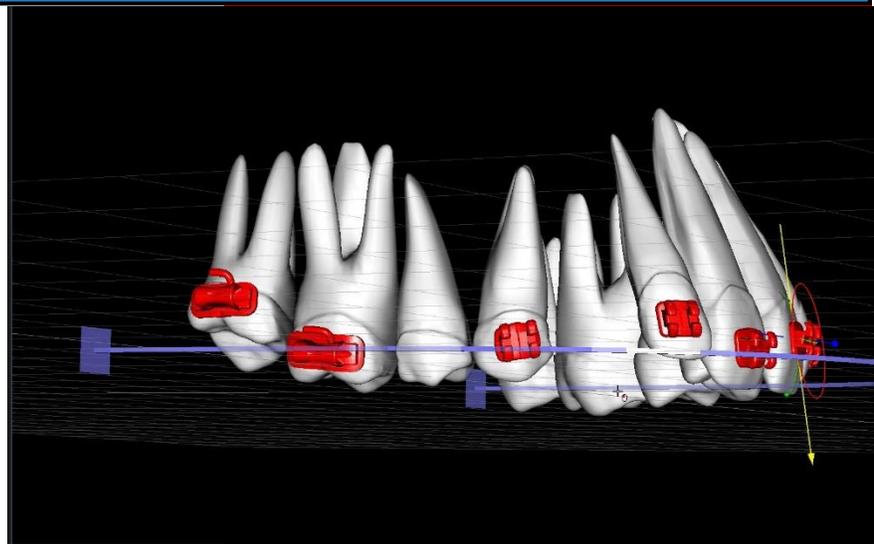


Física en Ortodoncia



Dr. Jean-Marc Retrouvey

Dr. Katherine Koussaie

Translation : Dr Andres Perdomo Ospina
and Dr. Luis Pable Cruz- Hervert



IFDE
INTERNATIONAL
FOUNDATION FOR DENTAL EDUCATION

Mecánica Básica Aplicada a la Ortodoncia

Dr. Jean-Marc Retrouvey
Dr. Katherine Koussaie

Traducción: Dr. Luis Pablo Cruz-Hervert
Dr. Andrés Felipe Perdomo Ospina

1 CONTENIDO

- 2 Introducción 2
- 3 Biomecánica básica **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.1 Las tres leyes de Newton **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.1.1 Primera ley **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.1.2 Segunda ley **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.1.3 Tercera ley..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4 Concepto de fuerza 4
 - 4.1 Fuerza simple: 4
 - 4.1.1 Definición: 4
 - 4.1.2 Punto de aplicación..... 5
 - 4.1.3 Línea de acción con dirección y magnitud. 6
 - 4.1.4 Ley de Transmisibilidad de la fuerza: 7
 - 4.1.5 Punto de aplicación de la fuerza: 7
 - 4.1.6 Centro de Masa..... **Error! Bookmark not defined.**
- 5 Centro de Resistencia (CR): 9
 - 5.1 Variabilidad del centro de resistencia en relación al soporte peridontal..... 11
 - 5.1.1 Centro de resistencia de un diente: 11
 - 5.1.2 Centro de resistencia de un grupo de dientes..... 13
 - 5.1.3 Combinación de fuerzas. Resultante de una fuerza o fuerza neta 14
- 6 Centro de Rotación: 16
 - 6.1.1 Diagramas de cuerpo libre 17
- 7 Movimientos dentales **Error! Bookmark not defined.**
 - 7.1 Translación 20
 - 7.2 Rotación (pura) 21

7.3	Inclínación (Tipping)	22
7.3.1	Inclinación no controlada : Cuando se ejerce una fuerza sobre la corona, la corona se mueve en una dirección, mientras que la raíz se mueve en la otra. En este caso, el centro de rotación está cerca o apical al centro de resistencia, debido a esto el diente se inclina sobre el centro de resistencia (Fig 30).	22
7.3.2	Inclinación controlada:.....	22
	El centro de rotación está en el apice radicular. Esto incluye un momento y una fuerza, y los dientes se inclinan alrededor del centro de rotación. (Fig 31). 21 (Fig 31).	22
7.3.3	Movimiento radicular	Error! Bookmark not defined.
7.3.4	Intrusión/Extrusión	23
8	Sistemas de fuerzas.....	Error! Bookmark not defined.
8.1	Momento	25
	M = F x d	25
8.2	Cupla o par de fuerzas	Error! Bookmark not defined.
8.3	Proporción Momento / Fuerza	Error! Bookmark not defined.
8.4	Movimientos resultantes de fuerzas y sistemas diferentes	29
8.5	Sistemas de fuerzas equivalentes	33
9	Anclaje.....	Error! Bookmark not defined.
9.1	Aplicaciones	Error! Bookmark not defined.
9.1.1	Retracción Canina	Error! Bookmark not defined.
9.1.2	Extrusión para alargamiento de la corona clínica y la colocación de implantes	39
10	Lecturas sugeridas.....	Error! Bookmark not defined.

2 INTRODUCCIÓN

La ortodoncia se basa en principios básicos de la física relacionados con los cuerpos en movimiento en el espacio. Por supuesto, los movimientos en ortodoncia se hacen más complicados, ya que estos cuerpos móviles están en la boca y están sujetos a sistemas de fuerza más complejos de lo que la mecánica simple puede predecir. La biomecánica es una parte importante de la ortodoncia y es el estudio del equilibrio estático y los efectos de las fuerzas en los sistemas biológicos. Este texto intentará simplificar la biomecánica de la ortodoncia y proporcionar un marco teórico para sus aplicaciones clínicas.

3 BIOMECÁNICA BÁSICA

Existen algunos conceptos básicos de física que merecen una revisión antes de profundizar en la biomecánica en ortodoncia y sus aplicaciones en casos clínicos.

En ortodoncia, usamos las tres leyes de Newton para explicar los efectos de las fuerzas sobre un objeto.

3.1 LAS TRES LEYES DE NEWTON

Las leyes de Newton describen el movimiento de un objeto cuando está sometido a fuerzas. La Segunda y Tercera Leyes de Newton son las más importantes en ortodoncia.

3.2 PRIMERA LEY

En ausencia de fricción, un cuerpo permanece en reposo o continúa el movimiento uniforme en línea recta a menos que lo modifiquen las fuerzas que actúan sobre él. La primera ley de Newton describe esencialmente el concepto de inercia, o la reacción (o resistencia) de un cuerpo al movimiento cuando actúa sobre él una fuerza. (Figura 1).

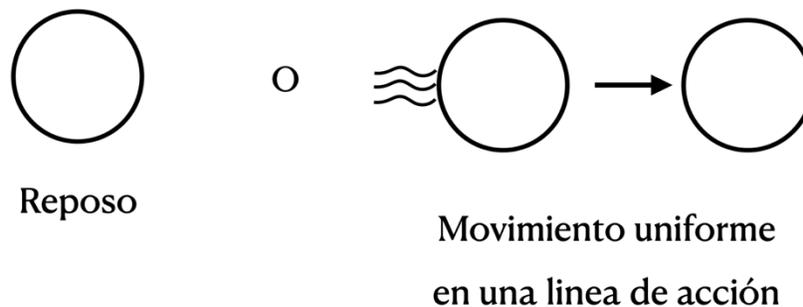


Figura 1: Primera ley de Newton

3.3 SEGUNDA LEY

La aceleración de un cuerpo se presenta en la misma dirección que la fuerza que lo produce y depende de la magnitud de la fuerza y la masa del objeto.

$$F_{\text{neta}} = m \times a$$

(Fuerza = masa x aceleración)

3.4 TERCERA LEY

La tercera ley de Newton establece que, con cada acción o fuerza, existe una fuerza de reacción igual (en dirección opuesta). Según esta ley, siempre que dos objetos interactúan, ejercen fuerzas de acción y reacción entre sí. Con cualquier interacción, existen un par de fuerzas. Las

fuerzas en este par (acción y reacción) son **vectores** los cuales tienen un tamaño y una dirección. El tamaño de la fuerza sobre el primer objeto es igual al tamaño de la fuerza sobre el segundo objeto, y la dirección de la fuerza sobre el primer objeto es opuesta a la dirección de la fuerza sobre el segundo objeto. Considere la interacción entre las ruedas de un automóvil y la carretera. Cuando las ruedas giran, ejercen una fuerza sobre la carretera. A su vez, la carretera ejerce una fuerza sobre las ruedas que es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza que recibe la carretera de las ruedas. En cierto sentido, las ruedas empujan la carretera hacia atrás y la carretera empuja las ruedas hacia adelante (iguales y opuestas), lo que permite que el automóvil avance. En la boca, podemos ver ejemplos de sistemas de acción-reacción en una planificación de la retracción del canino. El resorte jala al canino hacia atrás con una magnitud de fuerza. Dado que el aparato utiliza los molares como anclaje, existe una fuerza de igual magnitud y dirección opuesta que tira de los molares hacia adelante (Fig. 2). Esto podría ser un efecto secundario indeseable. Al planificar el tratamiento, los efectos secundarios indeseables deben tenerse en cuenta y eliminarse o al menos minimizarse.

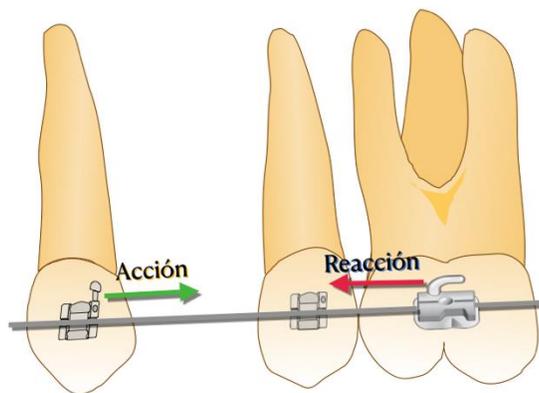


Figura 2: Acción y reacción de las fuerzas colocada en un sistema en equilibrio. Este es un esquema simplificado.

4 CONCEPTO DE FUERZA

4.1 FUERZA SIMPLE:

4.1.1 Definición:

Una fuerza es cualquier acción que resulte en el cambio en el movimiento de un objeto. Las fuerzas se miden en onzas, gramos o Newtons (aproximadamente 100gr por 1 Newton en el planeta Tierra ya que la aceleración debida a la gravedad se considera constante e igual a $9.807 / s^2$). En ortodoncia, la unidad de fuerzas suelen ser los gramos (2).

Dirección y magnitud de la fuerza

Como una fuerza es un vector, la dirección de esta es representada por una flecha apuntando en la misma dirección que el movimiento del diente.

La magnitud de la fuerza está representada por convención, por la longitud de la flecha. (figura 3).



Figura 3: Fuerza simple con magnitud y dirección

4.1.2 Punto de aplicación de la fuerza.

El punto de aplicación de la fuerza es el lugar donde se aplica la fuerza al objeto y es por convención el origen de la flecha. La ubicación del punto de aplicación de la fuerza está relacionada con el Centro de Masa, ya que esta ubicación precisa determinará la tendencia del objeto a trasladarse o rotar cuando se somete a esta fuerza.

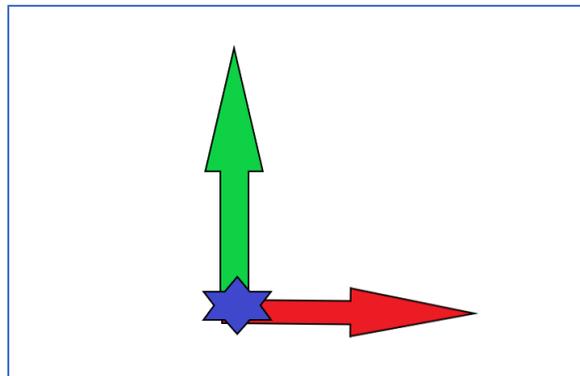


Figura 4: Punto de aplicación de fuerzas

En la figura 4, las fuerzas verde y roja están en diferentes direcciones, pero tienen el mismo punto de aplicación.

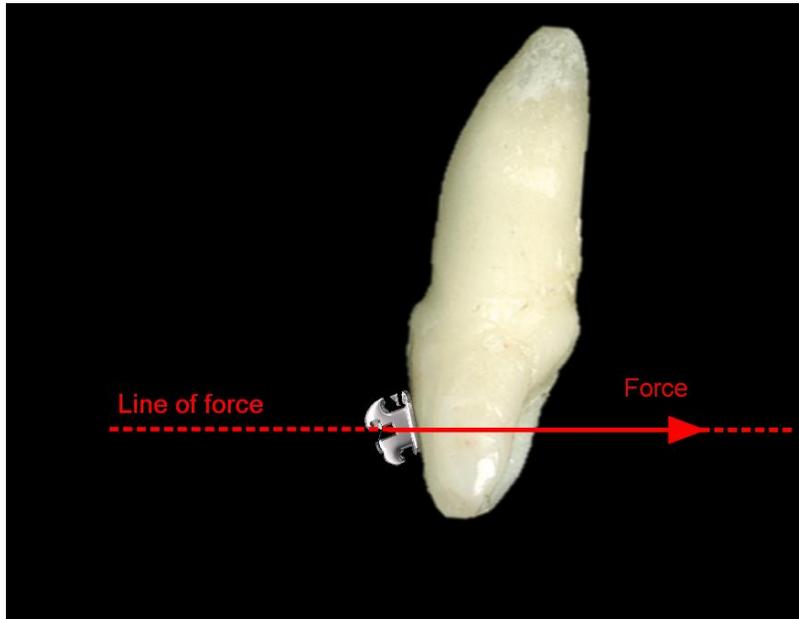


Figura 5: Fuerza simple aplicada al bracket de un incisivo central. La línea de acción ilustra la dirección del vector de la fuerza.

