



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

ANÁLISIS DE LA FUERZA QUE SE EJERCE AL
ACTIVAR LOS TORNILLOS (UNIDIRECCIONAL,
BIDIRECCIONAL, TRIPLE Y DE ABANICO) EN LAS
PLACAS ACTIVAS.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N O D E N T I S T A

P R E S E N T A:

DAVID ALBERTO MARTÍNEZ JUÁREZ

TUTOR: Esp. MARIO HERNÁNDEZ PÉREZ

ASESOR: Mtro. JORGE GUERRERO IBARRA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“La vida te dará la experiencia que sea más útil para la evolución de tu conciencia. ¿Cómo sabes que esta es la experiencia que necesitas? Porque esta es la experiencia que estás teniendo en este momento”

Eckhart Tolle

Muchas situaciones ocurren a la par en la vida; en mi caso, estoy a punto de concluir mis estudios de licenciatura: escribo este trabajo final para obtener el título de Cirujano Dentista, título que honraré y portaré con orgullo; pero a la vez, termino una "vivencia", un "momento" más en mi vida, una experiencia que me tocó vivir y de la cual tengo muchas cosas que reflexionar; una anécdota más que se suma y que con gusto y satisfacción podré decir que la superé!, pero esto no hubiera sido posible sin el incondicional apoyo de MI FAMILIA.

Mi familia que en todo momento me ha brindado lo mejor del mundo para que sea una persona próspera. El pilar más importante de mi familia y que ha sido la base para que esté donde estoy es mi papá Horacio; gracias a él he llegado a este punto, gracias a él soy quien debo ser, gracias por tu apoyo y cariño que siempre me has demostrado, él: mi ejemplo a seguir en todos los aspectos: fortaleza, trabajo, compromiso, valentía...

Pero tampoco sería la persona que soy ahora, sin su amor incondicional, sin su esfuerzo porque sea una persona hecha y derecha, sin su cariño reflejado en cada una de mis comidas, sin su preocupación por mi bienestar, sin su dedicación desde que era pequeño para que creciera y

fuera el mejor estudiante, hablo de mi mamá (Rosalba) y mi mami (Rosa): dos mujeres que amo mucho y que gracias a ellas he podido salir adelante.

Cómo no mencionar a mis hermanos, con ellos he tenido experiencias increíbles!, desde estar en el mismo escenario compartiendo e interpretando ese increíble gusto por la música, hasta pasar una linda tarde jugando como hermanos que somos; gracias "Oso" y Emilio por ser parte de mi vida y por sus momentos compartidos conmigo.

A pesar de las circunstancias que se dieron, yo sé que siempre cuento y contaré con el apoyo leal de mi papá David (y más en esta anécdota que voy terminando); gracias por nunca dejar de estar al pendiente de nosotros, gracias por seguir flanqueando nuestros pasos, gracias por seguir reportando isin novedad!

Gracias a mi abuelita Juana por sus cuidados cuando éramos pequeños, gracias por el tiempo que compartió con nosotros, y que estoy seguro volveremos a compartir. Gracias también a mis tíos (Abraham e Hilde) por sus palabras y consejos y por echarme la mano cuando se los pedí, al igual que mi prima Miri.

Hay una persona especial que me ha acompañado y dado muchos ánimos en esta anécdota reciente, que me ha demostrado su total apoyo, pero que también hemos compartido bellos, grandes y felices momentos y que me ha demostrado que aún existen almas que vale la pena conocer: Pamm
igracias por todo!

Quiero recordar y dedicarle unas palabras a mis más grandes amigos que he tenido; amigos con los que viví la mejor etapa universitaria y que a lado de ellos pasé grandiosos momentos, amigos que siempre me dieron consejos, que siempre nos apoyamos cuando lo necesitamos, amigos para toda la vida: Kevin, Mayte, Carlos, Belmont, Emmanuel, Lalo.

Agradezco a todos y cada uno de los profesores que intervinieron en mi formación académica; agradezco sus consejos, sus enseñanzas, sus experiencias; en especial a la Dra. Mony por su confianza, a la Dra. Fabiola por sus palabras y empatía y también por sus palabras y empatía al Dr. Mario y al Dr. Jorge. Gracias por el apoyo (poco o mucho) que me brindo todo el personal de la facultad, desde enfermeras hasta intendentes, fue muy grato conocer gente que indirectamente intervino en mi formación académica.

Lucero y Marcelo no podían faltar en estas menciones, pues gracias a ellos mis caminos se han trazado de esta forma, me han ayudado en ellos y protegido.

Por último pero no menos, infinitas gracias a la Facultad de Odontología y a mi amada UNAM por todo lo que me han brindado, me han permitido crecer en todos los aspectos dentro de sus instalaciones y enseñarme grandes valores que se reflejan en mi formación como profesionista y como persona.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	07
CAPÍTULO 1 – Antecedentes.....	09
CAPÍTULO 2 – Generalidades histológicas del diente.....	18
2.1.- Encía.....	19
2.2.- Cemento	20
2.3.- Ligamento periodontal	22
2.4.- Hueso alveolar	25
CAPÍTULO 3 – Biomecánica	29
3.1.- Conceptos básicos	30
3.1.1.- Vector	32
3.1.2.- Fuerza	32
3.1.3.- Cuerpo	34
3.1.4.- Momento	35
3.1.5.- Binario/par.....	37
3.1.6.- Fulcro/fulcrum.....	38
3.2.- Respuesta periodontal	38
3.3.- Respuesta ósea	42
3.3.1.- Teorías del movimiento dental	45
3.3.1.1.- Teoría de la presión – tensión	46
3.3.1.2.- Teoría de la flexión ósea	46
3.3.1.3.- Teoría de electricidad biológica	47
3.3.2.- Movimientos dentarios	48
3.3.2.1.- Inclinación	49
3.3.2.2.- Rotación	50
3.3.2.3.- Traslación	51
3.3.2.4.- Corrección radicular	53
3.3.2.5.- Fases del movimiento dental	53
3.4.- Aplicación de las fuerzas	54
3.4.1.- Fuerzas continuas	56
3.4.2.- Fuerzas intermitentes	57
3.4.3.- Fuerzas inocuas	59
3.4.4.- Fuerzas leves	59
3.4.5.- Fuerzas pesadas	60
3.5.- Efectos perjudiciales de las fuerzas ortodóncicas	61
3.5.1.- Sobre la raíz	61
3.5.2.- Sobre la cresta ósea	62
3.5.3.- Alteraciones pulpaes	63
3.5.4.- Movilidad dental	63

3.5.5.- Dolor	64
CAPÍTULO 4 – Efectos esqueléticos de las fuerzas ortodóncicas ...	65
4.1.- Sobre el tercio medio facial	65
4.2.- Sobre la mandíbula	68
CAPÍTULO 5 – Placas activas	73
5.1.- Historia	73
5.2.- Indicaciones	74
5.3.- Componentes	76
5.3.1.- Base acrílica	76
5.3.2.- Ganchos/retenedores	77
5.3.3.- Arco vestibular	79
5.3.4.- Resortes	80
5.3.5.- Tornillos	81
5.3.5.1.- Unidireccional	81
5.3.5.2.- Bidireccional	82
5.3.5.3.- Tridireccional (triple/Bertoni)	83
5.3.5.4.- Expansión excéntrica (de abanico)	84
5.4.- Activación	84
5.5.- Análisis de las fuerzas aplicadas a las placas activas.....	85
CONCLUSIONES	87
PROPUESTA	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

INTRODUCCIÓN

A lo largo del quinto año de la carrera de Cirujano Dentista el alumno realiza tratamiento de Ortodoncia interceptiva; inicia con un diagnóstico auxiliándose de varios métodos (fotografías clínicas, radiografías, análisis de modelos, trazado cefalométrico, incluso tomografías) y prosigue con un plan de tratamiento en donde ejecuta los conocimientos adquiridos en el cuarto año. La mayoría de los tratamientos que se brindan a los pacientes en la etapa de dentición mixta, empleando el uso de placas activas con diferentes diseños y aditamentos, todo dependiendo del diagnóstico del paciente.

Uno de los aditamentos que más se emplean en la práctica clínica son los tronillos de expansión; de estos hay una amplia variedad de modelos y diseños en el mercado, asimismo, tienen diferentes indicaciones; aunque su diseño puede variar, su función seguirá siendo la misma: generar cierta cantidad de expansión que permita ganar espacio y conseguir una correcta armonía oclusal.

En el presente trabajo se muestra el uso, indicaciones y el análisis de cada uno de los tornillos que se ocupan en las placas activas, los clasificamos de acuerdo a la dirección del movimiento que se realizarán, como son: unidireccional, bidireccional, tridireccional y sagital o de abanico. Se hará una exhaustiva revisión de la literatura para conocer las indicaciones en la forma de activación para estimular el crecimiento de las arcadas, para que los dientes logren ocupar su lugar.

Mencionaremos la forma en que los aparatos de ortodoncia (placas activas) realizan los movimientos de expansión y disyunción de las arcadas y de qué tipos de aditamentos podemos utilizar en cada uno de los casos para asegurar el éxito en la clínica. Conoceremos la forma correcta de realizar las activaciones de cada uno de los tornillos empleados en las placas activas; se explicará el grado de expansión que se puede lograr con ellas,

que se consigue al activar un cuarto de vuelta cada tornillo; no sin antes mencionar la biomecánica que da lugar a la expansión maxilomandibular.

CAPÍTULO 1.- Antecedentes

Los orígenes de la Ortodoncia y Ortopedia son similares. Ambas disciplinas tienen una raíz común, aunque en la práctica tienen alguna diferencia en realidad tienen un objetivo en común: estudiar prevenir, interceptar y corregir las anomalías de posición de los dientes y sus relaciones maxilofaciales, con el fin de mantener o restaurar las funciones normales del sistema estomatognático.¹

Los primeros indicios de malposiciones dentarias datan del pleistoceno en el hombre de Neandertal, hace aproximadamente 100, 000 años. Sin embargo, los primeros tratamientos para corregirlas fueron realizadas por los griegos y romanos con sus maniobras de presión digital alrededor de 1,600 años a. C.

Para el año 400 a. C. en los trabajos de Hipócrates se hace referencia a la corrección de irregularidades de los dientes; se habla de la forma alargada del cráneo de algunas personas y la relaciona con las arcadas y la disposición irregular de los dientes en las arcadas, apuntando que pudieran ser causantes de dolores de cabeza y sangrado de las encías.¹

El primer autor que menciona una actividad ortodóncica fue Aulo Cornelio Celso, en el año 24 d. C., seguidor de Hipócrates, quien aconsejaba que si los dientes permanentes aparecen desviados por persistencia de los temporarios se debía practicar la extracción de estos últimos y llevar los permanentes a su posición normal, mediante presiones digitales repetidas con periodicidad hasta corregir el problema.¹

En el periodo 980 – 1037 vivió Abu- 'Ali al-Husayn ibn-Sina mejor conocido como Avicena, quien recomendaba para el tratamiento estético de los dientes extruidos o alargados el uso de limas para reducir su altura.

En el siglo XVI, personajes como Urbano Hemart, Ambroise Paré (fig. 1) (1510 – 1590), celebre médico y odontólogo, diseñador de obturadores

palatinos para pacientes fisurados, Fabrici d'Acquapedente y Egenolff hablaron sobre las malposiciones dentales.



Fig. 1.- Ambroise Paré

En el siglo XVIII (1728), Pierre Fauchard describe técnicas para corregir los apiñamientos dentarios. Los aparatos propuestos por Fauchard estaban confeccionados en láminas de oro o plata ligeramente rígidas a las que eran atados los dientes para ser traccionados y llevarlos a posición (fig. 2). También recomendaba el uso de alambres en los espacios interdentarios para obtener separación de los dientes muy juntos y así facilitar su movilización.

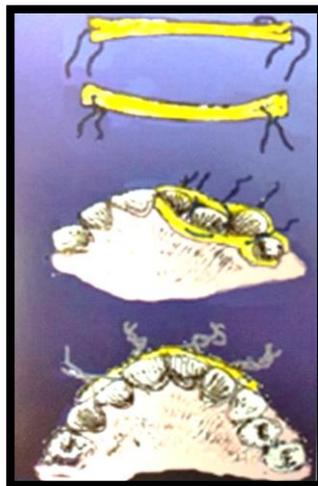


Fig. 2.- Láminas de oro usadas por Fauchard

En 1757 Ettiene Bourdet recomendaba la extracción del primer premolar para resolver el apiñamiento severo y el uso de láminas parecidas a las de Pierre Fauchard (fig. 3), recomendaba que las ligaduras fueran reemplazadas cada semana.

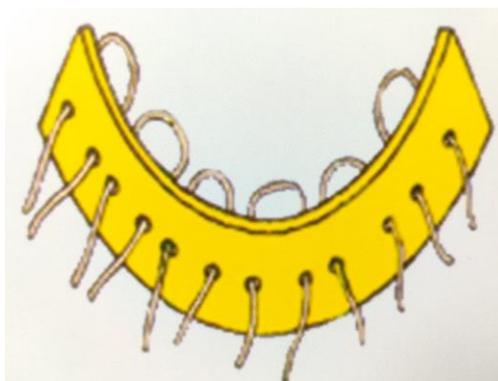


Fig. 3.- Lámina de Bourdet

Es en 1742 cuando Nicolás Andry da a conocer el termino Ortopedia, que define como: “el arte de corregir y prevenir en los niños las deformidades del cuerpo”; sostenía que estas deformidades se debían a desequilibrios musculares.

