств после удаления с использованием механики скольжения и применением одночелюстных и межчелюстных эластиков. Через 16 месяцев лечения дуга ТМА была заменена на .021x.025 D-Rect плетеную дугу для завершения лечения (на 2 месяца).



Случай 5, до лечения



Случай 5, 8 мес. лечения, 19x25 ТМА



Случай 5, 16 мес. лечения, 21x25 D-Rect



Случай 5, ретенция

Закрывающие петли – ТМА

При использовании непрерывных дуг механика скольжения является моим методом выбора для закрытия трем, но у некоторых пациентов не происходит достаточных изменений за определенный период времени. В некоторых случаях из-за необходимости контроля опоры требуются другие способы ретракции переднего участка. Могут потребоваться дуги с петлями. С хорошей формуемостью, превосходной упругостью и

пружинистостью петли могут легко наносится на дуги ТМА и их активация может быть эффективнее и реже, чем у стальной дуги.



На примере 6, у пациентки значительно выраженная бимаксилярная протрузия, большая диастема и глубокий прикус. Целями лечения были уменьшения денто-альвеолярной и лицевой протрузии.

Через 6 месяцев лечения с использованием скользящей механики с использованием .019x.025 ТМА, центральные резцы верхней челюсти были перемещены назад (наклонены) и нижние четыре резца были в процессе перемещения вместе с клыками. Несколько позже, через 9 месяцев, передвижение замедлилось. Непрерывная дуга была заменена на дугу с закрывающими петлями .019x.025 ТМА. Активация проводилась с интервалами в 5-6 недель.



Случай 6, 6 мес. лечения, 19x25 TMA

После закрытия пространств и ретракции верхних резцов была установлена дуга .021x.025 TMA для нормализации наклона зубов после использования дуг с закрывающими петлями и продолжалось выравнивание зубных дуг. Через 30 месяцев лечения была установлена финишная дуга .021x.025D-Rect и сделана завершающая ортопантограмма.



Случай 6, 30 мес. лечения, 21x25 D-Rect



Случай 6, ретенция



Использование следующих дуг наиболее рационально как основных рабочих дуг:

Размер дуги	Тип дуги	Показания к использованию
.017x.025	NiTi	Случаи лечения с удалением и без удаления, контроль по вертикали, паз .018
.019x.025	NiTi	Случаи лечения с удалением и без удаления, контроль по вертикали, паз .022
.017x.025	TMA	Случаи лечения с удалением и без удаления, глубокий прикус, паз.018
.019x.025	TMA	Случаи лечения с удалением зубов и без, глубокий прикус, паз .022
.021x.025	TMA	Максимальный контроль торка, коррекция по трансверзали, паз .022

Так как очевидно, что взаимодействие дуги и брекета обусловлено не только силой трения, использование ионно-имплантированной дуги TMA показано при использовании скользящей механики.

Пре-ретенционные дуги

Третьей и завершающей дугой часто является полноразмерная плетеная прямоугольная стальная дуга (D-rect). Альтернативой данной дуге является титаново-ниобиевая дуга. Причинами для выбора данной дуги являются: 1) изготовление и сохранение детализирующих изгибов, 2) заполнения паза для исключения наклона зубов при использовании эластиков с вертикальным вектором, 3) достаточная гибкость и низкое соотношение нагрузки и отклонения позволяет происходить вертикальной установке окклюзии.

Эта дуга обычно устанавливается в последние 3 месяца лечения (только если необходимо). По окончательной ортопантограмме оценивается правильность расположения корней и часто проводят переклеивание. Детализирующие и компенсирующие изгибы делаются на предыдущей дуге TMA и воспроизводятся на дуге D-Rest. Устанавливаются легкие межчелюстные эластики и, если требуется, улучшаются фиссурно-бугорковые контакты.

Полноразмерная дуга (.021x.025 или .018x.025 в зависимости от паза брекетов) D-Rest также используется при лечении случаев открытого прикуса. При экстремально низком показателе нагрузка/изгиб минимизируется влияние дуги на раскрытие прикуса.

Пример такого применения показан в случае 7. Пациентка 29 лет жалуется на выраженную боль в области мышц лица. Контакты зубов присутствуют на левых третьих молярах и правых молярах. Она прошла курс ортодонтического лечения с длительным применением эластиков по II классу в возрасте 14 лет.



Случай 7, до лечения

Лечение началось с применения сплинта для устранения мышечных болей. Затем были установлены брекететы и дуга D-Rect .021x.025 на обе челюсти. Использовались боковые коробочные эластики для постоянного ношения (5/16 – 3/8", 3-4 oz.). Целью их использования было получение зубоальвеолярного выдвижения с помощью легких эластиков и возможное избежание вытяжения в области сустава.



Случай 7, 6 мес. лечения, 21x25 D-Rect



Случай 7, ретенция

Поэтому плетеная стальная дуга была выбрана из-за ее хороших физических свойств. Она обладает гибкостью, и будучи стальной дугой принимает постоянную форму довольно легко. При этом у нее нет тенденции к восстановлению после изменения формы под действием эластиков и/или мышц пациента. Титаново-ниобиевая дуга обладает сходными свойствами, но имеет преимущество в том, что она не плетеная и ее проще отрезать и вводить в трубочки замков.