4.1.3 Línea de acción con dirección y magnitud.

La línea de acción es la representación geométrica de la forma en que se aplica la fuerza (Wikipedia). La línea de acción es el eje de desplazamiento cuando se aplica la fuerza. La dirección de la fuerza está marcada por la flecha. La magnitud es la longitud de la flecha por convención. Dos fuerzas de igual amplitud actuando en la misma dirección y colocadas en la misma línea de acción tendrán el mismo efecto en un cuerpo rígido. En la figura 6, F1 y F2 tendrán el mismo efecto en el cuerpo azul de abajo. No importa si una fuerza empuja y la otra tira o jala. El efecto neto será idéntico.

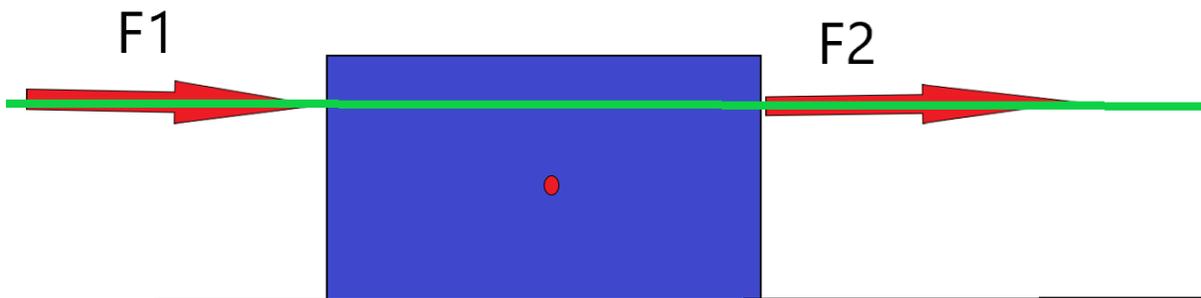


Figura 6: Línea de acción de las fuerzas

4.1.4 Ley de la transmisibilidad de la fuerza:

El efecto de una fuerza sobre un cuerpo es el mismo cuando se aplica en cualquier lugar a lo largo de su línea de acción (Fig. 7). Por ejemplo, si la línea de acción es el eje largo del diente, no importa si la fuerza se aplica en el borde incisal, el bracket o el cingulo, siempre que la fuerza sea en la misma dirección y magnitud, el efecto sigue siendo el mismo.

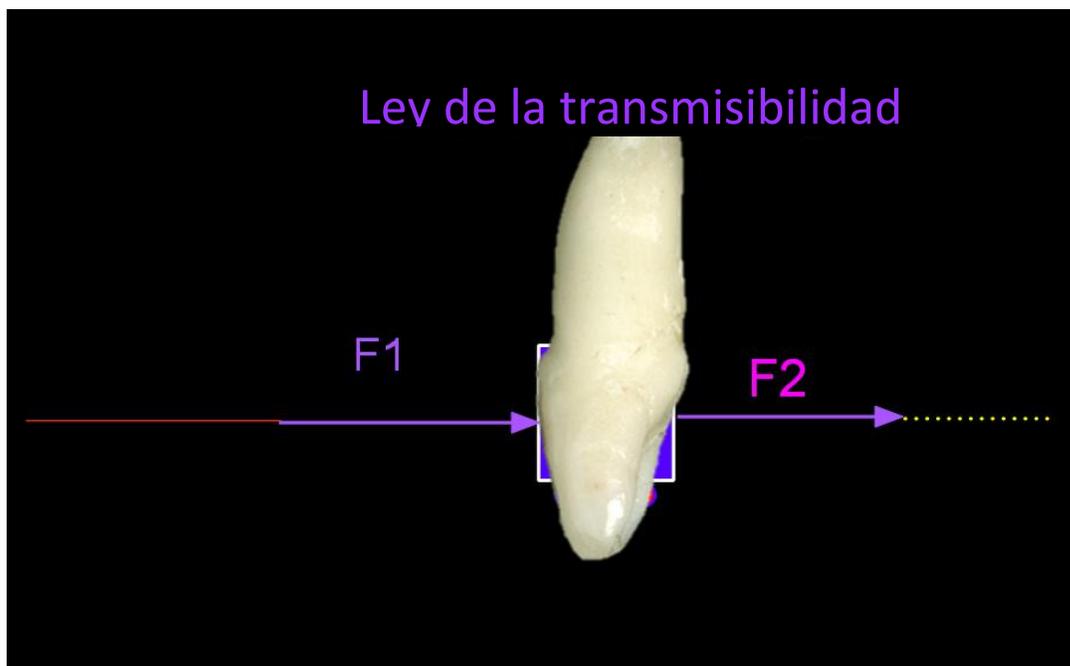


Figura 7: Ley de la transmisibilidad de fuerzas: F1 y F2 tendrán el mismo efecto.

4.1.5 Punto de la fuerza de aplicación:

La ley de transmisibilidad nos dice que las fuerzas de la misma magnitud y dirección tienen el mismo efecto sin importar dónde se encuentre el punto de aplicación a lo largo de la misma línea de fuerza.

Los **Escalares** se utilizan para describir fuerzas; los escalares tienen una magnitud, pero no una dirección. Los vectores tienen magnitud y dirección (los vectores se utilizan en el diagrama de cuerpo libre).

Cuerpos Rígidos: Estos no cambian de forma bajo la influencia de fuerzas (como fuerzas de compresión y tensión). Los dientes son cuerpos rígidos; ¡No se puede decir lo mismo de los tejidos blandos!

Centro de Masa: El centro de masa representa el punto de equilibrio de un sistema. En objetos simples como un diente, el centro de masa es un punto donde la posición de la masa distribuida es igual a cero. Si ninguna fuerza actúa sobre un cuerpo de masa, actuaría como si toda su masa estuviera concentrada en ese único punto (el centro de masa).

**Centro de Masa:
Punto de balance de un sistema**

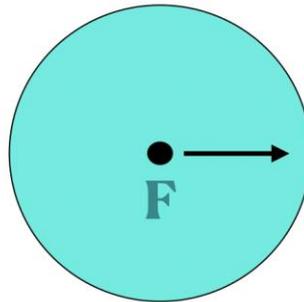


Figura 8 : Centro de masa

Si una fuerza atraviesa el centro de masa, el objeto se moverá en la dirección de la fuerza sin ninguna rotación (traslación pura).

Esto sería lo mismo en una caja, o cualquier otro objeto para el caso, en la luna (o en un entorno donde no hay fuerzas actuando sobre el diente) (Fig. 9). Obviamente, esta no es una situación realista, ¡sino más bien un concepto teórico!

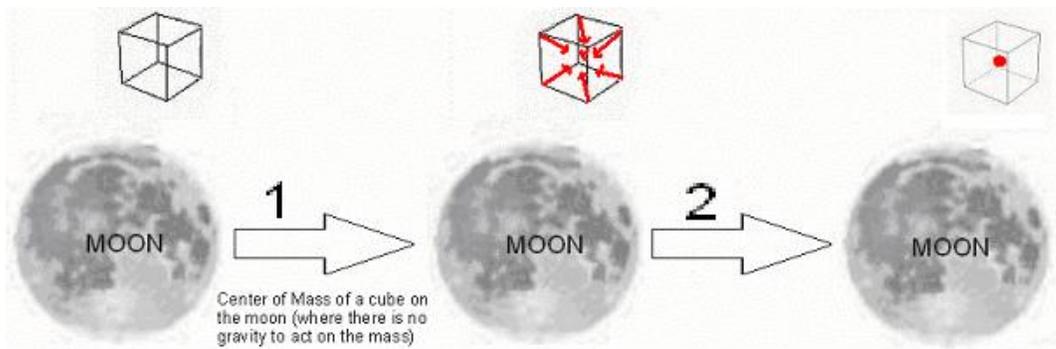


Figura 9: Centro de masa en la luna

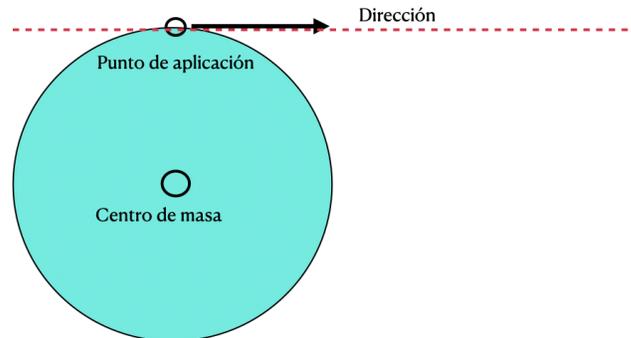


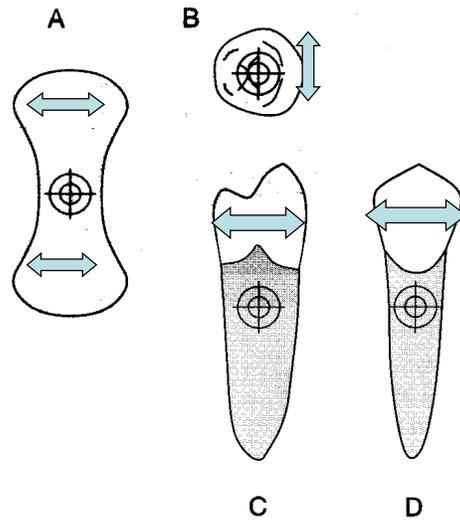
Figura 10: Línea de acción de una fuerza colocada a una distancia del centro de masa.

Si la línea de acción de un cuerpo libre es colocada a una distancia del centro de resistencia, se esperara una combinación de rotación y traslación (figura 10).

5 CENTRO DE RESISTENCIA (CR):

El centro de resistencia es un concepto importante en ortodoncia ya que los dientes no son cuerpos libres, las raíces están aseguradas al hueso alveolar por el ligamento periodontal. El centro de masa y el centro de resistencia no están ubicados en la misma posición. CR se encuentra más apical que el centro de masa. Es un punto matemático en el que se puede pensar que se concentra toda la resistencia al desplazamiento. Los cálculos de los sistemas de

fuerzas en relación con su capacidad para trasladar o rotar se realizan en relación con el centro



de resistencia.

*Figura 11: Localización del centro de Resistencia de acuerdo a varias perspectivas:
A. Radicular, B: Oclusal. C: Labio-lingual, D.: Mesio-Distal*

El centro de resistencia varía con cada diente y según el soporte periodontal presente. Se encuentra aproximadamente a la mitad del nivel de la raíz. (Figura 11)

El centro de resistencia considera todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. Para un diente, incluye fuerzas del ligamento periodontal (PDL), vasos sanguíneos, hueso y tejido conectivo (Fig 12). El centro de resistencia se puede considerar para un solo diente, o para un grupo de dientes o si se han consolidado como una sola unidad de anclaje (por lo tanto, actúan juntos como una masa más grande).

Importancia del Centro de Resistencia: Cuando las fuerzas Cuando se aplican fuerzas sobre los dientes, es imperativo evaluar sus efectos tridimensionales y los movimientos resultantes que ocurrirán una vez que el diente sea sometido a este sistema de fuerza.

5.1 Variabilidad del centro de resistencia en relación al soporte periodontal

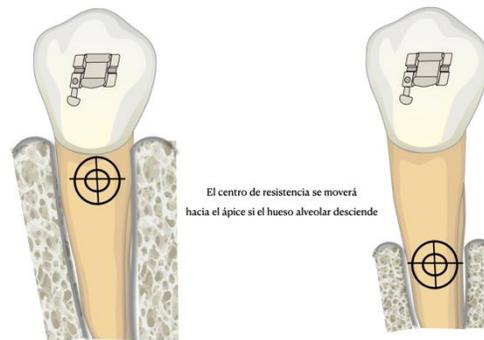
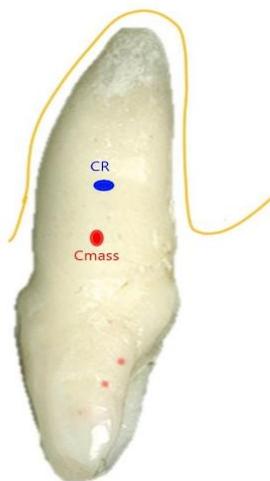


Figura 12: El centro de Resistencia se repositona apicalmente cuando ocurre la perdida vertical de hueso.

Cuando un paciente presenta un soporte periodontal reducido, la cresta del hueso alveolar es más apical. El centro de resistencia del diente se ha movido hacia apical de una manera considerable, y la distancia desde el bracket al centro de resistencia aumenta casi al doble (figura 12). Si se aplica la misma fuerza al soporte en estos dos dientes, resultará un movimiento de ortodoncia diferente. El diente de la derecha tenderá a girar más según la distancia aumentada de la línea de fuerza en el centro de resistencia del diente.

5.1.1 Centro de Resistencia para un solo diente:



El centro de masa siempre se coloca más oclusal que el centro de resistencia debido a la “resistencia” del ligamento periodontal y del hueso dentoalveolar. Como esta resistencia es imposible de cuantificar para cada diente y para cada paciente, el centro de resistencia es un concepto teórico pero puede usarse como un promedio para crear sistemas de fuerza optimizados.

Figura 13: Centro de resistencia (CR) vs Centro de Masa (Cmass) de un diente uniradicular

En los casos en los que el soporte periodontal sea constante, el centro de resistencia de diferentes dientes estará en diferentes niveles. Los caninos superiores tendrán un centro de resistencia más alto mientras que los premolares y los incisivos laterales serán más bajos.