Uno de los más importantes aportes a la Ortodoncia fue el de John Hunter, quien explica la anatomía de los dientes, hace una perfecta descripción acerca del crecimiento y desarrollo de los maxilares, de los músculos de la masticación. Desaconsejó de manera acertada la extracción de dientes temporales y sostuvo que algunos casos de prognatismo eran corregibles mediante la extracción de premolares.

En 1803, Joseph Fox utilizó unas platinas similares a las de Bourdet, pero agregando unos bloques de hueso o de marfil para levantar la mordida y facilitar el descruzamiento de los dientes anteriores (fig. 4), asimismo, fue el primero que describió sobre el uso de anclaje occipital para tratar las protrusiones dentomandibulares, utilizando una mentonera (fig. 5).¹

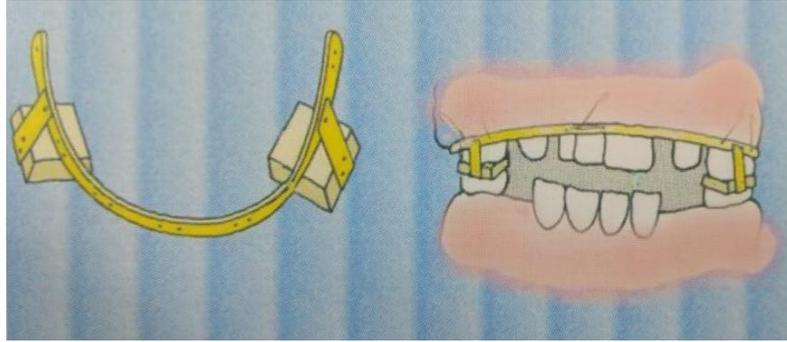


Fig. 4.- Platinas de Fox para levantar la mordida.



Fig. 5.- Mentonera diseñada por Fox.

L. J. Catalán introdujo en 1814 el concepto de los planos inclinados para el movimiento de los dientes superiores en mordida cruzada. En ese mismo año, Benjamín James habla sobre las edades apropiadas para comenzar los tratamientos y advierte que en algunos casos es necesario extraer dientes para corregir las irregularidades. También sugiere que la presión del dedo puede mover los dientes a malas posiciones dentro del alineamiento.

Cristóbal Delabarre describe el uso de rejillas metálicas para levantar mordidas y facilitar descruzamientos en las posiciones de traslape horizontal y vertical, incisivos borde a borde y mordidas cruzadas, también empleó coronas metálicas para tratar las rotaciones dentarias.

La palabra Ortodoncia es utilizada por primera vez por Pedro J. Lefoulon donde se refiere a las causas y tratamientos de las irregularidades de la dentadura. Lefoulon rompe el mito de la inexpansibilidad de los arcos linguales al diseñar un aparato adaptado a las caras linguales de los dientes.

W. Roux en 1881 explica el mecanismo de los estímulos funcionales y su teoría trayectorial de la estructura ósea, señalando que las trabéculas óseas se forman siguiendo líneas de fuerza de compresión, porque tanto estructura de un órgano como su entorno están adaptados a su función.

Wolff (1836 – 1902) expone que la formación de hueso se debe a la fuerza de las tensiones musculares. En su “Ley de la transformación” o “Ley de Wolff” dice: “todo cambio en la forma y función de un hueso o en su función solamente, es seguida por ciertos cambios definidos en su arquitectura interna y por una alteración secundaria igualmente definida en su conformación externa, de conformidad con las leyes mecánicas”.

En 1835 Samuel Sheldon Fitch se refiere a las causas y la prevención de las maloclusiones. Llama la atención sobre la movilidad de los procesos alveolares como respuesta a la aplicación de fuerzas en el movimiento dental y establece que los mejores resultados se obtienen durante los periodos de crecimiento.

En 1842, J. M. A. Schange menciona tres vías para obtener espacio y acomodar los dientes irregulares:

1. Limado interproximal, al cual se declara contrario.
2. Extracción, cuando requerimos mucho espacio.
3. Ensanchamiento del arco, al cual considera el mejor plan.

En 1849, William Dwinlle crea en Nueva York el tornillo de tracción, el cual consistía en un tornillo unido a dos bandas para mover los dientes. Este diseño fue utilizado durante muchos años.

Thomas W. Evans menciona en 1853 cuatro requisitos fundamentales para la regulación de la posición de los dientes: 1) soporte firme; 2) presión uniforme y constante; 3) construcción cuidadosa y 4) mecanismo sencillo.

En el mismo año de 1853 Tomes expone que las irregularidades de los dientes pueden ser corregidas a cualquier edad. También comento del uso de fuerzas constantes y describió varios métodos para aplicarlas.

Emerson Angell describe en 1860 la importancia de la erupción y cuidado del primer molar secundario. Realizo expansión de la sutura media palatina utilizando tornillos que se sujetaban a los premolares (fig. 6). También describió una placa metálica a la que sujeto un tornillo para retraer dientes agarrados a una banda o gancho.



Fig. 6.- Tornillo expansor de Angell

En 1875 Norman W. Kingsley enfatiza en relacionar la mecánica con la biología durante el tratamiento ortodóncico. Observo que los procesos de reabsorción y aposición eran inducidos mediante el movimiento de los dientes, pero que podían o no ser coincidentemente simultáneos o desarrollarse con igual rapidez.

John Nutting Farrar, en 1876, aconseja el uso de las fuerzas intermitentes alternando periodos de movimiento y descanso, argumentado que las fuerzas continuas no eran fisiológicas y producían patologías en los tejidos.¹

En 1881, Walter H. Coffin, describe un aparato usado por él y su padre, el cual estaba realizado en vulcanita y tenía un resorte central realizado con un alambre de cuerda de piano, permitiendo de esta manera, dadas las características del alambre, expandir las partes del aparato, para alinear dientes en mala posición (fig. 7); esta expansión era a su vez acompañada por movimientos individuales a dientes, dando inicio a una nueva era en Ortodoncia y Ortopedia maxilar.



Fig. 7.- Placa de expansión de Coffin.

En 1887, Víctor H. Jackson presento su aparato llamado “criba”, que no era más que un alambre sencillo para la regulación de los dientes, que iba por lingual y por vestibular de los dientes, y era removible. Podía tener resortes individuales para movimientos de dientes. Recomendaba la presión continua.

En el año de 1887, Edward H. Angle, describía diversos aparatos para producir movimientos de dientes y retenerlos cuando estaban en posición. En 1911, crea el aparato de perno y tubo. En 1916, la técnica conocida como “arco de canto”. En 1905, presento su clasificación de anomalías de dentición, usada hasta nuestros tiempos.

En 1893, H. A. Baker dio a conocer sus aparatos para corrección de mandíbulas protruidas y retruidas, utilizando fuerzas elásticas

intermaxilares, mediante el uso de elásticos de caucho, retruyendo o protruyendo la mandíbula según sea el caso.

Para el año 1902 el dentista francés Pierre Robin describió un aparato ortopédico llamado monoblock.

En 1904, G. C. Ainsworth, describió un nuevo aparato para mover dientes dislocados a posición, consistente en un plano inclinado y un aparato simple de retención.

En 1908, Viggo Andresen, presenta por vez primera su Activador, basándose en las placas de Kingley. En 1925 junto al austriaco Karl Haüpl sostuvo que el uso del activador transmitía impulsos al hueso, aumentando la actividad osteoblástica y produciendo una mayor formación de hueso.

1918, Alfred Rogers recomendó ejercicios para el desarrollo de los músculos de la cara, con intención de aumentar su actividad funcional.

Hawley en 1919, da a conocer su aparato de retención con el arco que lleva su nombre.

En 1928, Edward Angle, diseña el sistema cinta – arco, en el cual utiliza brackets comenzando a si una nueva era con el uso de bandas metálicas.

En 1938, A. M. Schwartz publica un libro de texto publicado enteramente el tratamiento con placas, en el que diseñaba distintas placas con varios tornillos.

En 1940, Pedro Planas, introduce el concepto de “Rehabilitación Neurooclusal” con la utilización de placas separadas con pistas, preconizando que lo primordial es la restitución de la función respiratoria y masticatoria, haciendo énfasis en el equilibrio oclusal.

En 1941, Charles Tweed, desarrollo la técnica de arco de canto tal y como se conoce hoy día.

En 1957, Hans Peter Bimler, presenta su aparato funcional denominado modelador elástico.

En el año 1967, Rolf Fränkel presenta un método de tratamiento con el aparato llamado “regulador de funciones”.

Para 1977, Lawrence Andrews, introduce la técnica de arco recto, basándose en sus seis llaves de la oclusión. Los trabajos de Andrews dan origen a la primera aparatología preajustada disponible comercialmente.

En 1991, Ronald Roth y Robert Williams crean el concepto de oclusión funcional y ATM en la Ortodoncia moderna.

Entre los años 1955 y 2000, Dwith Damon desarrollaba el más popular sistema de brackets de baja fricción que no utiliza ligaduras para sostener a los alambres.

Simultáneamente, son desarrollados los brackets del sistema Innovation por la casa Gac. Brackets de autoligado interactivo, baja y media fricción. No utiliza ligaduras para sostener los alambres. Disminuye el tiempo de tratamiento. Disminuye el tiempo en el sillón. Permite controlar el torque de los dientes.¹

CAPÍTULO 2.- Generalidades histológicas del diente.

Para comprender mejor la naturaleza del movimiento dental es necesario conocer qué tipo de células intervienen en él; por ello, daremos una breve descripción histológica de los componentes del periodonto: mecanismo de inserción del diente y donde ocurre el movimiento dental.

Se llama periodonto a los tejidos que rodean y alojan a los dientes de la maxila y mandíbula, siendo sus principales funciones las de resistir y resolver las fuerzas de la masticación, así como las de protección; abarca dos tejidos blandos que son la encía y el ligamento periodontal; y dos tejidos duros que son el cemento y el hueso alveolar (fig. 8).²

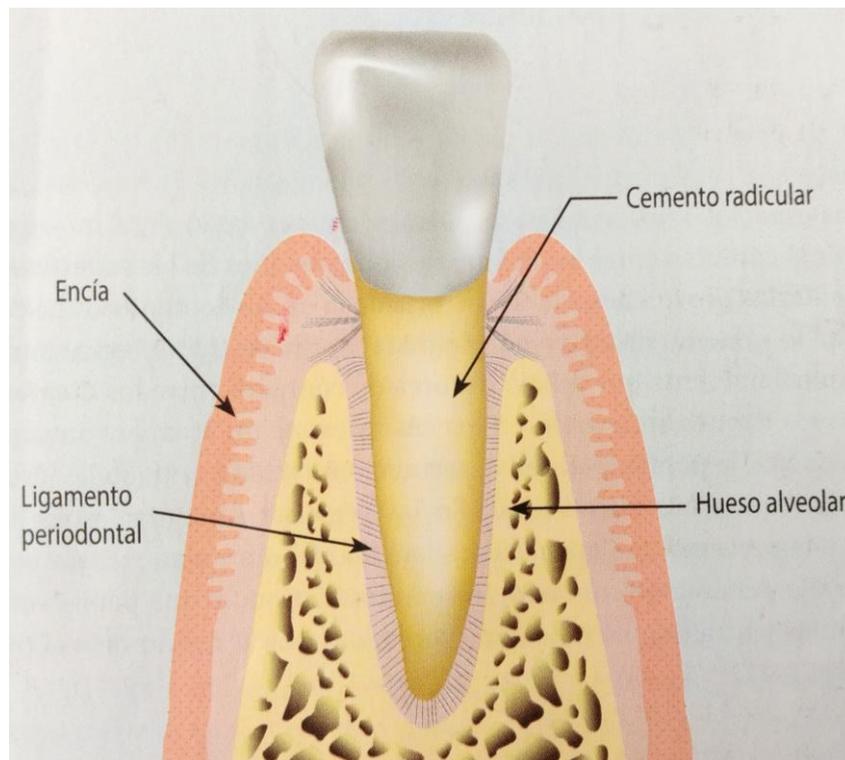


Fig. 8.- Componentes del ligamento periodontal

El periodonto de inserción está compuesto por tres estructuras que conforman la unidad funcional y comparten un mismo origen embriológico: cemento, ligamento periodontal y hueso alveolar. Las tres se originan a

partir de la capa celular interna del saco dentario, al mismo tiempo que se forma la raíz del diente.

Las fibras colágenas del ligamento periodontal se insertan, por un lado, en el cemento, y por el otro, en el hueso que rodea el alveolo, constituyendo la articulación alveolodentaria. Esta articulación, que pertenece al grupo articular de la gonfosis, mantiene al diente en su sitio y le permite resistir las fuerzas masticatorias.³

2.1.- ENCÍA.

Es la mucosa masticatoria que cubre el proceso alveolar y rodea a los dientes en la parte cervical. Se extiende desde el margen de la encía marginal hasta la línea mucogingival.