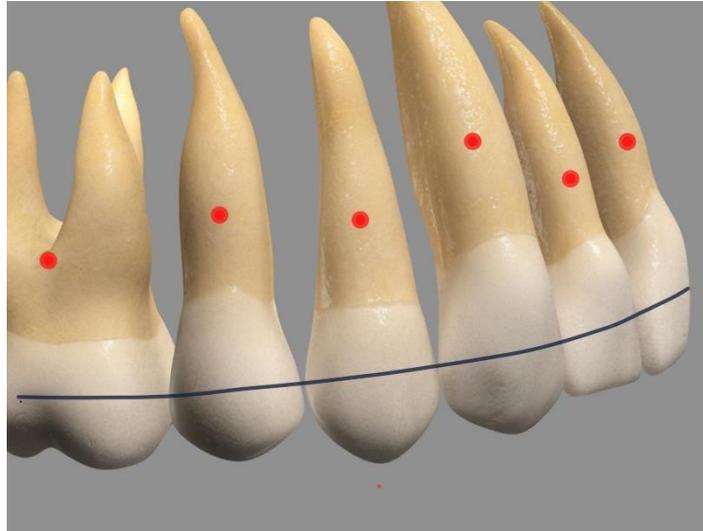


Figura 14: Diferentes posiciones de centro de resistencia (si consideramos el apoyo de los tejidos periodontales normales)

Es evidente, que el centro de resistencia es diferente entre diferentes dientes con diferente longitud de raíz y anatomía, por ejemplo, entre incisivos y molares, o premolares y caninos. Su posición también varía con la altura del hueso alveolar, por lo que sería diferente en un niño que en un adulto con enfermedad periodontal (el centro de resistencia se mueve más apicalmente en adultos con pérdida ósea) (Fig 12). Otra forma de pensar en el centro de resistencia es que es el punto del cuerpo donde una sola fuerza (en este punto) da como resultado una traslación pura (Fig. 15).

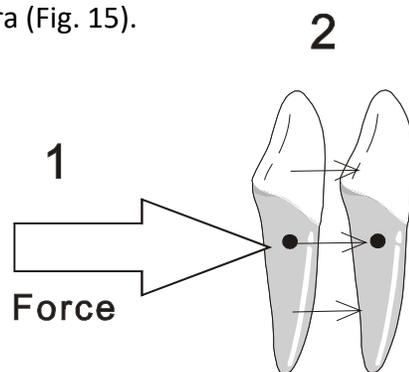


Figura 15: Fuerzas actuando en el centro de Resistencia cuyo resultado es un movimiento de traslación puro.

5.1.2 Centro de Resistencia para un grupo de dientes.

Cuando un grupo de dientes se ligan o consolidan a través de los brackets, se crea un nuevo centro de resistencia y el grupo de dientes ahora se considera como un solo objeto.

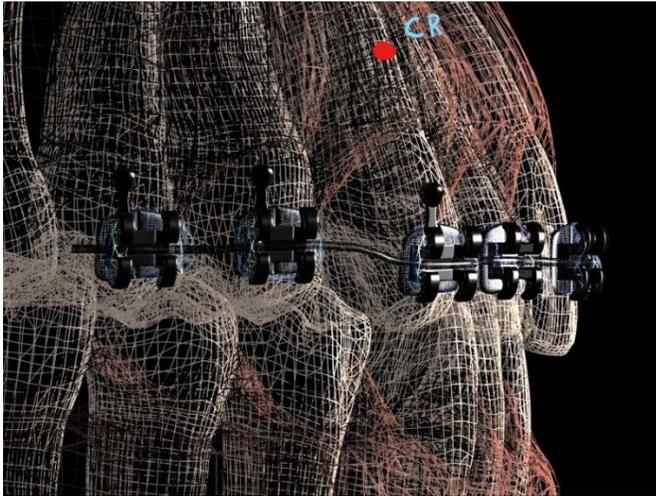


Figura 16: Centro de Resistencia de un grupo de dientes

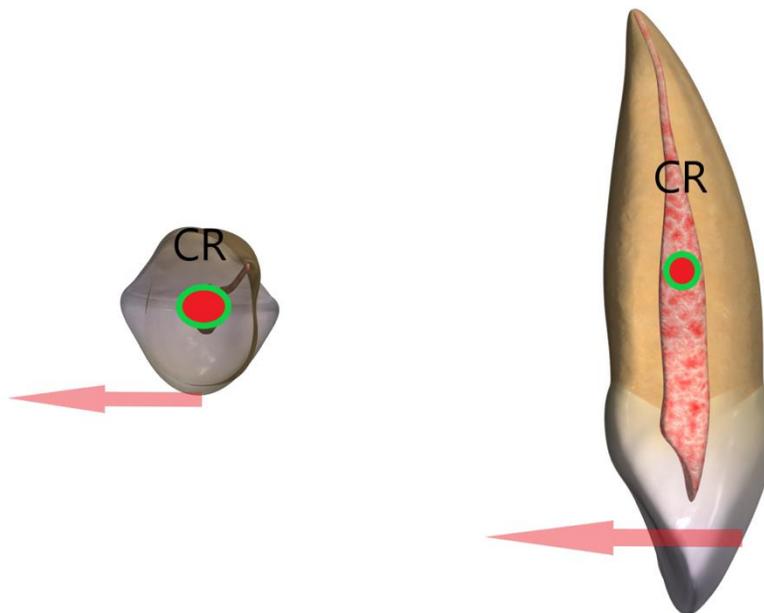


Figura 17: Cuando se aplica una fuerza en el bracket, la línea de fuerza es siempre separada del centro de Resistencia.

5.1.3 Combinación de fuerzas. Resultante de una fuerza o fuerza neta

En ortodoncia, la combinación de fuerzas en los tres planos del espacio se usa con frecuencia y es útil para calcular la fuerza neta (o fuerza resultante). La regla del paralelogramo se usa para calcular la suma de los vectores.

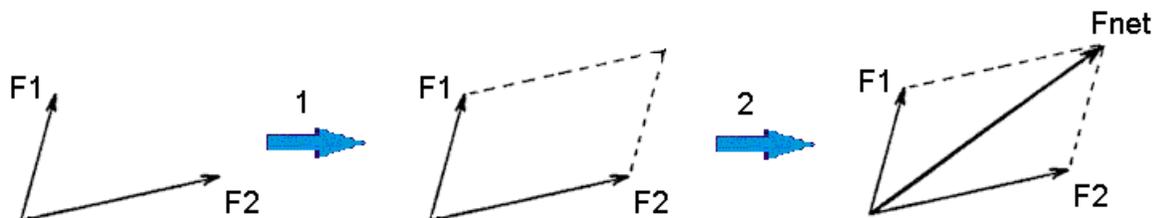


Figura 18. Regla del paralelogramo.

Es importante recordar que la fuerza neta (F_{net}), es la suma vectorial de todas las fuerzas (F_1 y F_2). La regla del paralelogramo nos permite encontrar la fuerza neta: las fuerzas F_1 y F_2 son vectores y tienen magnitud y dirección. Cuando F_1 y F_2 forman un ángulo entre sí, se crea un paralelogramo dibujando los lados adyacentes F_1 y F_2 . La diagonal que atraviesa el paralelogramo es la fuerza resultante F_{net} (Fig. 18). Para calcular la suma de 2 vectores consulte esta URL para obtener explicaciones más detalladas:

<https://www.mathstopia.net/vectors/parallelogram-law-vector-addition>

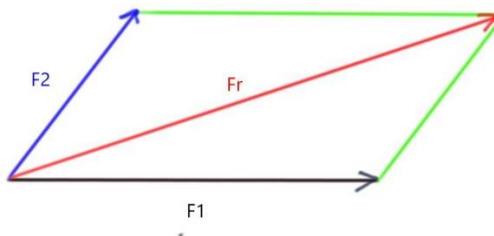


Figura 19: Cálculo de la suma de vectores.

Para calcular la magnitud de la fuerza resultante F_r , usamos la fórmula $F_r = F_1 + F_2$.

Necesitamos extender la línea de acción de F1 para crear un triángulo cuadrado OXR y sumar los ángulos α y β .

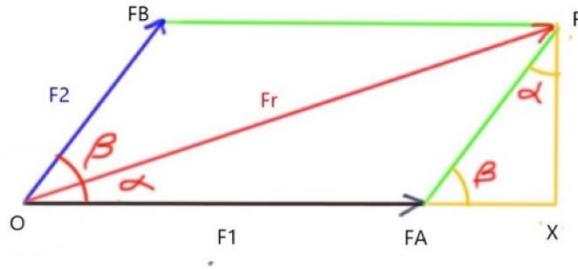


Figura 20: Extensión del paralelogramo.

Calculo de la amplitud de Fr:

$$Fr^2 = OX^2 + RX^2$$

$$OX = OFA + FAX \text{ o}$$

$$Fr^2 = (OFa + FaX)^2 + Rx^2$$

Sabemos que $\cos \beta = \text{lado adyacente al ángulo } \beta / \text{hipotenusa}$

$$FaX/F2 \text{ or } FaX = F2 \cos \beta \text{ y } \sin \beta = Rx/F2 \text{ or } RX = F2 \sin \beta$$

$$Fr^2 = F2 \sin \beta +$$

$$\text{Después de la sustitución de valores: } Fr = \sqrt{F1^2 + 2F1F2 \cos \beta + F2^2}$$

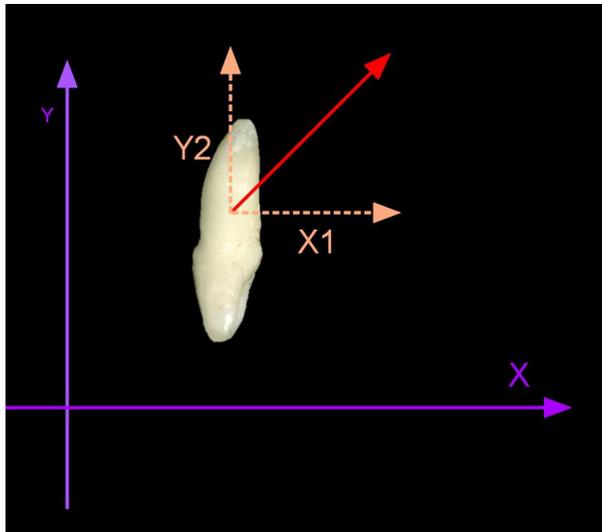


Figura 21: Fuerza resultante (Fnet) con fuerzas a 90 grados.

En el caso en el que colocamos las fuerzas a 90 grados, la ecuación se simplifica y se convierte en: $F_r = \sqrt{X_1^2 + F Y_2^2}$

5 CENTRO DE ROTACIÓN:

El centro de rotación es el punto sobre el que gira el objeto. Esto varía con la ubicación del centro de resistencia y la fuerza aplicada al objeto. La rotación pura ocurre cuando el centro de rotación está en el centro de resistencia. La traslación pura ocurre cuando el centro de rotación está a una distancia infinita del centro de resistencia.

Para ubicar el centro de rotación alrededor del cual ocurre un movimiento de diente de rotación (Fig.22), elija dos puntos aleatorios en el diente (u objeto) y dibuje una línea entre las posiciones antes y después de cada punto. El punto de intersección entre las líneas perpendiculares es el centro de rotación.

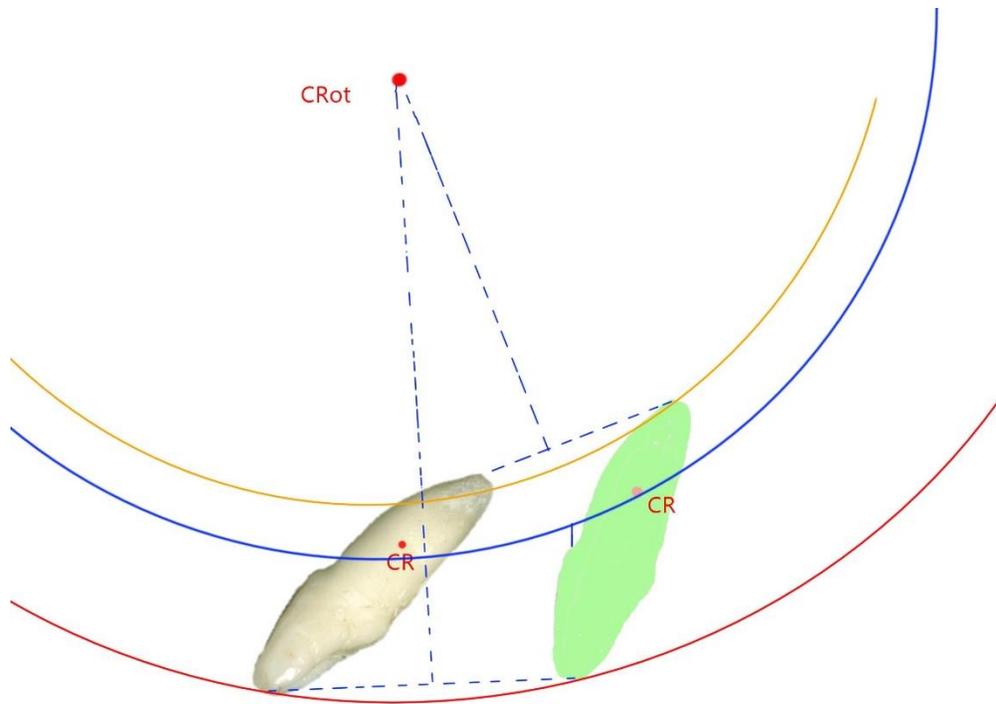


Figura 22: Método para localizar el centro de rotación.

5.1.1 Diagramas de cuerpo libre

Los diagramas de cuerpo libre ayudan a predecir el efecto de diferentes fuerzas que actúan sobre un cuerpo al mismo tiempo (fuerza neta) o para descomponer una fuerza en sus partes componentes. Un ejemplo de un diagrama de cuerpo libre, con F_1 , F_2 y F_{neta} (recuerde la regla del paralelogramo) (Fig 23).

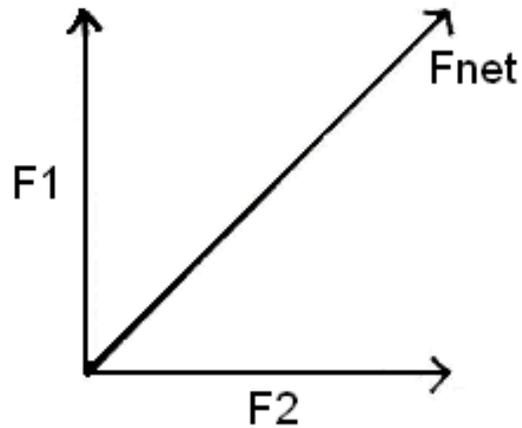


Figura 23: Free body diagram

Un ejemplo clínico del uso de un diagrama de cuerpo libre es con un arco de intrusión y elásticos.

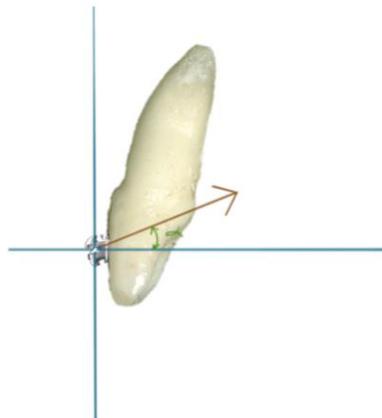


Figura 24: Fuerza simple para intruir y retraer un incisivo superior.

Se aplica una fuerza F . Tiene componentes intrusivos y retrusivos. Si conocemos la magnitud de la fuerza aplicada y su angulación, podemos averiguar la magnitud de las fuerzas intrusivas y retrusivas usando trigonometría simple (figura 24-25).

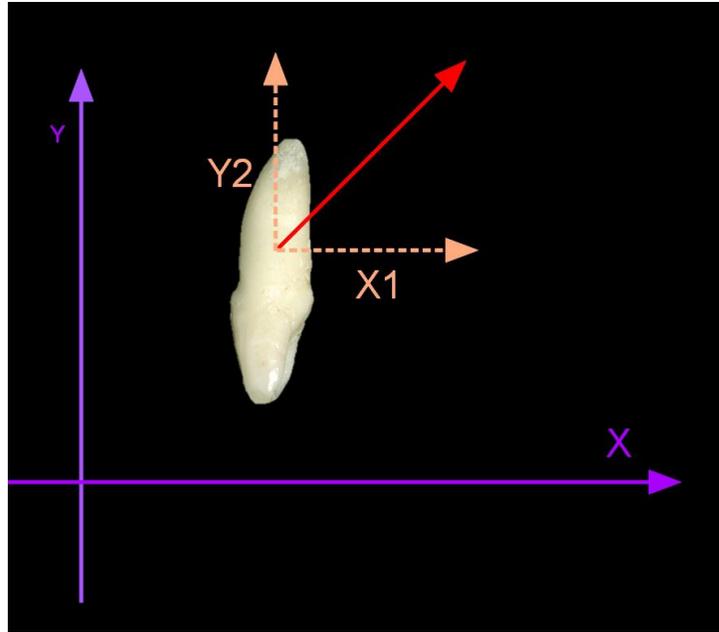


Figura 25: Diagrama de cuerpo libre y las fuerzas aplicadas por un arco extraoral

Si sabemos que $F_{neta} = 500g$, podemos resolver I (fuerza intrusiva) y R (fuerza retrusiva) usando la regla del triángulo rectángulo (Fig 26).

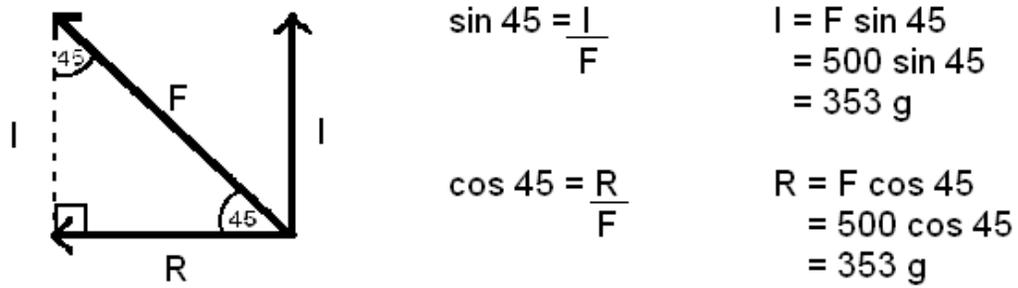
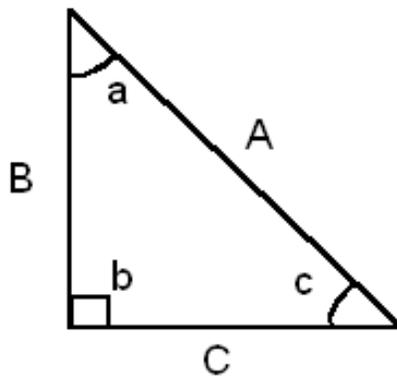


Figura 26: Determinar la resultante de la fuerza intrusiva y extrusiva utilizando la regla del triángulo.

Por lo tanto, una fuerza de 500 g en la dirección de F_{neta} es lo mismo que una fuerza de 353 g en la dirección de I y 353 g en la dirección de R colocada sobre un objeto al mismo tiempo.



$$\sin a = \frac{\text{opposite}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{B}{A}$$

$$\cos a = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{C}{A}$$

$$\tan a = \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} = \frac{B}{C}$$

Figura 21: cálculos trigonométricos.

6 MOVIMIENTOS DEL DIENTE

LOS DIENTES SE MUEVEN EN TRES DIMENSIONES DEL ESPACIO. ES IMPORTANTE TENER EN CUENTA LOS DIFERENTES TIPOS DE MOVIMIENTOS POSIBLES AL PLANIFICAR UN TRATAMIENTO PARA TENER EN CUENTA LOS MOVIMIENTOS DENTALES DESEABLES E INDESEABLES.

6.1 TRANSLACIÓN

Durante la traslación, todos los puntos del cuerpo se mueven en la misma dirección y con la misma magnitud (Fig. 28). El centro de rotación está efectivamente a una distancia infinita del diente simplemente porque no hay rotación.

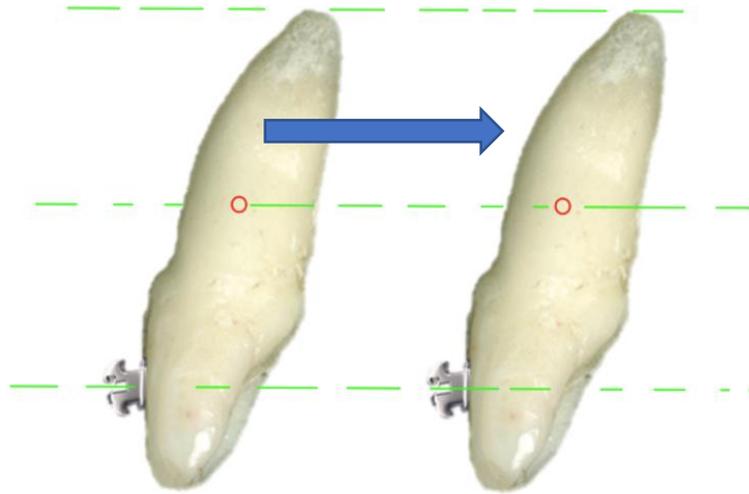


Figura 28: Centro de traslación del incisivo superior

6.2 ROTACIÓN (PURA)

La rotación pura ocurre cuando un cuerpo gira alrededor del centro de resistencia (C_{res}) (es decir, cuando el centro de rotación está en el centro de resistencia (Fig.29).

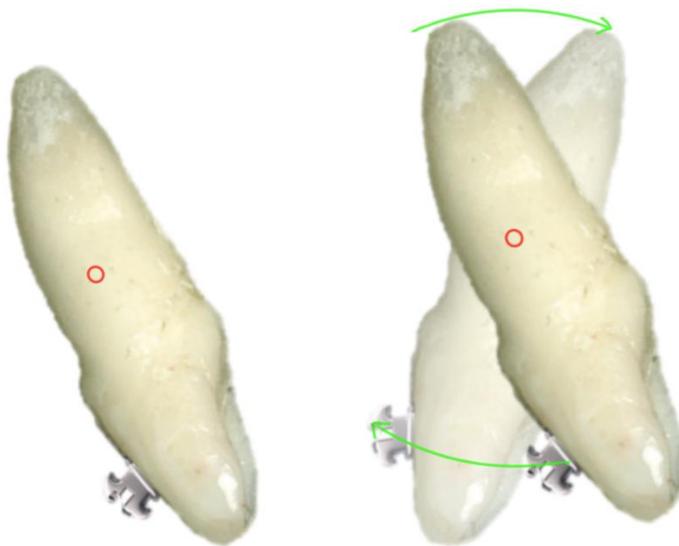


Figura 29: Rotación pura

6.3 TIPPING O INCLINACIÓN

Con la inclinación, el resultado depende de dónde se aplique la fuerza.

- 6.3.1 Inclinación no controlada: Cuando se ejerce una fuerza sobre la corona, la corona se mueve en una dirección, mientras que la raíz se mueve en la otra. En este caso, el centro de rotación está cerca o apical al centro de resistencia, por lo que el diente se inclina o gira alrededor de Cres (Fig. 30).

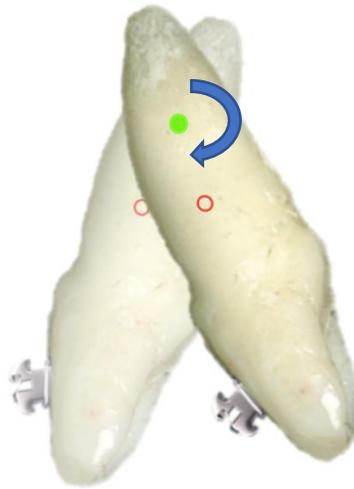


Figura 30: Inclinación (tipping) no controlado

- 6.3.2 Inclinación controlada:

El centro de rotación está en el ápice del diente. Esto implica un momento y una fuerza, y los dientes se inclinan alrededor de la Crot (Fig 31).

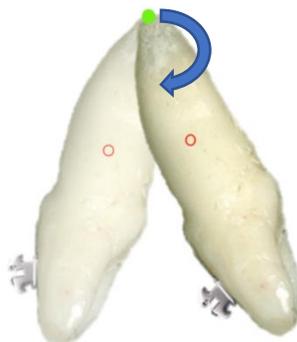


Figura31: Inclinación (tipping) controlada.

A) Por ejemplo, en la corrección de una maloclusión Clase II División I con proclinación anterior maxilar, el uso de inclinación no controlada podría resultar en la perforación de la cortical ósea vestibular, mientras que la inclinación controlada resultará en el movimiento únicamente de la corona, por lo que la raíz no perforará la cortical ósea vestibular.

6.3.3 Movimiento radicular

El movimiento de la raíz ocurre cuando el centro de rotación está justo en o cerca del borde incisal, y la rotación ocurre alrededor de este punto (Fig 32). Por tanto, la corona se desplaza menos que la raíz. Los movimientos de la raíz toman más tiempo debido a la reabsorción ósea requerida para que ocurra el movimiento.

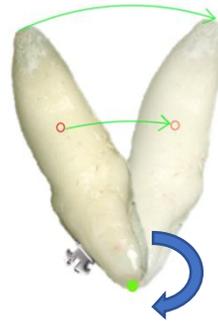
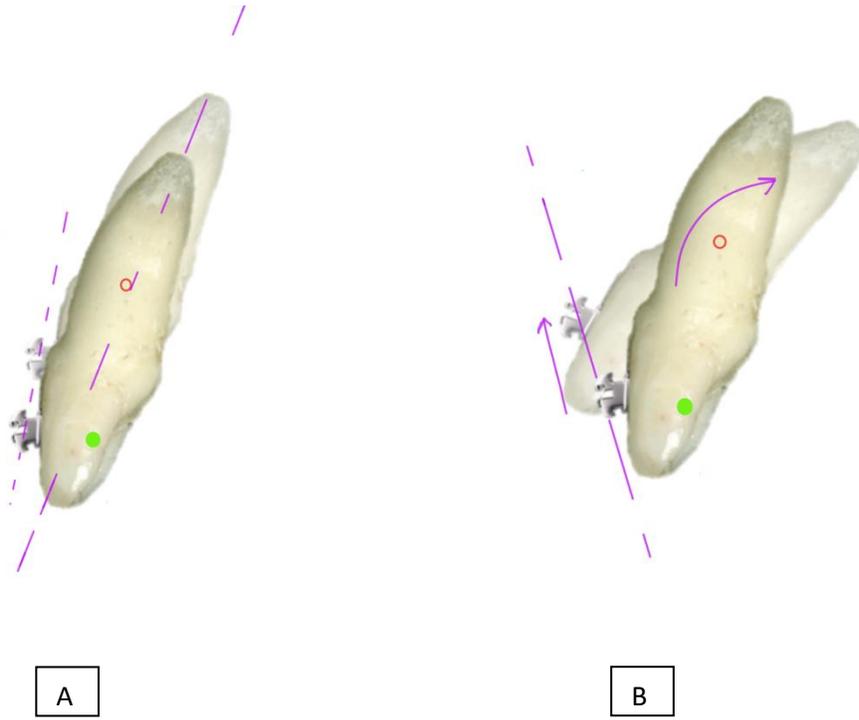


Figura 32: Movimiento radicular.