La encía contiene principalmente fibras de colágena, oxytalán y reticulada. Dichas fibras de colágena se organizan en dos patrones: uno compuesto de haces grandes y densos de fibras gruesas llamadas fibras principales (dentogingivales, circulares, alveologingivales, dentoperiosteales, transeptales) y otro compuesto de un patrón laxo de fibras delgadas mezcladas en una fina red reticular llamadas fibras secundarias (transgingivales, interpapilares, semicirculares, intergingivales (fig. 9).²

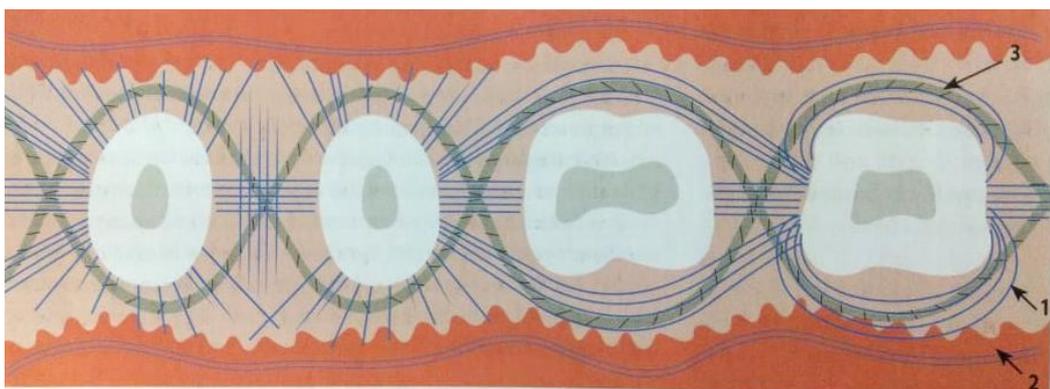


Fig. 9.- Fibras secundarias. 1.- intergingivales; 2.- semicirculares; 3.- transgingivales.

2.2.- CEMENTO

Es un tejido conectivo mineralizado; a semejanza del esmalte, el cemento cubre a la dentina, aunque solo en su porción radicular. Tiene como función principal:

- Anclar las fibras del ligamento periodontal a la raíz del diente.
- Controlar la anchura del ligamento periodontal.
- Transmitir las fuerzas oclusales a la membrana periodontal.
- Reparar la superficie radicular.
- Compensar el diente por la atricción.
- Participar en la remodelación (que realizan las fuerzas ortodóncicas, generando alteraciones importantes del componente mineral en el caso de fuerzas intensas y alteraciones muy escasas, en el caso de fuerzas moderadas).

El cemento está formado por elementos celulares, en especial, cementoblastos (adosados a la superficie del cemento del lado del ligamento periodontal [fig. 10]) y cementocitos (cementoblastos que quedan incluidos en el cemento mineralizado [fig. 11]), y por una matriz extracelular calcificada, que contiene aproximadamente 46 – 50% de materia inorgánica, 22% de materia orgánica y 32% de agua.



Fig. 10.- Cementoblastos



Fig. 11.- Cementocitos

Otro tipo de células que pueden hallarse con relación al cemento son los cementoclastos u odontoclastos, los cuales tienen capacidad de resorción de tejidos duros. Se localizan en la proximidad de la superficie externa cementaria y presentan características similares a los osteoclastos. En condiciones normales, estas células están ausentes en el ligamento periodontal, puesto que el cemento no se remodela. No obstante, los cementoclastos aparecen en ciertas patologías, como también durante la resorción radicular de los dientes deciduos o en caso de excesivo movimiento dental ortodóncico, especialmente cuando se ocupan aparatos fijos.

Existen dos tipos de cemento:

- ❖ **Cemento acelular o primario:** comienza a formarse antes de que el diente erupcione. Se deposita lentamente, de manera que los cementoblastos que lo forman retroceden a medida que secretan, y no quedan células dentro del tejido. Se encuentra, predominantemente, en el tercio cervical, pero puede cubrir la raíz entera con una capa muy delgada.

- ❖ **Cemento celular o secundario:** comienza a depositarse cuando el diente entra en oclusión. Debido a que se forma con mayor rapidez. El cemento celular se localiza, por lo general, solo a partir del tercio medio o apical de la raíz.³

2.3.- LIGAMENTO PERIODONTAL (L. P.).

Es una estructura densa de tejido conectivo fibroso que consiste en haces de fibras de colágena, células, componentes neurales y vasculares y fluidos tisulares. Su función principal es sostener los dientes en sus alvéolos mientras permite que los dientes resistan fuerzas de masticación considerables. En promedio, el ligamento periodontal, ocupa un espacio de aproximadamente 0.2 mm de ancho. Dependiendo de su ubicación a lo largo de la raíz, el ancho puede variar de 0.15 a 0.38 mm, con su parte más delgada ubicada en el tercio medio de la raíz.⁴

Esta zona más angosta que actuaría como zona de apoyo o palanca de los movimientos laterales se llama “fulcrum” y se ubica hacia la mitad de la raíz clínica, por lo general, mar cerca del ápice, en concreto, en la unión del tercio medio con el tercio apical.³

El espacio del L. P. también disminuye progresivamente con la edad. La mayor parte del espacio del L. P. está ocupado por haces de fibras de colágeno (principalmente Tipo I) que están incrustadas en la sustancia intercelular. La porción terminal de las fibras que se insertan en el cemento y el hueso alveolar se denominan fibras de Sharpey. Estas fibras se pueden dividir en las fibras principales, las fibras accesorias y las fibras oxytalan (elásticas).

Según su orientación y ubicación a lo largo del diente, las fibras principales se pueden clasificar en las fibras transeptales (o ligamento interdental) y el ligamento alveolodental (fig. 12). Las fibras transeptales se extienden interproximalmente conectando el cemento de los dientes adyacentes para mantener la alineación del diente, y el grupo de fibras del ligamento

alveolodental ayuda a los dientes a resistir las fuerzas de compresión durante la masticación. Además de las fibras principales, las fibras accesorias van desde el hueso alveolar hasta el cemento en diferentes planos, más tangencialmente para evitar la rotación del diente.

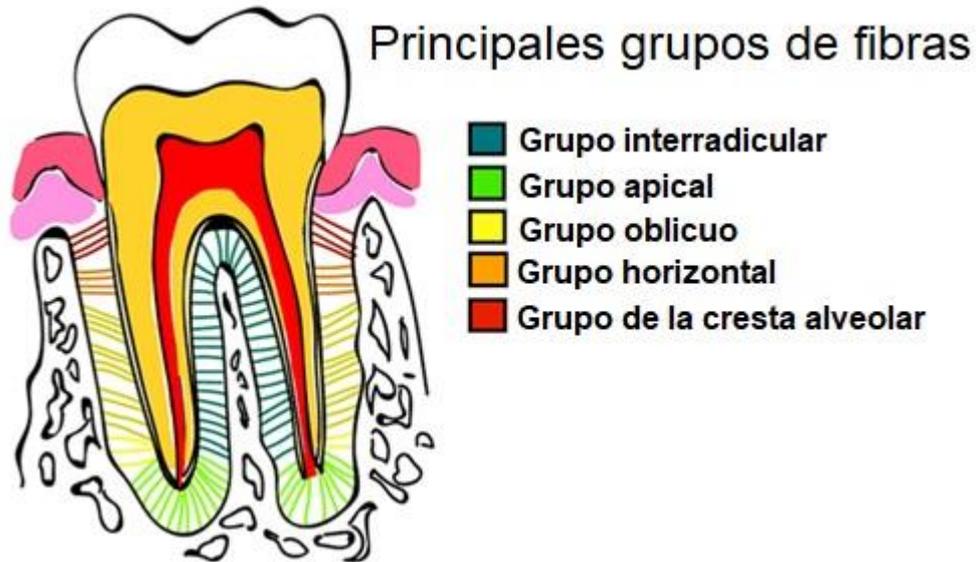


Figura 12.- Tipos de fibras del ligamento periodontal.

Además de las fibras del L. P., las células periodontales residen en el espacio del L. P., que incluyen:

- 1) células sintéticas como los fibroblastos que constituyen el 50-60% de la celularidad total, osteoblastos y cementoblastos;
- 2) células resorptivas: osteoclastos, fibroblastos, cementoclastos;
- 3) células progenitoras: células mesenquimales indiferenciadas;
- 4) células de defensa como macrófagos, mastocitos y linfocitos; y
- 5) células epiteliales, es decir, restos de la vaina epitelial de Hertwig.

Juntas, estas células participan en la homeostasis del periodonto.⁴

A diferencia de lo que ocurre en el tejido óseo, la síntesis y degradación de la colágena en el ligamento periodontal se lleva a cabo por un solo tipo celular, que se podría denominar fibroblasto o fibroclasto, según el momento funcional en el que se encuentre. A veces, estas dos funciones se realizan de manera simultánea.³

Finalmente, el espacio del L. P. se llena con líquido tisular conocido como líquido intersticial que en última instancia se deriva del sistema vascular. Esta cámara llena de líquido permite que el espacio del L. P. distribuya uniformemente las fuerzas cargadas en los dientes, sirviendo como un amortiguador.⁴

Normalmente, los ligamentos no tienen muy desarrollados los vasos sanguíneos y linfáticos ni las estructuras nerviosas, pero el ligamento periodontal constituye una excepción, ya que esta ricamente innervado e irrigado, con un aporte linfático abundante.

En el ligamento se forma una rica red de arteriolas y capilares, así como anastomosis arteriovenosas y estructuras glomerulares. El plexo vascular es más evidente en las proximidades del hueso que hacia el cemento y presenta mayor desarrollo en el tercio apical y cervical que en el tercio medio.³ (Fig. 13).

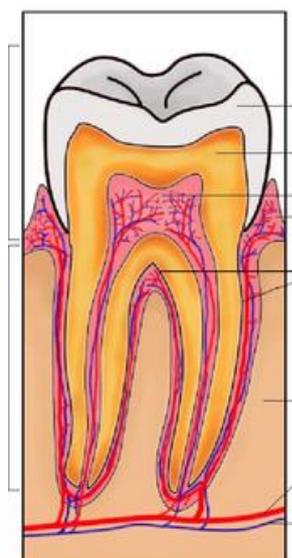


Fig. 13.- Irrigación del ligamento periodontal.

2.4.- HUESO ALVEOLAR.

El hueso alveolar forma parte la pared ósea de los alveolos que sostiene a los dientes. Se inicia a 2 mm de la unión cemento – esmalte, y corre a lo largo de la raíz, terminando en el ápice de los dientes. Presenta múltiples perforaciones, a través de las cuales pasan numerosos vasos sanguíneos, linfáticos y fibras nerviosas hacia el ligamento periodontal. La porción del hueso alveolar que directamente cubre al alveolo se denomina hueso fasciculado y en él se insertan las fibras del ligamento periodontal. (fig. 14).²

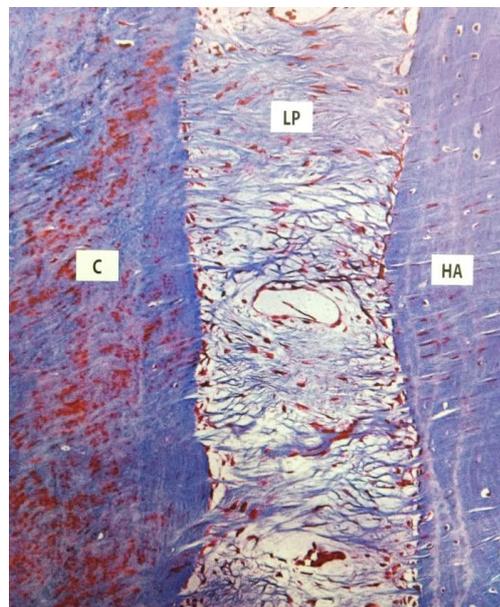


Fig. 124.- Inserción de las fibras del ligamento periodontal (LP) en el hueso alveolar (HA). Cemento (C)

Las fibras del LP se anclan al hueso alveolar perforando la lámina dura, mientras que los otros extremos se conectan al cemento.

Es un tejido conectivo mineralizado que consiste en tejido mineralizado (60% en peso), matriz orgánica (25% en peso) y agua (15% en peso).⁴

La parte orgánica del hueso alveolar, está constituido en un 95% por un componente fibrilar, predominantemente de colágena tipo I y III, y el 5% restante está formado por un componente no fibrilar de proteínas no colagenosas y moléculas regulatorias. La mayoría de estas moléculas son

sintetizadas por los osteoblastos durante la deposición ósea y con la mineralización de la matriz osteoide quedan atrapadas en el tejido óseo; otras llegan del torrente sanguíneo como las prostaglandinas II, el factor de crecimiento derivado de las plaquetas. El componente inorgánico está dado principalmente por cristales de hidroxiapatita.²

En un corte vestibulolingual o palatino, las tablas alveolares presentan una forma triangular que se continua con el cuerpo maxilar o mandibular. El vértice superior corresponde a la cresta alveolar, la vertiente que corresponde a la cara libre, denominada compacta perióstica o cortical perióstica, está constituida por tejido óseo compacto y revestida por periostio. La vertiente alveolar también está formada por tejido óseo compacto y se denomina cortical o compacta periodoncia, ya que está directamente relacionada con el ligamento periodontal. En el centro suele haber tejido óseo medular, trabecular o esponjoso, excepto a nivel de las crestas alveolares, donde ambas compactas entran en contacto. (fig. 15)

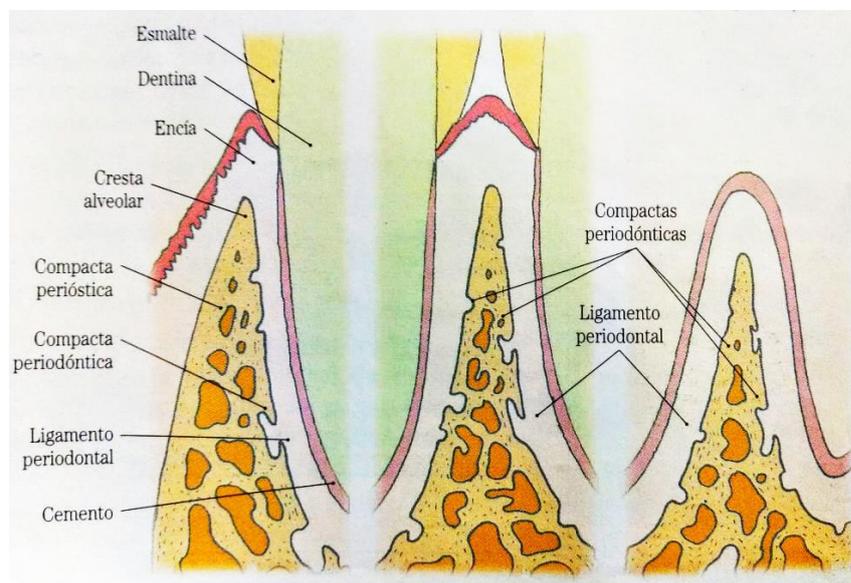


Fig. 15.- estructura anatómica de los procesos alveolares.