6.3.4 Intrusión/Extrusión

La intrusión y la extrusión implican un movimiento a lo largo del eje longitudinal del diente (Fig. 33, Fig. 34). Recordemos de la traslación (fig.28), el centro de rotación está en el infinito en este tipo de movimiento (porque no hay rotación). En otras palabras, el diente está girando alrededor de un punto que está a una distancia infinita de tal manera que lo hacemos no provoca rotación, solo un movimiento de traslación o intrusión / extrusión.



A

B

Figura 2: A. Intrusión de un incisivo extruído. B. Intrusión relativa.

Intrusión: En la figura 33A, (en el siguiente ejemplo, no se consideran los efectos indeseables de la intrusión: mientras un diente está intruído, los dientes adyacentes se extruyen a menos que estén anclados. Consulte la discusión sobre anclaje). La intrusión relativa es el resultado de la proclinación y la intrusión (figura 33B) *Extrusión:* En el siguiente ejemplo (Fig. 34), los efectos indeseables de la extrusión no se consideran: mientras se extruye un diente, los dientes adyacentes están ligeramente intruído a menos que estén anclados. (Consulte la discusión sobre el anclaje)

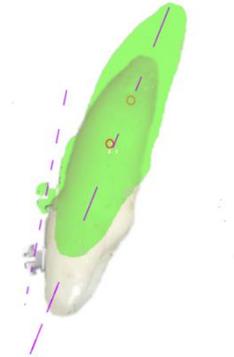


Figura 34: Extrusión de un incisivo intruído.

7 SISTEMAS DE FUERZAS

PARA COMPRENDER CÓMO CREAR LOS MOVIMIENTOS DENTALES DESEADOS, SE DEBEN CONSIDERAR LOS SISTEMAS DE FUERZA. LOS SISTEMAS DE FUERZAS ESTÁN FORMADOS POR UN MOMENTO Y UNA FUERZA, CUYA RELACIÓN DETERMINA EL TIPO DE MOVIMIENTO PRODUCIDO. ÉSTA SECCIÓN CUBRIRÁ EL MOMENTO, LAS CUPLAS, LA RELACIÓN MOMENTO-FUERZA Y LOS MOVIMIENTOS CUANDO LAS FUERZAS Y LOS SISTEMAS SON VARIADOS.

7.1 MOMENTO

El momento es la tendencia de la fuerza sobre un cuerpo a provocar la rotación. Para calcular el momento de una fuerza, multiplique la magnitud de la fuerza y su distancia perpendicular desde el centro de resistencia alrededor del cual ocurre el momento (Fig. 35).

$$M = F \times d$$

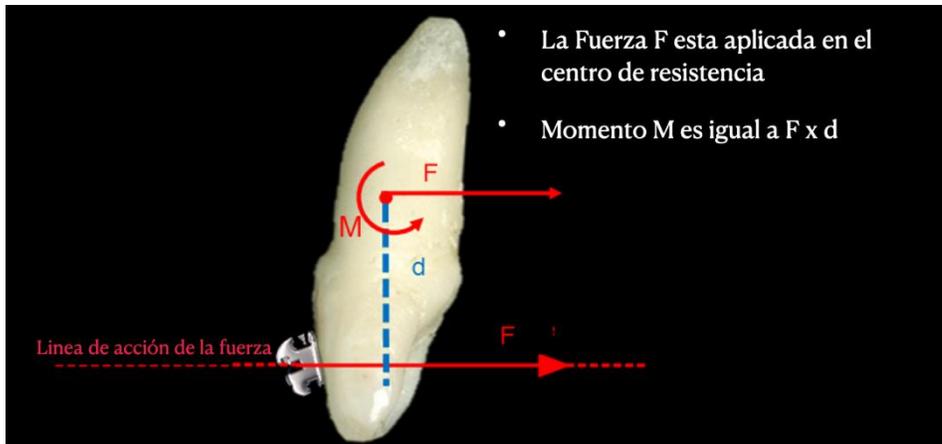


Figura 35: Momento generado por una fuerza aplicada a distancia del centro de resistencia.

7.2 CUPLA O PAR DE FUERZAS

Una cupla o par de fuerzas es un momento puro y ocurre cuando dos fuerzas (F_1 , F_2 iguales y opuestas) están separadas por una distancia perpendicular. Para calcular el momento de la cupla, considere las fuerzas por separado. Ejemplo: F_1 y F_2 no producen efectos de traslación porque tienen direcciones iguales y opuestas; por lo tanto, se cancelan entre sí. Los momentos de las fuerzas no se cancelan entre sí porque producen una rotación en la misma dirección (imagine la rotación alrededor del centro de resistencia cuando se aplican fuerzas desde F_1 y F_2). Para encontrar el momento total en el sistema, agregue los momentos; esta es una cupla. La cupla es independiente de dónde se apliquen las fuerzas en el cuerpo (o diente). Considere el siguiente ejemplo de cupla de fuerzas (Fig 36)

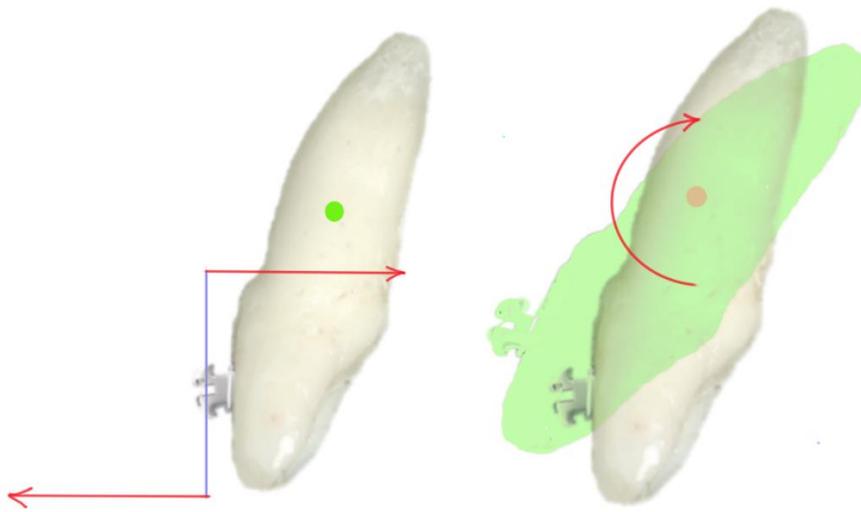


Figura 36: Cupla o par de fuerzas: ejemplo 2.

Dado que la cupla es independiente de dónde actúan las fuerzas sobre el cuerpo, se puede obtener el mismo resultado que en el ejemplo anterior colocando las fuerzas F1 y F2 en una nueva ubicación (las nuevas ubicaciones en el siguiente ejemplo son más biológica y clínicamente seguras).

En conclusión, no importa dónde esté actuando una cupla sobre un diente, el momento neto en este sistema será igual a una fuerza multiplicada por la distancia entre las fuerzas.

7.3 PROPORCION MOMENTO/ FUERZA

La razón o proporción momento-fuerza combina los movimientos de traslación y rotación. La proporción está determinada por la cantidad de la fuerza multiplicada por la distancia perpendicular al centro de resistencia de un diente o un grupo de dientes (Fig 37). Los siguientes ejemplos demuestran la inclinación controlada de un diente mediante movimientos combinados de traslación y rotación (fuerza y momento simples) (Fig. 38, Fig. 39).

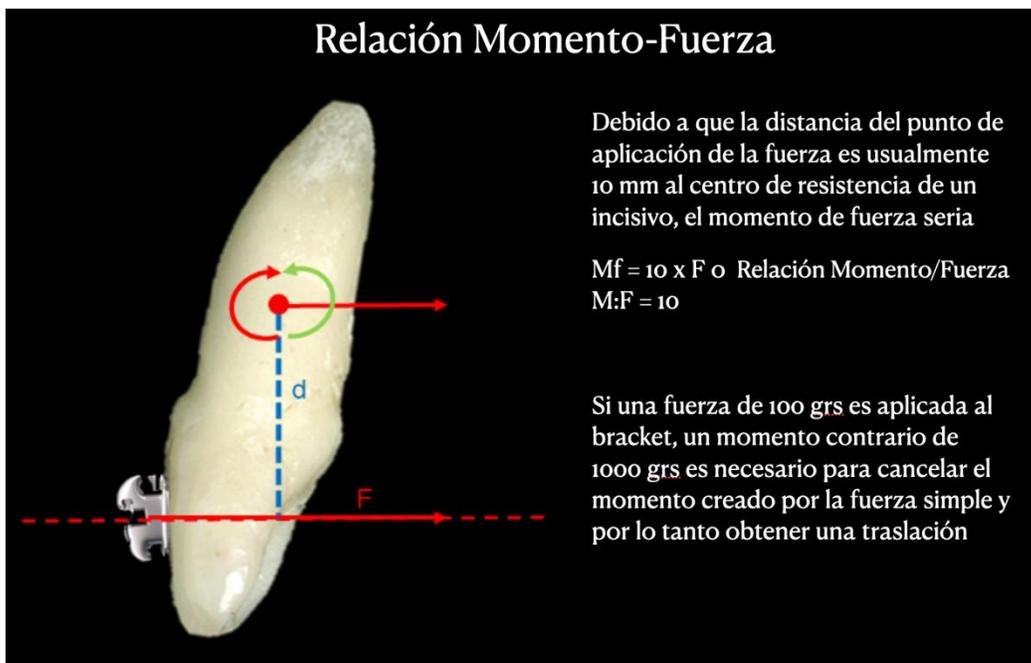


Figura 37: Momento de fuerza por traslación.

Controlled Tipping:
 If we want the following movement:

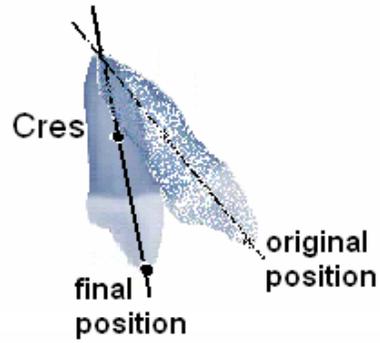
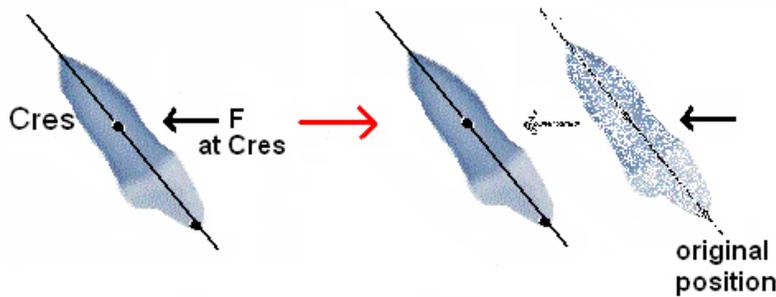


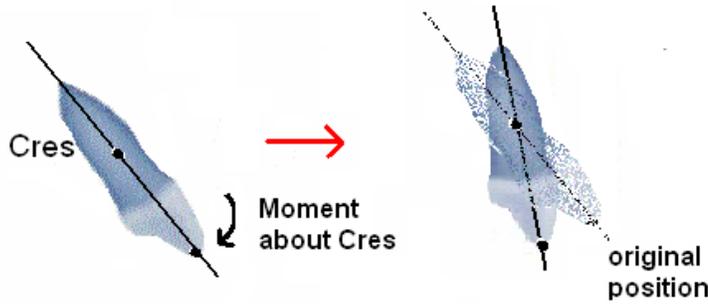
Figura 38: Movimiento deseado.

Break up the movement into its translation and rotation component parts

Translation:



Rotation:



Result:

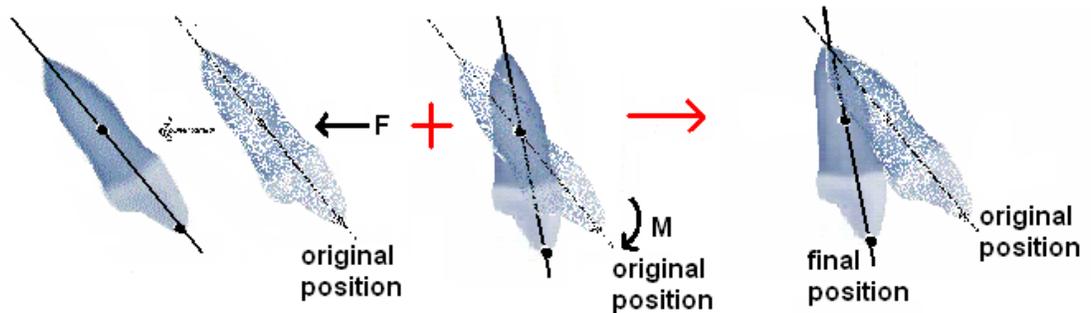


Figura 39: Combinación de traslación y rotación para lograr una inclinación controlada.

Al cambiar la relación M/F , se pueden producir diferentes centros de rotación. La Figura 40 muestra los efectos de cambiar la relación M/F en la inclinación controlada. Si la razón M/F disminuye (M es

constante o disminuye, y F aumenta), entonces obtiene más movimiento de traslación porque el centro de rotación va hacia el apice del diente (en otras palabras, lejos del Centro de Resistencia, hacia el infinito). Si la razón M/F aumenta por un incremento de M o una disminución de la fuerza, habrá más rotación ya que el centro de rotación se moverá hacia el centro de resistencia (en otras palabras, se moverá más incisal desde su posición anterior).

Consider:

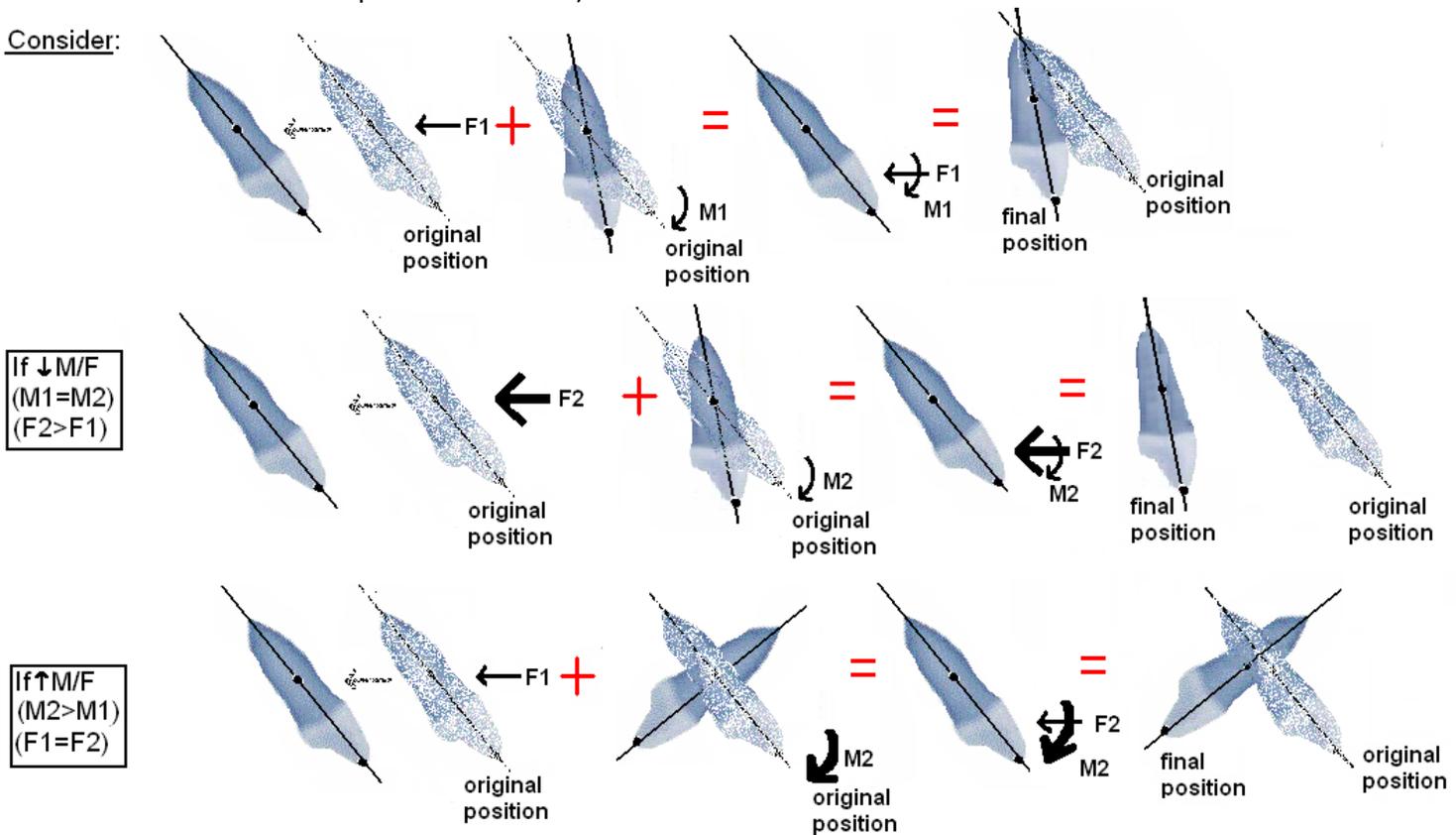
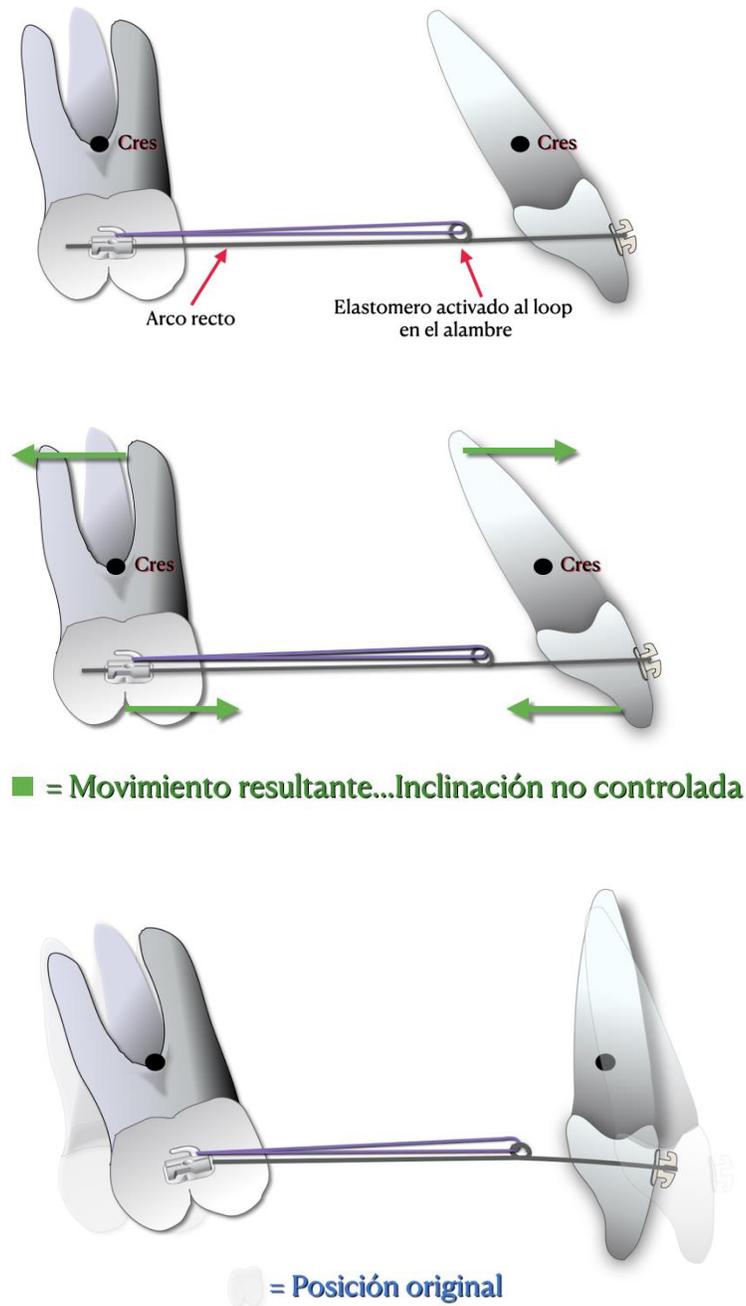


Figura 40: Efectos de cambiar la razón momento fuerza (M/F).

7.4 MOVIMIENTOS CUANDO LAS FUERZAS Y LOS SISTEMAS VARÍAN

Podemos aplicar el conocimiento aprendido en la sección de sistemas de fuerzas equivalentes a un ejemplo de la vida real, como la retracción de los incisivos. Usando un molar como anclaje, no podemos simplemente colocar un alambre recto entre el incisivo y el molar y usar un loop en el alambre con un elástico para retrair los incisivos, ya que esta situación resultará en una

inclinación no controlada de ambos dientes (el Centro de Rotación estará en el Centro de Resistencia).



(Figura 41)

Figura 41: Retracción de un incisivo utilizando un elástico y un arco con loop, con inclinación descontrolada como resultado.

Para controlar el movimiento, necesitamos agregar un momento en la corona para contrarrestar el momento creado por la fuerza y producir un movimiento de traslación lo más puro posible (recuerde nuevamente los sistemas de fuerza equivalentes). Podemos crear un momento en la corona del diente doblando el alambre en una ubicación tal que haya una tendencia del diente a inclinarse (de manera controlada) cuando el alambre esté en su lugar. El siguiente ejemplo ilustra este concepto (Fig 42).

Para producir un momento y una fuerza, es necesario realizar un doblar en el alambre

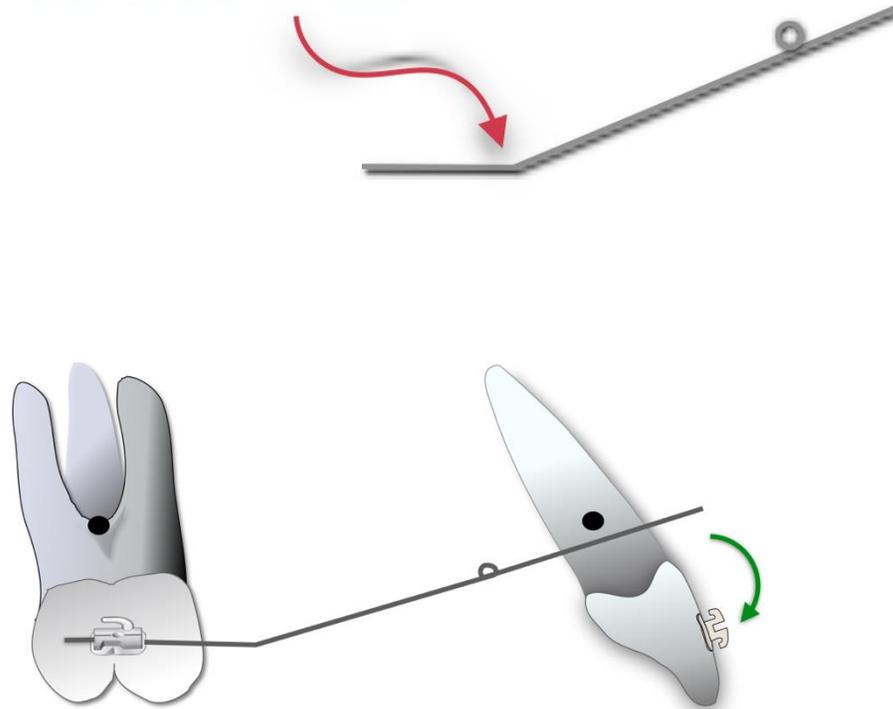


Figura 42: Generando un momento con un dobles del arco, así como así como la aplicación de fuerza en el arco con loop.

Para que el alambre encaje en la ranura del bracket en el incisivo, el alambre debe ser ligeramente forzado en su lugar. Una vez que está en su lugar con el elástico, ejerce las siguientes fuerzas sobre los dos dientes en cuestión (F_m , M_m son la fuerza y el momento sobre el molar; F_i , M_i son la fuerza y el momento sobre el incisivo).

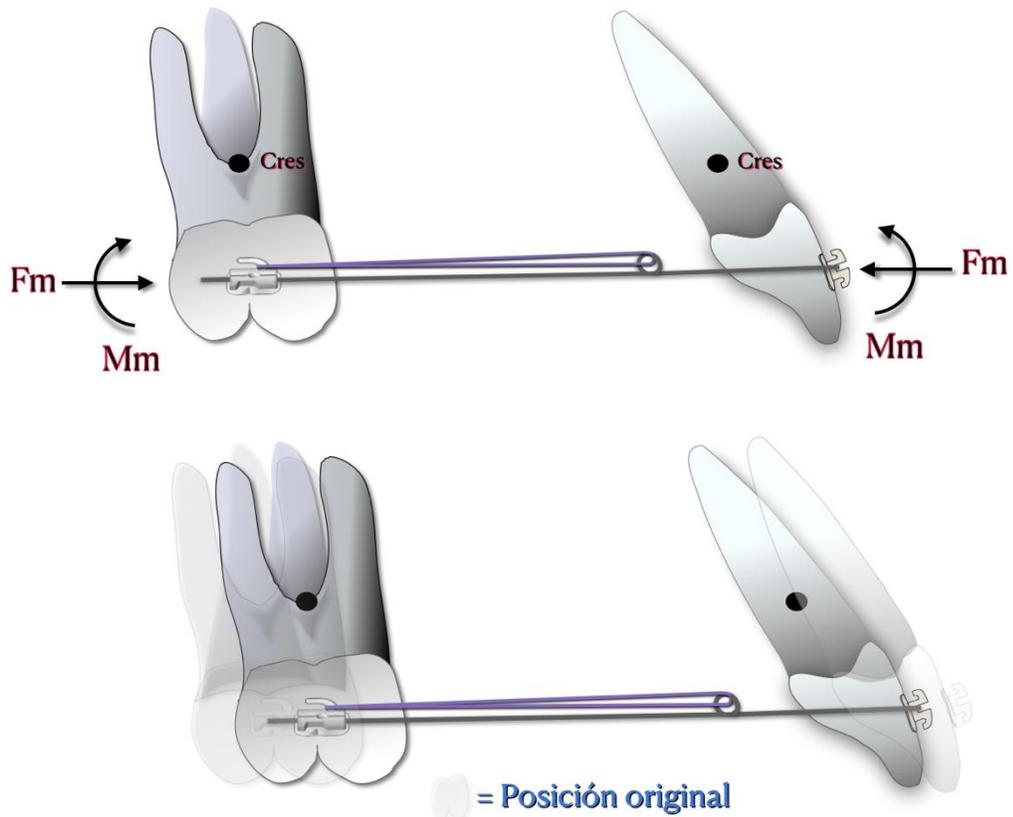


Figura 43: Generación de movimiento con un dobles y loop en un arco para retracción del incisivo (la inclinación es controlada y minimizada).