El tejido óseo que forma las láminas compactas o corticales de los procesos alveolares tiene un doble origen: la capa más periférica de la compacta

periodónica es de origen periodónico, es decir, crece por aposición a partir de las regiones osteogénicas del ligamento periodontal. La zona más interna, por su parte es de origen medular, y que se forma a expensas de los osteoblastos del tejido medular adyacente.³

Múltiples tipos de células, a saber, osteoblastos, osteoclastos y osteocitos, desempeñan papeles críticos en la homeostasis y la función del hueso alveolar. Además, los macrófagos, las células endoteliales y los adipocitos también se pueden encontrar dentro del hueso alveolar.⁴ (Fig. 16)

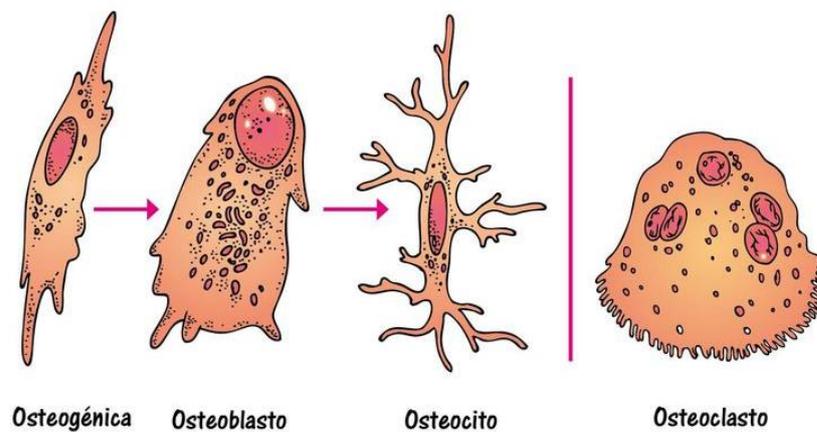


Fig. 16.- Células óseas⁶

Los osteoblastos son células mononucleadas y especializadas "formadoras de hueso". Tanto los osteoblastos como los fibroblastos pueden sintetizar la matriz de colágeno tipo I.

Los osteocitos se derivan de los osteoblastos que están incrustados en el hueso mineralizado durante la aposición ósea. Durante este proceso, minerales como la hidroxiapatita, el carbonato de calcio y el fosfato de calcio se depositan alrededor del osteocito, formando una laguna, conocida como *cannaliculi*, donde las dendritas de los osteocitos contactan y se comunican a través de uniones huecas.

Mientras que los osteoblastos y osteocitos surgen del linaje celular mesenquimatoso, los osteoclastos de "resorción ósea" se originan en una población progenitora diferente, el linaje hematopoyético/monocito, y se forman por la fusión de múltiples monocitos que se convierten en "multinucleados".⁴

El recambio o remodelación ósea normal, que consiste en reemplazar el tejido óseo formado por tejido nuevo, se caracteriza porque la actividad de los osteoblastos y osteoclastos esta acoplada de modo que trabajen en conjunto como una unidad llamada "unidad remodeladora ósea" y, en ella la cantidad de tejido óseo que se reabsorbe es remplazada por una cantidad equivalente de tejido óseo recién formado.³ (Fig. 17)

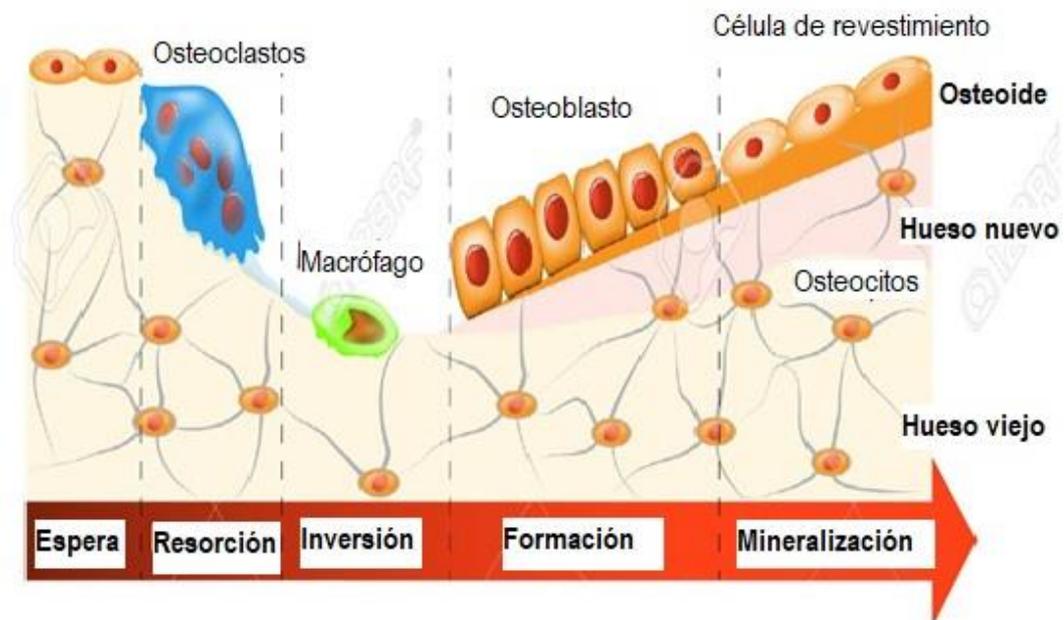


Fig. 17.- Proceso de remodelación ósea⁷

CAPÍTULO 3.- Biomecánica

El tratamiento ortodóncico depende de la reacción de los dientes, y en un sentido más amplio, de las estructuras faciales a la aplicación de las fuerzas leves, pero persistentes. En el contexto ortodóncico, el término biomecánica se emplea habitualmente para designar las reacciones de las estructuras dentales y faciales a las fuerzas ortodóncicas, mientras que el término mecánica se reserva para las propiedades de los componentes estrictamente mecánicos de los aparatos ortodóncicos⁸.

Quirós define a la Biomecánica como una ciencia básica de Ortodoncia, mediante la cual se da una explicación física y mecánica a los movimientos que se realizan sobre estructuras de los seres vivos¹.

Canut menciona cuatro áreas esenciales de la Biomecánica:

1. El estudio de los sistemas de fuerzas que permiten el control del movimiento dentario.
2. El análisis de los sistemas de fuerzas producidos por aparatos ortodóncicos.
3. El comportamiento de los materiales utilizados en nuestros aparatos, particularmente los capaces de almacenar y liberar fuerzas, pero también los que las reciben y distribuyen y, hasta cierto grado, las modifican.
4. La correlación entre los sistemas de fuerzas y los cambios biológicos que se producen en el periodonto y demás estructuras dentarias.

En la mayoría de los casos se hace referencia a la aparatología fija, pero los mismos principios son aplicables a cualquier tipo de aparato capaz de liberar fuerza sobre los dientes.

Por lo tanto, la Biomecánica es una ciencia aplicada que recibe sus aportaciones conceptuales de campos diversos, principalmente de la física, y cuya finalidad última es la optimización del movimiento dentario y el mejoramiento de la terapéutica clínica ortodóncica.⁹

3.1.- CONCEPTOS BÁSICOS

Uno de los primeros personajes en describir y tratar de entender el comportamiento de la naturaleza fue Isaac Newton (1642 – 1727), quien formuló las Leyes de la Dinámica que, junto con las propuestas de Galileo, describen el movimiento de los cuerpos en el universo y son la base de la mecánica clásica. Las tres Leyes de Newton relacionan las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento de este cuerpo debido a dichas fuerzas.

Fueron publicadas en 1687 en su obra "*Philosophiæ naturalis principia mathematica*"

PRIMERA LEY:

*"Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o movimiento uniforme en línea recta, no muy lejos de las fuerzas impresas a cambiar su posición"*¹⁰

Menciona que todo cuerpo va a permanecer en estado de reposo o en movimiento rectilíneo uniforme hasta que se le aplique una fuerza que actúe sobre él. En Ortodoncia, un diente permanecerá en su sitio hasta que una fuerza fisiológica o externa (aparatólogía) decida cambiar su posición.

Los dientes no son libres de todas las fuerzas. Oclusal, eruptiva, de crecimiento, muscular y fuerzas habituales que inciden en los dientes de los pacientes con maloclusión. En los pacientes con oclusión normal, existen fuerzas intraorales en equilibrio que estabilizan al diente durante su crecimiento, adultez y vejez. Los aparatos de ortodoncia superan las fuerzas de inercia y mueven los dientes de los pacientes con mala oclusión a una posición nueva dentro de lo normal para establecer un equilibrio de las fuerzas intraorales más estables. Los aparatos deben aplicar la suficiente fuerza al diente de modo que sobrepase su resistencia innata al movimiento: esta inercia viene de su masa; la encía, periodonto, tejidos óseos circundantes a la raíz; y las fuerzas que impactan a la corona.¹¹

SEGUNDA LEY:

“El cambio de movimiento es directamente proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella se imprime.”¹⁰

Plantea que la aceleración de una partícula es proporcional a la fuerza inducida e inversamente proporcional a la masa de la partícula, y la partícula se acelera en la misma dirección de la fuerza.

Newton resumió su segunda ley de movimiento en la ecuación $F=MA$, donde F es la fuerza, M es la masa, y A es la aceleración. Los ingenieros definen fuerza en términos de dinas y Newton. Una dina es la fuerza requerida para acelerar a una masa de 1 g 1 cm por segundo cuadrado. Un *Newton* es la fuerza requerida para acelerar una masa de 1 Kg 1 m por segundo cuadrado. Los clínicos usualmente miden la fuerza en unidades de masa o peso tales como gr. y oz. Un Newton equivale a 102.8 g o 3.6 onzas.¹¹

TERCERA LEY

“Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: quiere decir que las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentido opuesto.”¹⁰

Establece que en toda acción siempre hay una reacción opuesta igual, o que las acciones mutuas de dos cuerpos uno sobre el otro son siempre iguales y en direcciones opuestas.

A medida que el diente se mueve en respuesta a las fuerzas de un aparato de ortodoncia, el ligamento periodontal, hueso alveolar, y la encía que rodea al diente resisten esta fuerza. Los tejidos de soporte de los dientes deben considerarse como adaptables, flexibles, y responden favorablemente a las fuerzas ortodoncias.

El concepto de anclaje en ortodoncia está relacionado en la tercera ley de Newton. Cuando un aparato ortodóncico libera una fuerza que empuja un diente, esta también empujara a otros dientes. En un aparato removible tipo Hawley, todos los dientes además del diente que va a ser movido están unidos en el anclaje para resistir la fuerza. Los aparatos removibles usan también tejidos linguales y palatinos como parte de su unidad de anclaje.¹¹

3.1.1.- VECTOR.

El vector se define gráficamente por una flecha, cuyo cuerpo indica la dirección de la fuerza (vestibulolingual, mesiodistal, etcétera) así como su línea de acción, esto es, por donde se prolonga la fuerza. El sentido de la fuerza (de vestibular hacia lingual, de mesial hacia distal, de distal hacia mesial, etcétera) se define por la punta de la flecha. El vector también nos muestra la magnitud de la fuerza, que es proporcional a la longitud del cuerpo de la flecha, y el punto de aplicación de la fuerza, que es indicado por el origen o cola de la flecha.¹² (fig. 18)

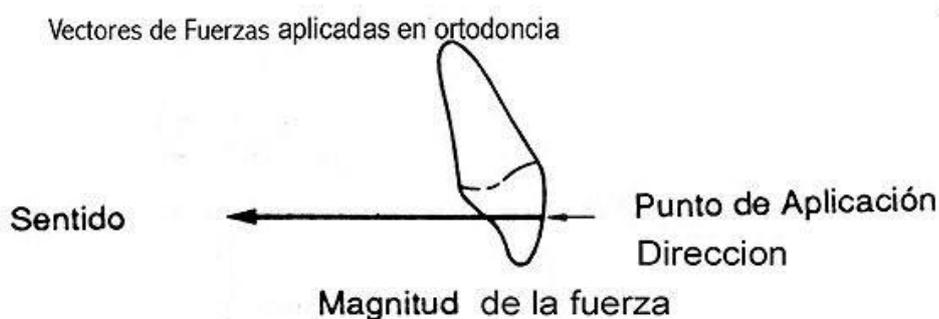


Fig. 18.-13 Ejemplo de un vector, en Ortodoncia.¹³

3.1.2.- FUERZA.

La fuerza se define como la acción de un cuerpo sobre otro, en nuestro caso, la acción de un dispositivo mecánico (alambre, resorte, elástico, etcétera) sobre dientes o huesos faciales.

Distinta de otras medidas, como el peso, la distancia a y la temperatura, que se miden en escalas, la fuerza se considera como una medida vectorial y se representa por vectores.

La unidad de la mensuración de la fuerza es el Newton (masa por aceleración), pero usualmente empleamos el gramo (g). en Ortodoncia no siempre se trabaja con una fuerza única se suman frecuentemente dos o más elementos. En estos casos podemos utilizar la Ley de los Paralelogramos, para determinar la resultante de dos fuerzas aplicadas sobre un mismo punto (fig. 19).

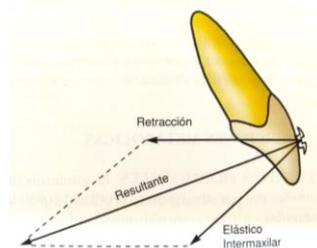


Fig. 19.- Ley del Paralelogramo

Los paralelogramos también permiten descomponer una fuerza en sus componentes vertical y horizontal. Este recurso es de gran utilidad para definir cuánto hay de tendencia a la distalización y cuánto hay de tendencia a la extrusión en una fuerza oblicua.¹²

Para fines prácticos, $1\text{ N} = 100\text{ g}$ (el valor real se sitúa entre 97 y 98 g).⁸

La fuerza optima ha sido definida como aquella con la que se produce el movimiento deseado rápidamente con daño mínimo al tejido y poca molestia clínica. No deberá dañar la vitalidad del ligamento periodontal y provocar un eficiente remodelado óseo. Idealmente debe llevar a la resorción frontal y el movimiento suave e interrumpido del diente.

Al respecto, los trabajos realizados por Schwarz aplicando diferentes rangos de fuerzas concluyeron que el más favorable era el que se

conseguía aplicando fuerzas no mayores que la de la tensión de los vasos sanguíneos capilares y que con esa intensidad el ligamento periodontal no colapsaba. También describió el comportamiento del hueso alveolar dependiendo de la intensidad de la fuerza. En sus estudios concluyó que la fuerza óptima para producir el movimiento dentario era aquella que inducirá una presión de 15 a 20 g/cm² de superficie de raíz.

En todo caso, la magnitud de la “fuerza óptima” depende del tipo de movimiento que deseamos realizar y del tipo de diente sobre el cual se aplica. Así, un movimiento de inclinación para un incisivo esta entre los 20 y 30 g y para un canino seria entre 50 y 75 g (fuerzas ligeras) pero, para un movimiento de raíz o de traslación puede estar entre los 120 y 150 g siempre dependiendo del tamaño de la raíz. Por ejemplo, para la extrusión dentaria son 25 a 30 g y los intrusivos 15 a 50 g.¹⁴

3.1.3.- CUERPO.

Todo cuerpo tiene un punto conocido como centro de masa. Este punto, como su propio nombre lo dice es el punto central de la masa de este objeto cuando está libre de cualquier influencia (por ejemplo, si estuviera libre de la acción de la gravedad).

Por definición, siempre que la línea de acción de una fuerza pase por el centro de la masa de un cuerpo libre en el espacio, este cuerpo sufrirá traslación. Un ejemplo se observa en una pelota que recibe un puntapié exactamente en su centro (fig. 20).¹²

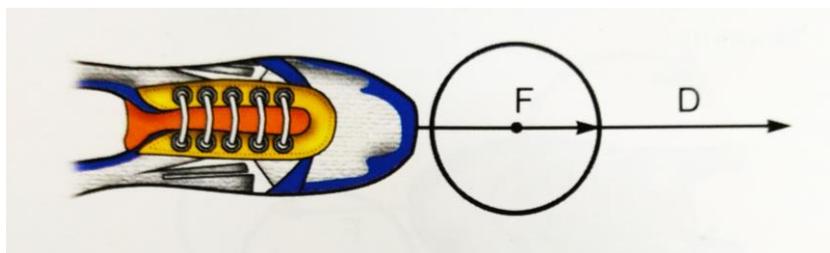


Fig. 20.- La pelota se moverá en línea recta sobre la dirección de la fuerza.

Cuando el cuerpo que será movido, en el caso del diente, no está libre en el espacio, pero rígidamente fijado en su parte radicular por el periodonto, un punto correspondiente al centro de masa es utilizado: el centro de resistencia. De forma análoga al centro de masa, podemos afirmar que la fuerza cuya línea de acción pase por el centro de resistencia resultara en traslación del diente.

Con el auxilio de imágenes holográficas, Burstones y Pryputniewicz afirman que en los dientes unirradiculares el centro de resistencia (C. R.) se encuentra entre el tercio cervical y el tercio medio de la raíz, mientras que en los dientes multirradiculares el C. R. estaría 1 a 2 mm apicalmente a la bi o trifurcación. (fig. 21).¹²

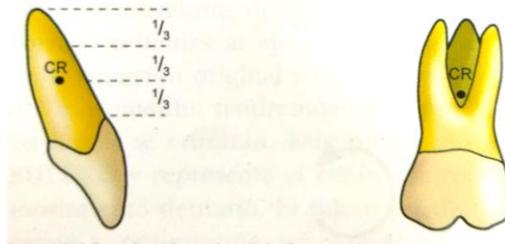


Fig. 21.- Ubicación del centro de resistencia en los dientes.

Si aplicamos una fuerza a la corona de un diente, este no solo se desplazará, sino que rotará alrededor del C. R. La presión sobre el ligamento periodontal será máxima a la altura del borde alveolar y en el punto contrario al ápice radicular.

3.1.4.- MOMENTO.

Es una medida de la tendencia de un objeto a girar sobre un punto. En términos cuantitativos, es el producto de la fuerza por la distancia perpendicular entre el punto de aplicación de la fuerza y el centro de resistencia, y se mide, en unidades de g/mm (o equivalentes).⁸

Esta afirmación puede representarse por la ecuación: $M = F \times D$ Donde:
 M = momento; F = magnitud de la fuerza aplicada; D = distancia perpendicular entre la línea de acción de la fuerza y el C. R.¹²

La fuerza no solo tenderá a desplazar el objeto a una nueva posición, sino que tenderá también a hacerlo girar alrededor del centro de resistencia. Por supuesto, este efecto es exactamente el que se produce cuando aplicamos una fuerza a la corona del diente.

El diente no solo se desplaza en la dirección de la fuerza, sino que también rota sobre el centro de resistencia; por consiguiente, el diente se inclina al desplazarse.⁸

Un ejemplo sería un puntapié, en el cual la punta del zapato incide en el canto de la pelota, consecuentemente distante del centro de resistencia. Se generará entonces una tendencia de rotación (popularmente conocida como efecto) lo que haría que su movimiento fuese una combinación de traslación y rotación. Esta tendencia de rotación, técnicamente se llama momento (fig. 22).¹²

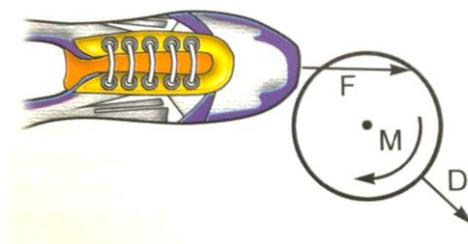


Fig. 22.- Esquema de como sucede un "momento".

Podemos afirmar entonces que, siempre que la línea de acción de una fuerza pase distante del centro de resistencia, se generará una tendencia de rotación del cuerpo (o momento). Cuanto más intensa sea la fuerza y cuanto más distante del C. R. pase su línea de acción, más grande será la magnitud del momento de rotación (fig. 23).¹²

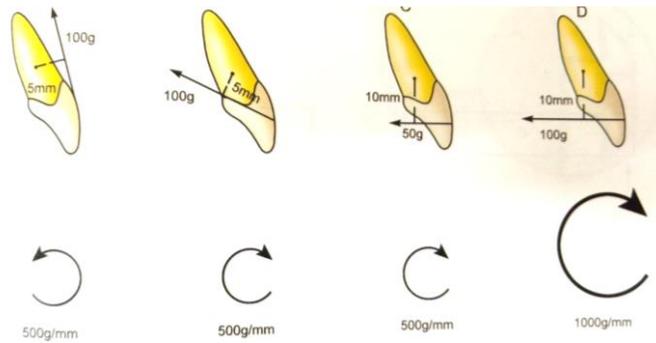


Fig. 23.- Fuerzas con diferentes magnitudes.

3.1.5.- BINARIO/PAR.

Dos fuerzas de igual magnitud y de dirección opuesta. El resultado de aplicar dos fuerzas de esta forma es un momento puro. Un par producirá una rotación pura alrededor de su centro de resistencia, mientras que la combinación de una fuerza y un par puede modificar la forma de girar de un objeto mientras se desplaza.⁸

Cuando las fuerzas componentes del binario son desplazadas hacia otra región del cuerpo, su efecto continúa provocando una rotación pura en sentido horario o antihorario. Esto permite que se produzcan binarios en la corona dentaria, cuyo resultado será una rotación alrededor del centro de resistencia. (fig. 24).¹²



Fig. 24.- Aplicación clínica de un binario con resortes y arco vestibular.¹⁵

3.1.6.- FULCRO/FULCRUM.

Al realizar un tratamiento de ortodoncia, si trazamos líneas correspondientes al eje longitudinal del diente en la situación original y en su posición después del movimiento, tendremos un punto en el que las líneas se cruzaran. Este punto se denomina fulcro y representa el centro de rotación del movimiento dentario. El fulcro puede ser controlado por el ortodoncista, es él quien define el tipo de movimiento dentario (fig. 25).¹²

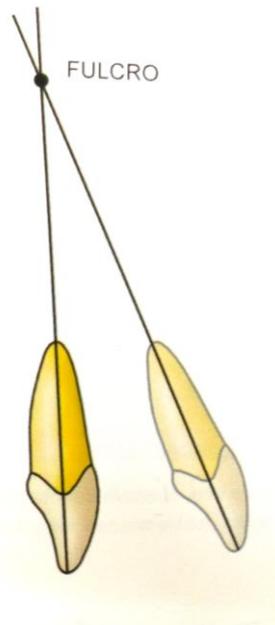


Fig. 14.- Ubicación del fulcrum

3.2.- RESPUESTA PERIODONTAL.

Las estructuras que forman el periodonto de inserción tienen una evolución correlativa a lo largo de la vida del diente, ya que la remodelación permanente de las fibras periodontales y del tejido del óseo, así como la aposición continuada y selectiva del cemento, se relacionan con los movimientos de acomodo y desplazamiento de los dientes.³

El movimiento ortodóncico solamente es posible por causa de la propiedad plástica del hueso alveolar, pero es mucho más compleja que la remodelación, por la presencia del ligamento periodontal (fig. 26).¹²

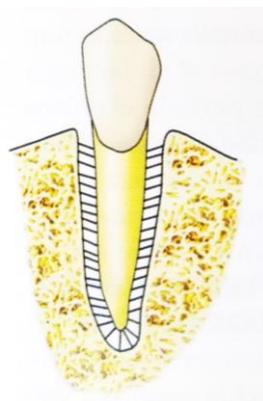


Fig. 26.- Diente en situación normal.

Dentro de las primeras fracciones de segundo, la fuerza intenta dislocar la raíz dentaria contra el alveolo, pero se lo impiden las fibras periodontales y el efecto hidráulico del líquido intersticial. En este momento, la carga se transfiere para el hueso, creando lo que se llama efecto piezoeléctrico.¹²

La piezoelectricidad es un fenómeno observado en muchas sustancias cristalinas por el que la deformación de la estructura cristalina produce un flujo de corriente eléctrica al desplazar otros electrones de una parte de la estructura cristalina a otra.

Las señales piezoeléctricas tienen dos características poco habituales: 1) una decadencia muy rápida (es decir, cuando se aplica la fuerza, se crea una señal como respuesta que baja rápidamente a cero, aunque se mantenga la fuerza), y 2) la producción de una señal equivalente, de dirección opuesta, cuando la fuerza deja de actuar.⁸

Este flujo cesa inmediatamente, aunque la fuerza se mantenga y surgirá un nuevo efecto eléctrico al ser retirada la carga. Este nuevo flujo de electrones ocurrirá en sentido opuesto al primero. Algunos autores suponen que el efecto piezoeléctrico tiene influencia en los procesos de movimiento

dentario, porque los campos eléctricos alteran la permeabilidad de la membrana celular (fig. 27).¹²

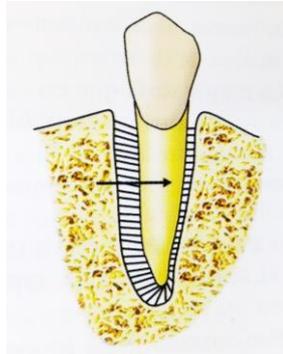


Fig. 27.- Dislocación del diente creando un efecto piezoeléctrico.

Desde los primeros segundos hasta el segundo día, debido a la porosidad de la cortical alveolar, el líquido intersticial drena para los tejidos vecinos, dejando de ejercer la presión hidráulica que promovía la contención de la dislocación radicular. De esta forma, la raíz se aproxima todavía más de la pared alveolar, distendiendo los ligamentos periodontales del lado en que se aplicó la fuerza y comprimiendo aquellos del lado opuesto. El sistema vascular es comprimido, lo que dificulta la circulación sanguínea tanto del lado de la tensión como del lado de la compresión.