Este ejemplo demuestra que ajustando la relación M/F, podemos producir un efecto de traslación deseado (Fig. 43). Esta relación M/F se puede ajustar según el objetivo en mente (es posible que desee dar alguna inclinación). La relación M/F se puede ajustar en consecuencia, y si hay control de los movimientos, se logrará el objetivo. La relación M/F se ve afectada no sólo por la colocación de un elástico y una curva en el alambre. El tipo de elástico afectará la magnitud de la fuerza aplicada al sistema. Además, el tipo de alambre (redondo o cuadrado), así como su diámetro influirán en la relación M/F. Si se usa un alambre redondo en lugar de un alambre cuadrado, habrá una inclinación no controlada, ya que el diente puede girar alrededor del alambre (el bracket tiene una ranura cuadrada mientras que el alambre es redondo) (Fig 44). Por otro lado, si se usa un alambre cuadrado, el alambre llenará la ranura del bracket (cuadrado en cuadrado) (Fig 45). Como resultado, hay un momento que se crea a medida que se retrae el diente que contrarrestará el momento que habría causado una inclinación no controlada. Además, el tamaño del alambre también afectará el resultado. Un alambre más pequeño se deformará más que un alambre con mayor diámetro, por lo tanto, los movimientos

en cuerpo de los dientes se realizan mejor con alambres más grandes, ya que se deflexionarán menos y mantendrán su forma, guiando así el movimiento.

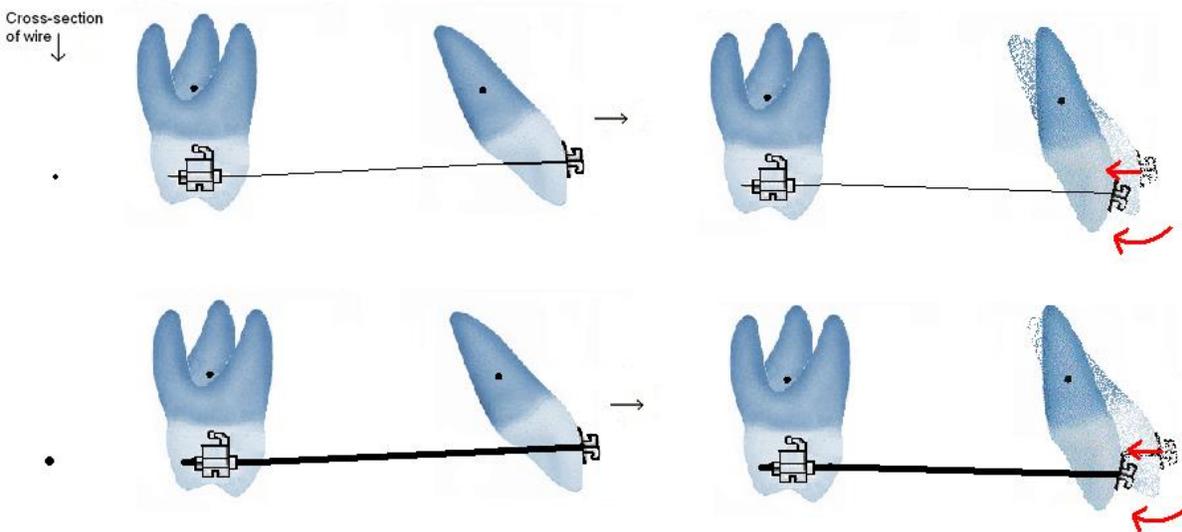


Figura 44: Mecánica de deslizamiento (retracción de canino) con arco redondo con dos arcos de diferentes diámetros.

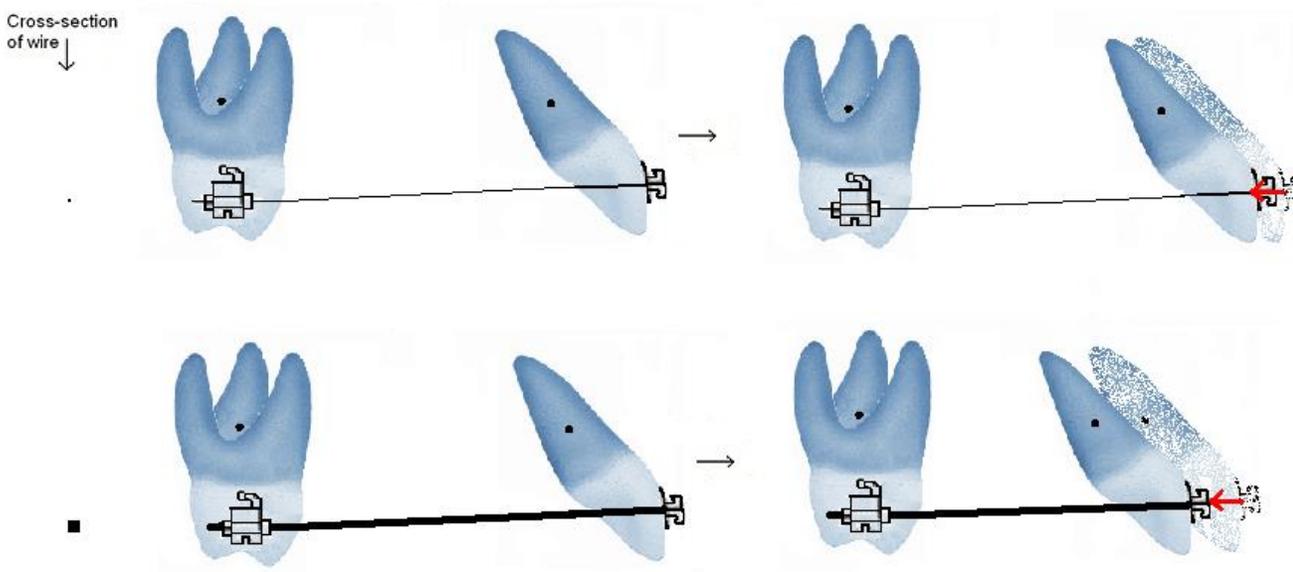


Figura 45: Mecánica de deslizamiento (retracción de caninos) con arcos rectangulares de diferentes diámetros.

7.5 SISTEMAS DE FUERZAS EQUIVALENTES

El problema con los sistemas de fuerza descritos anteriormente es que estas fuerzas son a menudo colocadas en el centro de la resistencia. Es imposible colocar un bracket en el centro

de resistencia ya que está en la superficie de la raíz. La solución a este problema es considerar sistemas de fuerzas equivalentes. Los sistemas de fuerzas equivalentes son cuando dos sistemas de fuerzas son iguales en las tres dimensiones (x, y, z), tienen momentos iguales y producen el mismo efecto en el objeto (o diente). En ortodoncia, los sistemas de fuerza equivalentes producen el mismo efecto si el sistema de fuerza se coloca en el centro de resistencia o en el nivel de la corona (bracket/ tubo).



A

Figura 46: Ejemplo de sistemas de fuerza equivalentes.

¿Qué tipo de sistema de fuerza producirá en B el mismo efecto (traslación) que, en A, donde el sistema de fuerza en B se aplica en la corona del diente en lugar de en el centro de resistencia como en A (Fig 46)? Usando los conceptos discutidos anteriormente, así como la relación de momento-fuerza, podemos resolver este problema.

Ⓐ

$$F_1 = -300g$$

$$M = 0$$

Ⓑ

$$F_2 = -300g$$

$$d = 120 \text{ mm}$$

$$M = F_2 \times d = -3000 \text{ g mm}$$

Este es el momento producido por la F_2 en la corona del diente

F_2 por sí solo produciría una inclinación no controlada del diente, ya que hay un momento en el diente y el diente gira alrededor del centro de resistencia (Crot = Cres). Por lo tanto, para producir un movimiento de traslación en el Sistema B que sea equivalente al Sistema A, se requiere un momento en la corona que sea en la dirección opuesta al momento de F_2 solo, de modo que el momento neto en el Sistema B sea cero (como en Sistema A). Por tanto, el momento es $M = + 3000g \text{ mm}$.

Ejemplo: considere el sistema de fuerza equivalente requerido para el movimiento de la raíz (Fig 47).

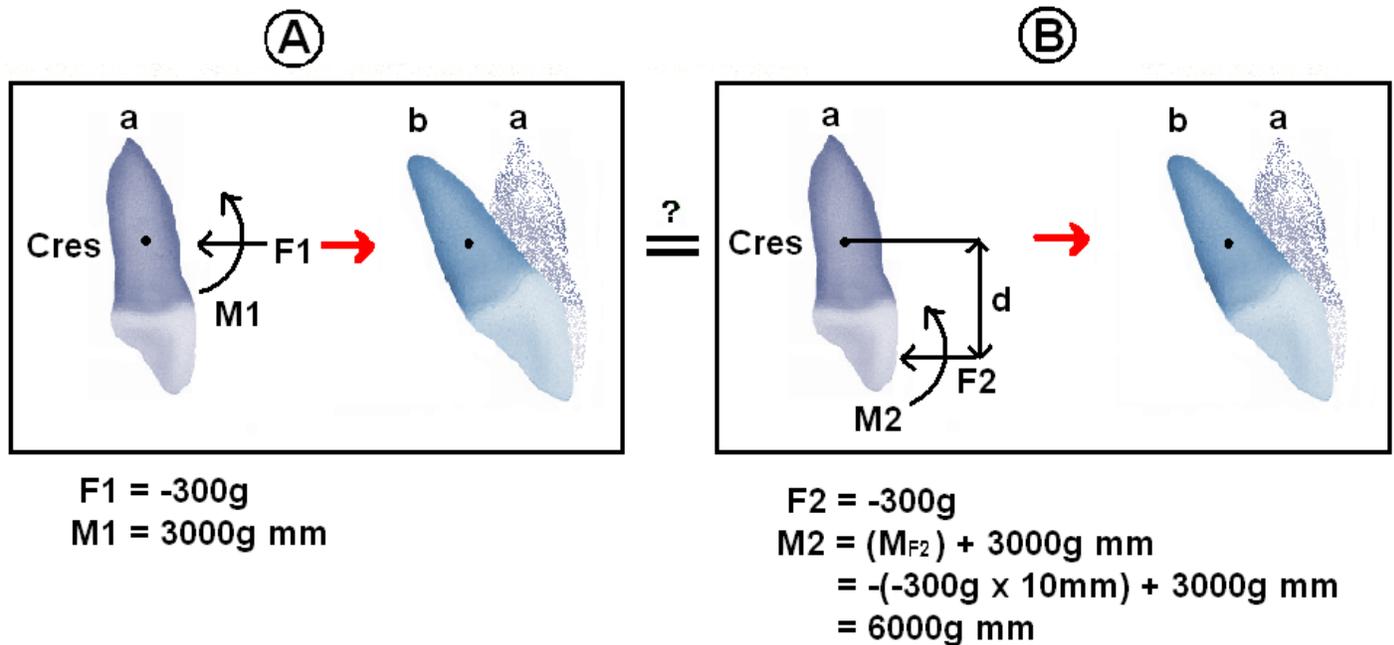


Figura 47: Cálculos necesarios para determinar los sistemas de fuerzas equivalentes para el movimiento radicular.

En este ejemplo, el sistema A tiene una fuerza y un momento que actúan en el centro de resistencia para producir el movimiento de raíz deseado. En el Sistema B, hay un Momento asociado con la Fuerza F2 (ya que F2 se aplica en la corona y no en el centro de resistencia), que debe contrarrestarse para controlar el centro de rotación. Para producir una inclinación adicional controlada del diente, se coloca un momento adicional en el diente para que se obtenga un resultado equivalente en el Sistema B, como en el Sistema A.

Algunas sugerencias para controlar el movimiento,

* Es mejor cambiar el momento, no la fuerza.

- a) Para una inclinación controlada, disminuya el momento (disminuya M/F)
- b) Para la traslación, ajuste el momento para que tenga un sistema de fuerza equivalente
- c) Anclar la corona para el movimiento de la raíz (es decir, aumentar el momento)
- d) La traslación no ocurrirá simplemente aumentando la fuerza sobre el objeto.

El M/F en el centro de la resistencia determina el efecto sobre el Ligamento Periodontal (LPD). En el área de tensión del LPD (lejos de la dirección del movimiento del diente), se genera hueso y se reabsorbe el hueso debajo del área del LPD comprimida (hacia la dirección del movimiento del diente).

- 8 NO OLVIDE QUE LA MAGNITUD DEL M/F DEPENDERÁ DE LA LONGITUD DE LA RAÍZ/ TOPOGRAFÍA ÓSEA (PORQUE LA DISTANCIA DESDE EL BRACKET AL CENTRO DE RESISTENCIA PUEDE CAMBIAR). POR EJEMPLO, LOS DIENTES MÁS CORTOS REQUIEREN UN M/F MÁS BAJO PARA LA TRASLACIÓN EN COMPARACIÓN CON LOS DIENTES MÁS LARGOS.

9 ANCLAJE

El anclaje en ortodoncia es una consideración importante ya que proporciona resistencia a movimientos dentales no deseados. La tercera ley de Newton es vital para la discusión del anclaje. Recuerde que cada acción tiene una reacción igual y opuesta. Por lo tanto, el sistema de fuerza que se utiliza para mover los dientes tendrá una reacción igual y opuesta en el sistema de anclaje. El anclaje puede ser intra-arco, inter-arco o extraoral, cada uno de los cuales proporciona diferentes magnitudes de estabilidad o resistencia a movimientos indeseables. Los dientes, el paladar, la neuromusculatura, los implantes y las estructuras extraorales pueden servir de anclaje. La cantidad de anclaje que se requiere depende del plan de tratamiento. Por ejemplo, para cerrar un espacio de extracción, existen básicamente tres opciones; retraer únicamente el segmento anterior (los dientes posteriores están anclados en su lugar), retraer los dientes anteriores y avanzar los posteriores, o avanzar únicamente los dientes posteriores. El anclaje máximo se puede lograr con el uso de implantes (micro, mini, palatino) y aparatos extraorales (arco extraoral). El anclaje máximo ocurre cuando la unidad de anclaje no se mueve mientras se mueven los dientes o el grupo de dientes. Esto es difícil de lograr con aparatos intraorales solos (sin implantes) porque siempre existe una respuesta dentoalveolar que afecta a las unidades de anclaje. Un ejemplo de un aparato intraoral que proporciona mucho anclaje (aunque no tanto como otras configuraciones de anclaje máximo) es el aparato interarco de Herbst.