La respuesta del tejido es similar a un proceso inflamatorio, siendo deflagrada por la histamina liberada por las células cebadas de la región agredida. La histamina tiene acción inmediata sobre los vasos sanguíneos, promueve la vasodilatación y abre espacios entre las células endoteliales que forman sus paredes, lo que provoca aumento de la permeabilidad. Esta primera reacción local recibe el nombre de “respuesta inmediata”.

Algunas proteínas que normalmente están presentes en la circulación sanguínea son liberadas para el interior de los tejidos periodontales. Estas proteínas actúan en la producción de las cininas (principalmente bradicinina), que irán a sustituir la histamina en la manutención del proceso inflamatorio.

La agresión de las membranas celulares induce la formación de las prostaglandinas, cuya acción junto con las cininas, será preservar la vasodilatación y el aumento de la permeabilidad vascular, ahora con más intensidad. El incremento de la irrigación sanguínea posibilita aumento de la actividad metabólica celular, lo que será de gran importancia en los procesos modeladores siguientes. Esta segunda fase se denomina “respuesta tardía”, y su pico de actuación ocurrirá de 2 a 4 horas después de la aplicación de la fuerza ortodóncica, aunque permanecerá activa mientras se mantenga el estímulo.

Las alteraciones locales estimulan la salida de monocitos del interior de los vasos sanguíneos. La fusión de los monocitos resultara en células multinucleadas conocidas como osteoclastos y responsables por la resorción de la cortical alveolar, donde hay compresión del ligamento. En la fase donde hay distensión de los ligamentos, el estímulo ocurre en sentido de que las células mesenquimales indiferenciadas se transformen en osteoblastos y fibroblastos.

Clínicamente este periodo se caracteriza por dolor moderado en los dientes sometidos a la carga, pero sin que estos se movilizcen (fig. 28).¹²

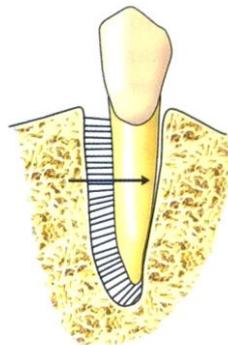


Fig.28.- Movilización dental por proceso inflamatorio periodontal.

Después del segundo día de la aplicación de la fuerza, las modificaciones locales permiten que los osteoclastos y los osteoblastos inicien los procesos de remodelación ósea, con aposición en el lado donde hay

tensión de las fibras periodontales y resorción en la cara ósea comprimida por los ligamentos. Lentamente el alveolo se disloca en el sentido de la aplicación de la fuerza, con consecuente movimiento ortodóncico.

Lo mejor sería que en este periodo el proceso doloroso no tuviese continuidad, lo que indicaría que la magnitud de la fuerza es correcta para el movimiento de aquel elemento dentario (fig. 29).¹²

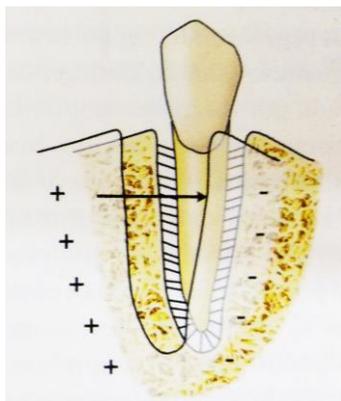


Fig. 29.- Remodelación ósea del alveolo y consecuente migración dentaria.

3.3.- RESPUESTA ÓSEA.

El tratamiento ortodóncico se basa en el principio de que, si se aplica una presión prolongada sobre un diente, se producirá una movilización del mismo al remodelarse el hueso que lo rodea. El hueso desaparece selectivamente de unas zonas y va añadiéndose a otras. Esencialmente, el diente se desplaza a través del hueso, arrastrando consigo su aparato de anclaje, al producirse la migración de alveolo dental. Dado que la respuesta ósea esta mediada por el ligamento periodontal, el movimiento dental es fundamentalmente un fenómeno de dicho ligamento.¹

Tanto la formación como reabsorción de hueso se controlan a nivel celular mediante mecanismos inflamatorios, por lo que la inflamación es un factor importante en la mediación de la fisiología y patología ósea. El modelado y remodelado óseos están controlados por procesos inflamatorios, desde un punto de vista tanto directo como indirecto.

El control de la mayoría de los procesos de modelado y algunos de remodelado óseo están relacionados con tensión, que suele definirse como microtensión ($\mu\epsilon$) (deformación por unidad de longitud $\times 10^{-6}$). Una carga repetitiva genera una respuesta específica, que está determinada por la deformación máxima. En un intento por simplificar los datos, Forst propuso la teoría del *mecanostato*, donde Martin y Burr proponen que: 1) una carga por debajo del umbral de 200 $\mu\epsilon$ da lugar a atrofia por desuso, manifestada como una disminución en el modelado y un aumento en el remodelado; 2) la carga fisiológica de aproximadamente 200 a 2 500 $\mu\epsilon$ va asociada a actividades normales y estables; 3) las cargas que exceden la tensión eficaz mínima (aproximadamente 2 500 $\mu\epsilon$) dan lugar a un aumento hipertrófico en el modelado y a un descenso concomitante en el remodelado; 4) cuando la deformación máxima supera aproximadamente los 4 000 $\mu\epsilon$, peligra la integridad estructural del hueso, lo que da lugar a una sobrecarga patológica.¹⁶

El movimiento dentario se produce a causa de la aplicación de fuerzas sobre los dientes, poniéndose en marcha una compleja cadena de fenómenos bioquímico-físicos que generan cambios morfológicos estructurales de los dientes que, por su elasticidad, se deforman transitoriamente, dando lugar a fenómenos piezoeléctricos bioeléctricos, que provocan cambios en la polaridad eléctrica de la membrana celular de todos los tejidos circundantes. Esto se produce debido a que estos momentos físicos rompen el equilibrio de fuerzas que mantienen a los dientes en la posición inicial, originando fenómenos de reabsorción y aposición ósea que permiten mover los dientes hacia la posición deseada. Para alcanzar la respuesta celular correcta debemos aplicar estímulos precisos. Existe una variabilidad individual, con relación a la resistencia biológica al movimiento, condicionada por factores sistémicos, genotipo, fenotipo, función masticatoria y actividad neuromuscular. Hemos de saber que todos estos factores que predisponen a conseguir el movimiento dentario tras la aplicación de fuerzas son ajenos al tipo de aparatos que

usemos, pero juegan un papel fundamental dentro del resultado final biomecánico.¹⁷

Esta remodelación afecta tanto a las trabéculas como a las compactas alveolares. De esta forma se logra que el alvéolo que contiene al elemento dentario lo acompañe en su desplazamiento, es decir, que el ortodoncista mueve a los dientes sin alterar su relación con el hueso alveolar. Este fenómeno ocurre también durante el desplazamiento fisiológico hacia mesial que experimentan los dientes a medida que se desgastan las superficies de contacto.³

Cuando se aplica una fuerza de ortodoncia, hay dos efectos simultáneos que se correlacionan. Flexión ósea alveolar y remodelación de los tejidos periodontales. La deformación ósea alveolar que compromete las estructuras principales como el ligamento periodontal, hueso y el cemento, la compresión y la tensión pueden coexistir en diferentes direcciones. Las magnitudes de compresión y tensión son típicamente diferentes en diferentes direcciones. Estos resultados combinados de magnitud y dirección del estrés sugieren que el L. P. es el iniciador de la mecanotransducción.

En general, la reacción ósea al movimiento del diente de ortodoncia se describe usando los dos términos "modelado" y "remodelado". Sin embargo, estos dos términos a veces son confundidos por los ortodoncistas. Básicamente, "modelado" es el mecanismo de esculpir que utiliza la materia prima del crecimiento óseo para dar forma a las estructuras, mientras que la "remodelación" es el mecanismo subyacente al recambio y mantenimiento esquelético de por vida. El modelado y la remodelación pueden coexistir durante el crecimiento óseo. Los movimientos de los dientes resultantes de las fuerzas de ortodoncia proporcionan un estímulo mecánico que induce respuestas biológicas, y la transformación implica modelado y remodelación ósea.¹⁸

En esencia, la remodelación ósea está orquestada por células de linaje de osteoblastos e involucra una red compleja de interacciones de célula a célula y de matriz a célula que involucra hormonas sistémicas, citocinas producidas localmente, factores de crecimiento, muchos de los cuales están secuestrados dentro de la matriz ósea, así como el entorno mecánico de las células. Los ortodoncistas trabajan en un entorno biológico único, en el que las fuerzas aplicadas engendran la remodelación de los tejidos periodontales mineralizados y no mineralizados, incluidos los vasos sanguíneos y los elementos neuronales asociados.¹⁸

3.3.1.- TEORÍAS DEL MOVIMIENTO DENTAL.

Siempre ha sido interesante comprender el concepto básico del movimiento de los dientes, de modo que se pueda reducir el tiempo de tratamiento, lo que resulta en la satisfacción del paciente. Se han realizado muchas investigaciones sobre las fuerzas mecánicas y el movimiento de los dientes en comparación con el enfoque en la biología celular. El principio del movimiento dental en el que la presión aplicada da como resultado la remodelación es un hecho microscópico, sin embargo, existen muchos dispositivos mecánicos innovadores para el movimiento de los dientes, pero aún no hemos tenido un éxito total en la prevención de lesiones periodontales. Esto podría deberse a la falta de comprensión celular completa.

La necesidad de comprender las vías específicas de remodelación es esencial para apuntar a esas células y lograr un pronóstico impecable. La ventaja de comprender las vías de remodelación nos ayuda a diseñar un mejor aparato que apunte a la célula específica para un movimiento acelerado y controlado de los dientes. La otra ventaja de conocer estas células también puede ayudarnos a estimular el cuerpo directa o indirectamente para producir o activar estas células.

La fuerza de ortodoncia aplicada sobre la estructura del diente resulta en un movimiento del diente por deposición y resorción del hueso alveolar

llamado remodelación. Esta fuerza se convierte en actividad biológica, aunque esta actividad no se comprende completamente, pero se recomiendan tres posibles teorías del movimiento de los dientes.¹⁹

3.3.1.1.- Teoría de la presión – tensión

La investigación histológica de Sandstedt, planteó la hipótesis de que un diente se mueve en el espacio periodontal creando un lado de presión y tensión (Tabla 1). Explica la alteración del flujo sanguíneo en el ligamento periodontal. Esta alteración da como resultado menores niveles de oxígeno en el lado de la presión debido a la compresión del ligamento periodontal y viceversa.

Factores que afectan el movimiento de los dientes.	Lado de la presión	Lado de tensión
El flujo de sangre	Disminuye	Aumenta
Nivel de oxígeno	Disminuye	Aumenta
Nivel de dióxido de carbono	Aumenta	Disminuye
Replicación celular	Disminuye	Aumenta
Producción de fibra	Disminuye	Aumenta

Tabla 1.- Factores que afectan el movimiento del diente de acuerdo con la teoría de Presión-Tensión (traducción)

Tuncay y cols observaron que la baja tensión de oxígeno causa una disminución de la actividad de ATP. Estos cambios pueden actuar directa o indirectamente sobre la actividad celular y la diferenciación.

Schwarz correlacionó la respuesta del tejido a la magnitud de la fuerza con la presión sanguínea capilar. Si la fuerza excede la presión (20–25 g/cm² de la superficie de la raíz), puede ocurrir necrosis tisular debido al periodonto estrangulado.

3.3.1.2.- Teoría de flexión ósea

Farrar declaró que cuando se aplica una fuerza de ortodoncia al diente, se transmite a todos los tejidos cerca del área de aplicación de la fuerza. Estas

fuerzas doblan los huesos, los dientes y las estructuras sólidas del ligamento periodontal. Como el hueso es más elástico que las otras estructuras, se dobla sin esfuerzo y el proceso de movimiento de los dientes se acelera. Esto también explica el rápido movimiento del diente que ocurre en el sitio de extracción y en pacientes pediátricos, en los cuales el hueso no está muy calcificado y es más flexible.¹⁹

3.3.1.3.- *Teoría de electricidad biológica*

Esta teoría fue propuesta por Bassett y Becker en 1962. Según ellos, cada vez que el hueso alveolar se flexiona o se dobla, libera señales eléctricas y, en cierta medida, es responsable del movimiento del diente. Inicialmente se pensó que eran señales piezoeléctricas. Las características de estas señales son:

- Tienen una velocidad de desintegración rápida, lo que significa que se inicia cuando se aplica la fuerza y al mismo tiempo desaparece rápidamente incluso con la fuerza mantenida.
- Producen una señal igual en el lado opuesto cuando se libera la fuerza.

Después de la flexión ósea, los iones interactúan entre sí en presencia del campo eléctrico que causa señales eléctricas y cambios de temperatura. Se observa un pequeño voltaje llamado "potencial de transmisión". Son diferentes de las señales piezoeléctricas e incluso pueden ser generadas por un campo eléctrico externo, que puede modificar la actividad celular.

Hay otro tipo de señal presente en el hueso que no está siendo estresado llamado "potencial bioeléctrico". El hueso que es metabólicamente activo muestra cambios electronegativos que son proporcionales a su actividad. La desviación del hueso alveolar por las fuerzas de ortodoncia se acompaña de un cambio consecuente en el ligamento periodontal.

Las fibras periodontales que generan estrés en el hueso durante las fuerzas de ortodoncia se evaluaron con la naturaleza de la relación electroquímica

entre la fuerza de ortodoncia y el complejo dentoalveolar. Se concluyó que el área con carga electronegativa se caracteriza por un nivel elevado de actividad osteoclástica y el área de carga electropositiva se caracteriza por un nivel elevado de actividad osteoblástica.

Según Davidovitch *et al.*, la corriente eléctrica exógena junto con las fuerzas de ortodoncia acelera el movimiento del diente de ortodoncia. Esto sugiere que la respuesta piezoeléctrica debido a la flexión ósea podría funcionar como "primer mensajero celular".¹⁹

3.3.2.- MOVIMIENTOS DENTARIOS.

En ortodoncia, no existe consenso sobre cómo mover los dientes de manera más eficiente. Un enfoque óptimo debería dar como resultado la mayor tasa posible de movimiento dental sin daño irreversible en el ligamento periodontal, el hueso alveolar o la raíz. La formación de áreas libres de células en el ligamento periodontal no se puede evitar, incluso con fuerzas ligeras. La hialinización ocurre con menos frecuencia durante el movimiento del diente corporal que durante los movimientos de versiones, porque las fuerzas se distribuyen de manera más uniforme a lo largo de la superficie de la raíz durante el movimiento corporal.

Los estudios experimentales sobre el movimiento de los dientes a menudo son difíciles de interpretar porque la descripción de las fuerzas de ortodoncia no es uniforme e incompleta. Otro problema es que, en estudios anteriores, se investigaron los movimientos de versiones, donde la corona del diente se usa como punto de referencia para medir el movimiento del diente. Los resultados de estos estudios son difíciles de interpretar porque la relación entre la velocidad del movimiento de la corona y la raíz depende de la posición del centro de rotación que es difícil de determinar y probablemente cambia durante el movimiento del diente.

Otros factores además de la magnitud de la fuerza están involucrados en la determinación de la tasa de movimiento posterior del diente. Las

diferencias individuales en la densidad ósea, el metabolismo óseo y el recambio en el ligamento periodontal pueden ser responsables de la variación.²⁰

El ortodoncista puede definir el tipo de movimiento dental que realizara si controla la localización del fulcro a partir de una utilización correcta de las fuerzas, momentos y binarios.

3.3.2.1.- *Inclinación.*

Descontrolada. Es el tipo de movimiento denario más fácil de obtener por el profesional. También se denomina movimiento pendular, y se origina al sumarse la acción de una fuerza simple (un solo dedo) en la corona dentaria) aplicada distante del C. R. y del momento de rotación resultante es esta fuerza. En este caso el fulcro se localiza bastante próximo del centro de resistencia.

La inclinación descontrolada ocurre siempre que una fuerza simple (sin torque) se aplica en la corona de un diente. Podemos citar como ejemplos clínicos los diversos resortes de aparatos removibles. También producen movimiento pendular los aparatos expansores y planos inclinados; el arco vestibular de la placa de Hawley cuando se utiliza en la lingualización de dientes anteriores, así como los aparatos fijos con alambres redondos en la realización de movimientos vestibulolinguales.

La resorción ósea ocurrirá del mismo lado de la fuerza, en la región alveolar situada apicalmente al fulcro, y del lado opuesto a la aplicación de la carga ortodóncica, en la porción alveolar orientada hacia oclusal (fig. 30).¹²



Fig. 3015.- Resorción ósea causado por inclinación descontrolada.

Este hecho merece la especial atención del ortodoncista, principalmente en el área de incisivos, en los cuales el movimiento en sentido vestibulolingual pueda llevar el ápice radicular contra la cortical ósea, provocando resorción radicular. Las inclinaciones descontroladas en la dirección mesiodistal pueden ocasionar la presión del ápice radicular en dientes vecinos, lo que provocaría también resorción de la raíz.

Inclinación controlada: el ortodoncista mueve todo el diente, manteniendo el ápice radicular inmóvil. Por tanto, el fulcro el movimiento dentario coincide con el final de la raíz.

Este tipo de movimiento es necesario cuando la corona está mal posicionada, pero lo mismo no ocurre con la región apical. Un ejemplo clásico de este tipo de movimiento es la retracción del sector anterior en pacientes con protrusión dentaria y que tuvieron cuatro premolares extraídos. Al utilizar la inclinación controlada se evita el riesgo de vestibularización del ápice radicular.

La inclinación controlada en el sentido vestibulolingual es posible solamente cuando un binario anula parte de la tendencia de rotación del diente (momento), causada por la aplicación de la fuerza ortodóncica de retracción.

3.3.2.2.- Rotación.

Este es un movimiento complejo, en el cual el centro de rotación es el centro de resistencia en el eje vertical. Para lograrlo es necesario aplicar un “par de fuerzas” apropiadamente colocadas así que el diente literalmente gira alrededor de un punto. Si la forma de la raíz fuera perfectamente redondeada siempre habría la misma distancia del centro de rotación a cualquier punto de ella y el diente girara dentro de su alveolo sin movimientos lateral o posteroanterior. Pero, como las raíces son generalmente ovaladas, se crean dos sitios de presión y de tensión, con las correspondientes resorciones y aposiciones. Pero lo que es de principal

consideración cuando se trata de este movimiento, es el papel de las fibras periodontales para la fase de retención. En todo caso, los cambios de remodelado óseo dependen de la forma de la raíz y del dispositivo empleado para lograr el movimiento (fig. 31).¹⁴

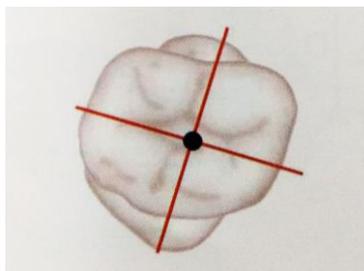


Fig.31.- Movimiento de rotación.

3.3.2.3.- Traslación

Traslación o movimiento de cuerpo, es aquel desplazamiento en el que el diente no sufre alteraciones de su eje longitudinal. En la translación decimos que el fulcro está en el infinito, porque las prolongaciones del eje longitudinal del diente antes y después del movimiento son paralelos o coincidentes.

Serían coincidentes cuando el diente se mueva en el sentido de intrusión o extrusión y serían paralelos en los desplazamientos horizontales u oblicuos.

Entre los movimientos verticales, la extrusión es la más fácil de obtener, pues produce pocas áreas de compresión del ligamento periodontal. Por eso hay poco riesgo de hialinización y el organismo solo necesita depositar tejido óseo para preservar la implantación dentaria. En la práctica clínica, es muy difícil obtener solo extrusión, sin que haya una ligera rotación.

En la intrusión ortodóncica, se comprimen gran parte de los ligamentos periodontales, así como el haz vasculonervioso que llega a la pulpa. La resorción ósea ocurrirá alrededor del ápice. De todo esto se deduce que la intrusión debe ser lenta y producida por fuerzas de baja intensidad para que no se provoquen daños tisulares (fig. 32).¹²

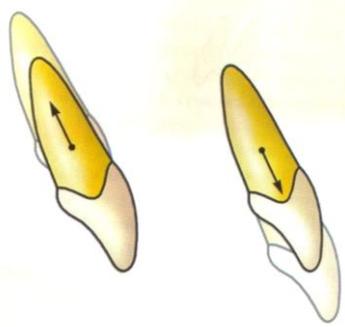


Fig. 32.- Movimientos de intrusión / extrusión

La traslación propiamente dicha (movimiento horizontal u oblicuo que preserva la inclinación del eje longitudinal del diente) es uno de los movimientos ortodóncicos más complejos. Su obtención es posible, siempre que la línea de acción de la fuerza cruce el centro de resistencia o cuando la tendencia a la rotación causada por una fuerza distante del centro de resistencia es totalmente anulada.

Para la obtención de la traslación vestibulolingual necesitamos un binario que anule por completo el momento provocado por la fuerza de retracción la traslación propiamente dicha, el ligamento periodontal del lado opuesto a la fuerza será comprimido en toda su extensión creando una gran área de estrés y alto riesgo de hialinización. Este es un motivo significativo para producir retracción utilizando fuerzas de baja intensidad (fig. 33).¹²

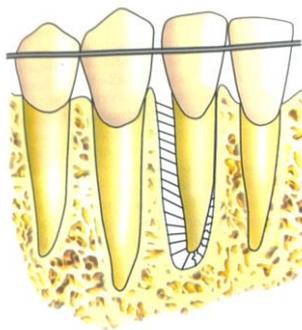


Fig. 33.- Movimiento de traslación.

3.3.2.4.- Corrección radicular

Es el movimiento de elección para promover el cambio del eje longitudinal del diente, sin alterar la posición del borde inicial. El fulcro estará entonces, en la posición más oclusal de la corona (fig. 34).¹²

El movimiento se obtiene con la ejecución de un binario acentuado en la corona (torque) y fuerza de retracción igual o próxima a cero. El torque se aumenta progresivamente hasta que el diente alcance el posicionamiento normal. Existe la posibilidad de realizar el movimiento de corrección radicular en sentido mesiodistal; este se realizará con aparatos fijos.

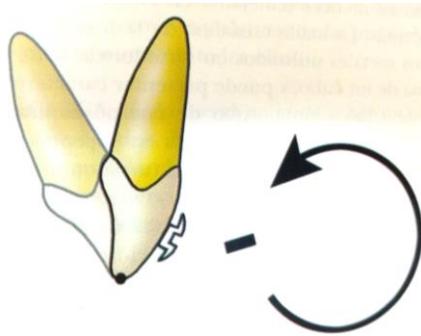


Fig. 34.- Corrección radicular.

Cuando acompañamos la migración de un diente durante el tratamiento ortodóncico notamos que raramente se mueve de acuerdo con solo uno de los movimientos descritos anteriormente, en general, se combinan dos o hasta cuatro modalidades de movimiento dentario hasta la corrección ortodóncica completa. Volvemos a resaltar que los aparatos acrílicos removibles realizan solamente la inclinación descontrolada o movimiento pendular.¹²

3.3.2.5.- Fases del movimiento dental

Burstone en 1962 sugirió tres fases de movimiento dental:

- 1) Fase inicial,
- 2) Fase de latencia,

3) Fase posterior al retraso.

La fase inicial ocurre inmediatamente después de la aplicación de fuerza al diente. El movimiento es rápido debido al desplazamiento del diente en el espacio periodontal. El período de tiempo de la fase inicial generalmente ocurre entre veinticuatro horas y dos días. El movimiento del diente ocurre dentro de la cavidad ósea. Debido a la fuerza aplicada sobre el diente, existe una compresión y estiramiento del ligamento periodontal que a su vez provoca la extravasación de los vasos, la quimio-atracción de las células inflamatorias y el reclutamiento de osteoblastos y progenitores de osteoclastos. Después de la fase inicial, hay una fase de retraso en la que el movimiento es mínimo o, a veces, ningún movimiento. La razón de esta fase es la hialinización del ligamento periodontal comprimido. El movimiento no tendrá lugar hasta que las células extraigan el tejido necrosado. En la fase de retraso, el movimiento del diente se detiene durante veinte a treinta días y durante este período de tiempo se elimina todo el tejido necrótico junto con la reabsorción de la lámina ósea adyacente. El tejido necrótico del hueso comprimido y los sitios de ligamento periodontal comprimido se eliminan mediante macrófagos, células gigantes de cuerpos extraños y células de osteoclastos. La tercera fase es la fase posterior al retraso en la que el movimiento del diente aumenta gradual o repentinamente y generalmente se ve después de cuarenta días después de la aplicación de la fuerza inicial. Se ha planteado la hipótesis de que, durante el desplazamiento del diente, se produce un desarrollo continuo y la eliminación de tejido necrótico (Melsen, 1999).¹⁹

3.4.- APLICACIÓN DE LAS FUERZAS

En los últimos 70 años, el concepto de fuerza óptima ha cambiado considerablemente. Schwarz propuso el concepto clásico de la fuerza óptima. Él definió la fuerza continua óptima como *"la fuerza que conduce a un cambio en la presión del tejido que se aproxima a la presión sanguínea de los vasos capilares, evitando así su oclusión en el ligamento periodontal"*

comprimido". Según Schwarz, las fuerzas muy por debajo del nivel óptimo no causan reacción en el ligamento periodontal. Las fuerzas que exceden el nivel óptimo conducirían a áreas de necrosis tisular, evitando la reabsorción ósea frontal. Por lo tanto, el movimiento de los dientes se retrasaría hasta que la resorción debilitante hubiera eliminado el obstáculo del tejido necrótico.

El concepto actual de fuerza óptima se basa en la hipótesis de que una fuerza de cierta magnitud y características temporales (continua frente a intermitente, constante frente a disminución, etc.) sería capaz de producir una tasa máxima de movimiento dental sin daño tisular y con el máximo beneficio del paciente: comodidad. La fuerza óptima para el movimiento del diente puede diferir para cada diente y para cada paciente individual.

Debido a que no es posible realizar un metanálisis de la relación entre la magnitud de la fuerza y la tasa de movimiento de los dientes a partir de la literatura actual, no se puede recomendar un nivel de fuerza basado en la evidencia para la eficiencia óptima en la ortodoncia clínica.²¹

Solo hasta el año 2000, se informó que una fuerza óptima, para mover correctamente un canino sin comprometer su posición final, en los tres planos del espacio se obtuvo solo con 18 g, esto significa que cualquier nivel de fuerza por encima de esto, no pueden calificarse como una fuerza ligera.¹⁸

Cuando un aparato libera una fuerza de suficiente magnitud sobre un diente, el diente se moverá, si estos dientes están rodeados por tejidos periodontales y hueso alveolar sanos. Como hemos mencionado, una fuerza ortodóncica comprime al ligamento periodontal y hueso alveolar adyacente de la raíz en avance, estimulando la reabsorción del hueso alveolar por los osteoclastos; la superficie radicular de lado opuesto estira los ligamentos periodontales y, a su vez, estimula la actividad de los osteoblastos; cuando este mecanismo falla, por ejemplo la raíz del diente

está directamente conectada al hueso alveolar sin la intervención del ligamento periodontal, esta condición se llama *anquilosis*.