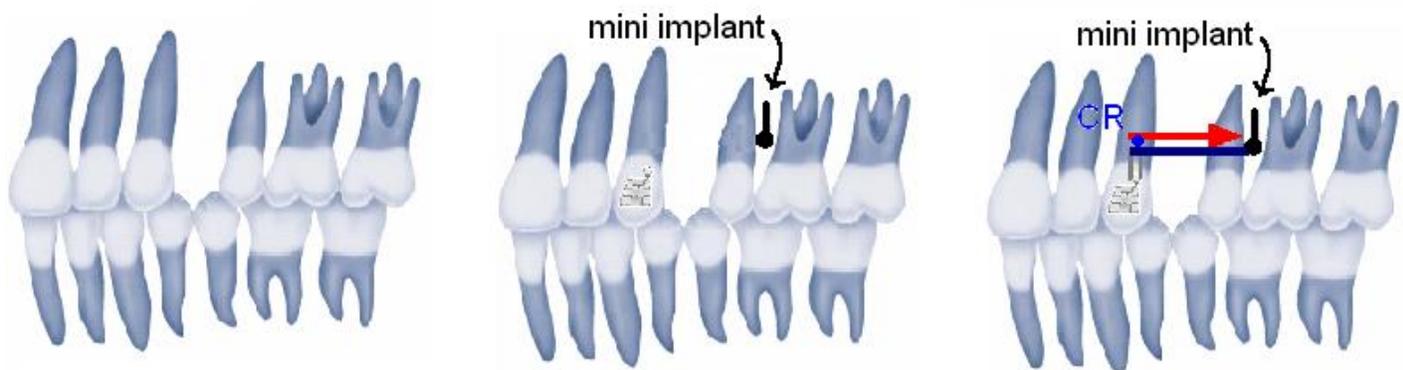


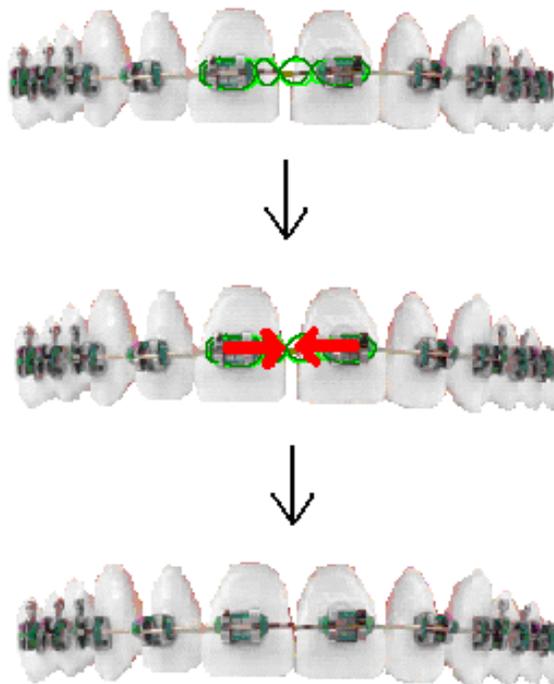
Figura 48: Uso de miniimplantes para retracción del canino.

El uso de microimplantes se está volviendo más popular en ortodoncia. El siguiente ejemplo muestra cómo se puede distalizar en cuerpo un canino utilizando un microimplante (Fig. 48). En este caso, el movimiento distal del cuerpo se produce porque la fuerza está más cerca del centro de resistencia. Tenga en cuenta que con los implantes (especialmente aquellos en la

superficie vestibular del hueso alveolar) hay un movimiento indeseable hacia otro plano (hacia vestibular). Esto se puede minimizar mediante el tipo de alambre utilizado en el sistema (consulte la discusión sobre alambres).

El anclaje moderado ocurre cuando la unidad de anclaje se puede desplazar, pero menos que los dientes que se están moviendo. El anclaje moderado generalmente se logra con un aparato o grupo de dientes de soporte intraoral. También se pueden utilizar combinaciones de anclaje máximo y moderado. Por ejemplo, en un caso de extracción de un segundo premolar, donde estamos intentando distalizar el primer premolar, pero queremos evitar la mesialización del primer molar, podemos anclar el primer molar al segundo molar. Si estuviéramos tratando de retraer todo el segmento anterior, se requeriría un anclaje adicional y se podría agregar un arco extraoral. El anclaje de un sistema se puede incrementar ya sea aumentando el número de dientes ligados entre sí o agregando anclaje extraoral, dependiendo de los resultados deseados del tratamiento.

Una situación que no tiene anclaje es el movimiento recíproco, como el cierre de un diastema



(Fig 49).

Figura 49: Movimiento recíproco para el cierre de un diastema.

9.1 APLICACIONES

9.1.1 Retracción del canino

Para cerrar los espacios de extracción después de la extracción de los premolares, una opción es retraer el canino inicialmente seguido de los incisivos, o también se puede considerar la retracción en masa de los seis dientes anteriores. Para demostrar la biomecánica de la retracción, este ejemplo utilizará la retracción de caninos. El diente se somete a una fuerza distal o de retracción a lo largo del arco de alambre. Dado que la fuerza es oclusal al centro de resistencia, hay un movimiento de inclinación del diente. Este movimiento de inclinación se contrarresta con una cupla creada por la relación del bracket y el arco, lo que da como resultado un pequeño cambio en la angulación del eje longitudinal del diente. Esta cupla depende, por supuesto, del tamaño y la forma de la sección transversal del arco de alambre. El arco debe llenar la ranura del bracket para que se produzca la cupla y contrarreste la tendencia a la inclinación. El resultado de esta acción será la retracción del canino, el cierre completo de espacios y el paralelismo radicular de los dientes involucrados.

9.1.2 Extrusión para alargamiento de la corona clínica y colocación de implante.

Las aplicaciones clínicas de los movimientos dentales forman parte de la ortodoncia, pero también forman parte de otras especialidades. Por ejemplo, si queremos aumentar la longitud de la corona clínica de un diente en una situación en la que no podemos realizar un procedimiento periodontal para lograr nuestro objetivo (por ejemplo, en el área anterior estéticamente sensible), la extrusión ortodóncica puede ser una opción. La extrusión de ortodoncia puede ser tanto rápida como lenta, según los objetivos del tratamiento y según la mecánica (fuerzas) del aparato de ortodoncia utilizado. Por ejemplo, la extrusión de ortodoncia se puede utilizar para preparar un sitio para un implante.

10 LECTURAS SUGERIDAS

Andrews, L. F. (1979). "The straight-wire appliance." British Journal of Orthodontics **6**(3): 125-143.

Antoszewska, J. and N. Küçükkeles (2011). Biomechanics of Tooth-Movement: Current Look at Orthodontic Fundamental, INTECH Open Access Publisher.

Barlow, M. and K. Kula (2008). "Factors influencing efficiency of sliding mechanics to close extraction space: a systematic review." Orthodontics & craniofacial research **11**(2): 65-73.

Beertsen, W., C. A. McCulloch and J. Sodek (1997). "The periodontal ligament: a unique, multifunctional connective tissue." Periodontology 2000 **13**(1): 20-40.

Begg, P. R. (1954). "Stone Age man's dentition: with reference to anatomically correct occlusion, the etiology of malocclusion, and a technique for its treatment." American Journal of Orthodontics **40**(4): 298-312.

Bridges, T., G. King and A. Mohammed (1988). "The effect of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **93**(3): 245-250.

Brudvik, P. and P. Rygh (1993). "The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament." The European Journal of Orthodontics **15**(4): 249-263.

Burstone, C. J. (1962). "Rationale of the segmented arch." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **48**(11): 805-822.

Burstone, C. J. (2011). "Application of bioengineering to clinical orthodontics." Orthodontics-E-Book: Current Principles and Techniques: 345.

Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1974). "Force systems from an ideal arch." American journal of orthodontics **65**(3): 270-289.

Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1988). "Creative wire bending—the force system from step and V bends." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **93**(1): 59-67.

Burstone, C. J. and R. J. Pryputniewicz (1980). "Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces." American journal of orthodontics **77**(4): 396-409.

Cahill, D. R. and S. C. Marks (1980). "Tooth eruption: evidence for the central role of the dental follicle." Journal of Oral Pathology & Medicine **9**(4): 189-200.

Cai, Y., X. Yang, B. He and J. Yao (2015). "Finite element method analysis of the periodontal ligament in mandibular canine movement with transparent tooth correction treatment." BMC oral health **15**(1): 106.

Caputo, M., C. Di Luzio, A. Bellisario, F. Squillace and M. L. Favale (2017). "Evaluation Of The Effectiveness Of Clear Aligners Therapy In Orthodontic Tooth Movement."

Castroflorio, T., F. Garino, A. Lazzaro and C. Debernardi (2013). "Upper-incisor root control with Invisalign appliances." J Clin Orthod **47**(6): 346-351.

Chen, G., F. Teng and T.-M. Xu (2016). "Distalization of the maxillary and mandibular dentitions with miniscrew anchorage in a patient with moderate Class I bimaxillary dentoalveolar protrusion." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **149**(3): 401-410.

Choy, K., E.-K. Pae, K.-H. Kim, Y. C. Park and C. J. Burstone (2002). "Controlled space closure with a statically determinate retraction system." The Angle Orthodontist **72**(3): 191-198.

Cobo, J., A. Sicilia, J. Argüelles, D. Suárez and M. Vijande (1993). "Initial stress induced in periodontal tissue with diverse degrees of bone loss by an orthodontic force: tridimensional analysis by means of the finite element method." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **104**(5): 448-454.

Cope, J. (2011). "An interview with Jason Cope." Dental Press Journal of Orthodontics **16**(2): 36-46.

Epstein, M. B. (2002). Benefits and rationale of differential bracket slot sizes: the use of 0.018-inch and 0.022-inch slot sizes within a single bracket system.

Fiorelli, G., B. Melsen and C. Modica (2001). "Differentiated orthodontic mechanics for dental midline correction." Journal of clinical orthodontics: JCO **35**(4): 239.

Garino, F., T. Castroflorio, S. Daher, S. Ravera, G. Rossini, G. Cugliari and A. Deregibus (2016). "Effectiveness of composite attachments in controlling upper-molar movement with aligners." J Clin Orthod **50**(6): 341-347.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values. Part I." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **107**(4): 434-443.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values: part II." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **107**(5): 541-547.

Geramy, A., K. Tanne, M. Moradi, H. Golshahi and Y. Farajzadeh Jalali (2016). "Finite element analysis of the convergence of the centers of resistance and rotation in extreme moment-to-force ratios." Int Orthod **14**(2): 161-170.

Geron, S., R. Romano and T. Brosh (2004). "Vertical forces in labial and lingual orthodontics applied on maxillary incisors—a theoretical approach." The Angle Orthodontist **74**(2): 195-201.

Giancotti, A. and A. A. Gianelly (2001). "Three-Dimensional Control in Extraction Cases Using a Bidimensional Approach." World Journal of Orthodontics **2**(2).

Giancotti, A., P. Mozzicato and M. Greco (2012). "En masse retraction of the anterior teeth using a modified bidimensional technique." Journal of Clinical Orthodontics **46**(5): 267.

Jacobs, R. and D. v. Steenberghe (1994). "Role of periodontal ligament receptors in the tactile function of teeth: a review." Journal of periodontal research **29**(3): 153-167.

Kim, S.-J., J.-W. Kim, T.-H. Choi and K.-J. Lee (2014). "Combined use of miniscrews and continuous arch for intrusive root movement of incisors in Class II division 2 with gummy smile." The Angle Orthodontist **84**(5): 910-918.

Koenig, H. A. and C. J. Burstone (1989). "Force systems from an ideal arch—large deflection considerations." The Angle Orthodontist **59**(1): 11-16.

Kojima, Y. and H. Fukui (2014). "A finite element simulation of initial movement, orthodontic movement, and the centre of resistance of the maxillary teeth connected with an archwire." European Journal of Orthodontics **36**(3): 255-261.

Krishnan, V. and Z. e. Davidovitch (2006). "Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **129**(4): 469. e461-469. e432.

Kurol, J. and P. Owman-Moll (1998). "Hyalinization and root resorption during early orthodontic tooth movement in adolescents." The Angle orthodontist **68**(2): 161-166.

Kusy, R. P. and J. C. Tulloch (1986). "Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **90**(2): 127-131.

Lavigne, G., J. Kim, C. Valiquette and J. Lund (1987). "Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing muscles during mastication." Journal of Neurophysiology **58**(2): 342-358.

Lekic, P. and C. McCulloch (1996). "Periodontal ligament cell populations: the central role of fibroblasts in creating a unique tissue." The Anatomical Record **245**(2): 327-341.

Lindauer, S. J. (2001). The basics of orthodontic mechanics. Seminars in Orthodontics, Elsevier.

McCulloch, C. A. and S. Bordin (1991). "Role of fibroblast subpopulations in periodontal physiology and pathology." Journal of periodontal research **26**(3): 144-154.

Mcculloch, C. A., P. Lekic and M. D. Mckee (2000). "Role of physical forces in regulating the form and function of the periodontal ligament." Periodontology 2000 **24**(1): 56-72.

Meling, T. R., J. Ødegaard and E. Ø. Meling (1997). "On mechanical properties of square and rectangular stainless steel wires tested in torsion." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **111**(3): 310-320.

Melsen, B. (1999). "Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement." The Angle orthodontist **69**(2): 151-158.