Las fuerzas ortodóncicas máximas sobre el lado comprimido de la raíz ocluyen los vasos sanguíneos y crean áreas de células libres (tipo hialino), previniendo la reabsorción osteoclástica en la superficie del hueso alveolar. Sin reabsorción ósea, el diente no podrá moverse en dirección de la fuerza.

Unas fuerzas máximas excesivas pueden matar a las células del ligamento periodontal, causando dolor al paciente, causando resorción de la raíz, y demorará el movimiento del diente.

Schwarz demostró en la rotación de premolares en un perro, que las fuerzas de 3 – 5 g y 20 g liberadas por el resorte resultaron biológicamente favorables para el movimiento; mientras que, una fuerza de 67 g era bastante fuerte y causaba reabsorción radicular.¹¹

Stanley, concluye que las fuerzas del resorte en dedo entre 5 – 20 gramos producen un movimiento dental biológicamente favorable. Las fuerzas del resorte en dedo de 70 gramos y más causarán eventos biológicamente desfavorables en la raíz del diente, ligamento periodontal y hueso alveolar.

La secuencia de eventos descritos en la respuesta ósea y periodontal, que sucede a la aplicación de una carga y produce la migración del diente conjuntamente con su alveolo, es frecuentemente influenciada por la magnitud de la fuerza aplicada.¹²

3.4.1.- FUERZAS CONTINUAS

Son las fuerzas características de los aparatos fijos. Surgen en el momento en que el dispositivo que aplica la fuerza es instalado y su acción persiste por varios días de forma continua. Generalmente, debido a la migración dentaria, la intensidad de la fuerza tiende a decrecer y corresponde al ortodoncista reactivar la aparatología de forma periódica para mantener el nivel deseado.

Si la fuerza continua decae rápidamente después de la activación, decimos que es de corta duración, si por el contrario, su valor es más estable la llamamos de larga duración.

El aparato ortodóncico más eficiente es aquel que aplica la fuerza óptima de manera continua, que produce resorción ósea frontal y migración dentaria rápida e indolora. Al contrario, las fuerzas pesadas utilizadas de forma continua no proporcionan al tejido periodontal y pulpar un suministro sanguíneo adecuado. Su utilización provoca daños tisulares irreversibles y por consiguiente su uso debe ser evitado.¹² (Fig. 35)

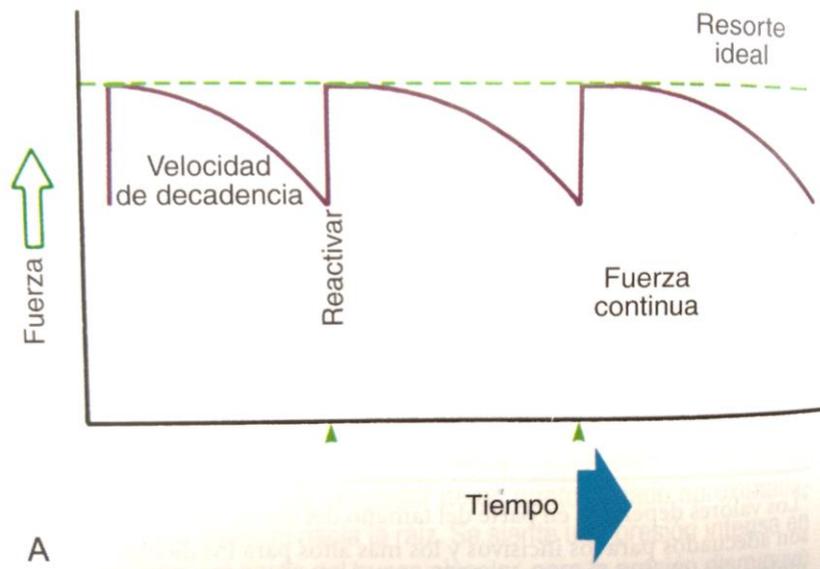


Fig. 35.- Esquemática de una fuerza continua de corta duración.⁸

3.4.2.- FUERZAS INTERMITENTES

Son fuerzas aplicadas por aparatos removibles, por eso, su intensidad varía entre el valor deseado y la ausencia total de presión, donde el paciente ocupa el aparato ciertas horas del día y se lo retira un par de horas donde no se aplica ninguna fuerza ortodóncica.

En esos casos, el ligamento periodontal sufre “estrés” solo durante la parte donde lo lleva puesto, y dispone de muchas horas para su regeneración.

Esto permite que el ortodoncista pueda emplear, de forma intermitente, tanto fuerzas leves como fuerzas pasadas, sin producir lesiones tisulares definitivas.¹²

Los niveles de fuerza descienden bruscamente a cero de manera intermitente, cuando el paciente se quita un aparato removible ortodóncico o un elástico unido a un aparato fijo, y poco después vuelve a los niveles originales. Cuando los dientes se mueven, el nivel de las fuerzas disminuye igual que con un aparato fijo (es decir, la fuerza intermitente se puede convertir en interrumpida dentro los ajustes del aparato) (fig. 36).⁸

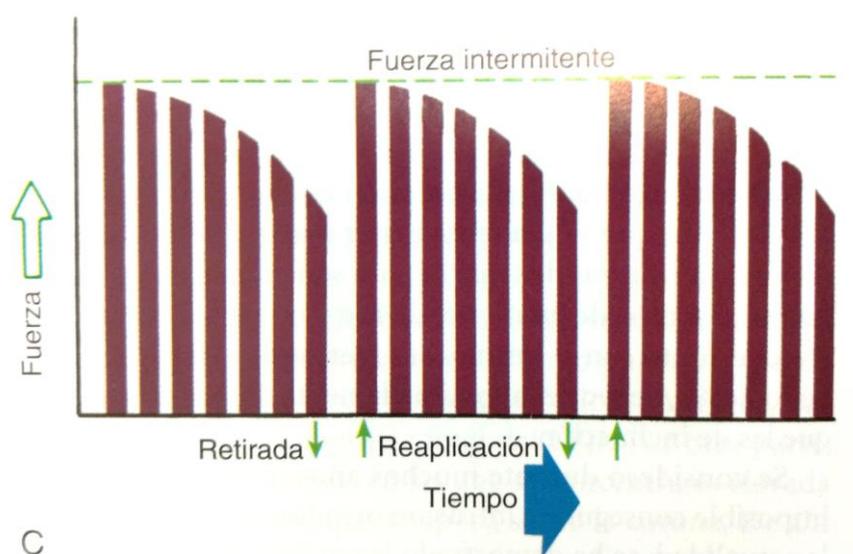


Fig. 3616.- Esquemización de las fuerzas intermitentes.

Además de la magnitud y del ritmo, que son factores directamente relacionado a la fuerza, hay algunas condiciones anatómicas locales que deben ser cuidadosamente observadas al hacer la planificación mecánica, por ejemplo, el volumen radicular. A partir de experiencias con dientes de perros, Schwarz concluyó que el movimiento ortodóncico más eficiente ocurría cuando en el periodonto se producía una presión levemente superior a la presión capilar, o sea, 25 g por cm² de raíz.¹²

3.4.3.- FUERZAS INOCUAS

Esta categoría comprende fuerzas de magnitud tan pequeña que son incapaces de deflagrar el efecto electroquímico responsable por el movimiento ortodóncico.¹²

3.4.4.- FUERZAS LEVES

Son fuerzas de un determinado valor, se inicia el proceso de movimiento dentario. En la figura 37 se observa que la tasa de movimiento dentario (en mm/día) es mínima. Sin embargo, con el aumento de la intensidad de la fuerza, rápidamente se alcanza el punto de fuerza optima (F. O.) en el cual la carga ortodóncica produce el movimiento dentario más eficaz. Este punto se conoce como fuerza optima y puede definirse como la fuerza ideal capaz de producir movimiento ortodóncico. Burstone define la F. O. como aquella que proporción un movimiento dentario rápido, sin molestias para el paciente y son daño tisular.¹²

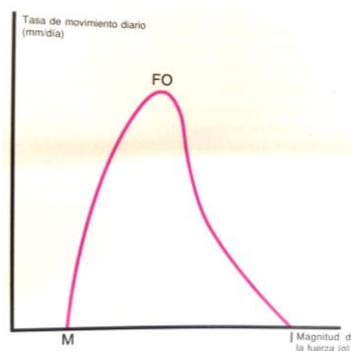


Fig. 37.- Tasa de movimiento dentario. M = movimiento; FO = fuerza optima; I = inmovilización.

Para algunas investigaciones 10 g es una fuerza ligera, pero para otras, 50 – 200 g es la misma fuerza ligera. Existen artículos que informan sobre tipping en premolares utilizando fuerzas de 50 a 200 cN y dos artículos informaron sobre tipping en molares utilizando fuerzas de 100 a 500 cN. El número y la homogeneidad de los estudios en humanos incluidos fueron demasiado limitados para permitir establecer el valor de una fuerza ligera.

De los estudios incluidos, se destaca porque realizaron una retracción canina eficiente solo usando 18 g, su estudio también informó que, para calcular adecuadamente la fuerza necesaria para mover un canino, la longitud de la raíz debe medirse contra el movimiento y una distancia elíptica interfocal a nivel cervical nivelado, no de diámetro ya que la raíz nunca es perfectamente redonda.¹⁸

3.4.5.- FUERZAS PESADAS

Denominamos fuerzas pesadas aquellas que producen gran cantidad de áreas de hialinización en la zona de compresión del ligamento periodontal. No habrá entonces resorción frontal de la lámina dura del alveolo y el diente se mantendrá inmóvil por un largo período de tiempo.

En una evaluación histológica se observa la necrosis estéril del tejido periodontal en la zona de la compresión de los ligamentos, asociada a la colusión de los vasos, falta de suministro sanguíneo y falta de oxígeno de las células conjuntivas.

La presión excesiva en la superficie cortical del alveolo, se dispara para interior del hueso basal, de forma similar a las ondulaciones formadas por una piedra lanzada al agua. Así, en alguna región distante de la pared del alveolo, el gradiente de fuerza capaz de producir estímulos químicos y eléctricos responsables por la resorción ósea es alcanzado y el tejido comienza a ser retirado. Este proceso se llama “resorción minante” o resorción ósea a distancia (fig. 38).¹²

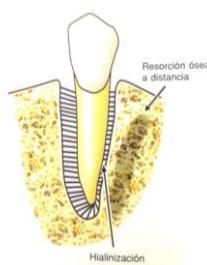


Fig. 38.- Áreas de hialinización y resorción minante.

En caso que la fuerza se mantenga por unos días, el área de hueso reabsorbido crece progresivamente alcanzando la cortical alveolar, hasta que ella también sea retirada. En este momento, el diente se disloca súbitamente para la nueva posición, después de varios días de inmovilidad.

En la tabla 2 podemos resumir los efectos provocados por las fuerzas leves y las fuerzas pesadas.¹²

	FUERZAS LEVES	FUERZAS PESADAS
Tipo de resorción	Frontal (en la pared del alveólo)	Minante o a distancia
Alteraciones tisulares	Predominantemente fisiológicas	Predominantemente patológicas
Tipo de movimiento dentario	Continuo	Intermitente
Reflejo en las suturas óseas	Pequeño	Grande, puede provocar movimiento ortopédico
Sensación dolorosa	Presente en los primeros 2 o 3 días	Grande (si las fuerzas son continuas o prolongadas)

Tabla 2.- Efectos provocados en el movimiento dental por las fuerzas leves y pesadas.

3.5.- EFECTOS PERJUDICIALES DE LAS FUERZAS ORTODÓNICAS

Clínicamente podemos afirmar que las fuerzas pesadas son más patológicas que las suaves ocasionando problemas que se mencionan a continuación.¹²

3.5.1.- SOBRE LA RAÍZ

El tratamiento ortodónico requiere la remodelación del hueso adyacente a la estructura radicular de los dientes. Se creyó durante muchos años que la estructura radicular no sufría las mismas remodelaciones que el hueso. Investigaciones más recientes han dejado muy claro que cuando se aplican

fuerzas ortodóncias suele producirse alguna remodelación del cemento de la superficie radicular y del hueso adyacente.

Rygh et al han demostrado que el cemento adyacente a las áreas hialinizadas (necróticas) del ligamento periodontal queda “marcado” por este contacto y que los osteoclastos atacan este cemento cuando se repara el ligamento periodontal. Esta observación permite explicar porque una fuerza ortodóncica intensa y continuada puede dar lugar a una grave reabsorción radicular. Sin embargo, incluso extremando el control de las fuerzas ortodóncicas, es difícil evitar la formación de algunas zonas hialinizadas en el ligamento periodontal.

Parece ser que el cemento (y la dentina, si la reabsorción atraviesa el cemento) es eliminado de la superficie de la raíz mientras actúa la fuerza activa, y posteriormente es restaurado durante los periodos de inactividad relativa. En otras palabras, la remodelación de la raíz es una característica constante de la movilización ortodóncica, pero solo se producirá una pérdida permanente de la estructura de la raíz si la reparación no repone el cemento reabsorbido anteriormente.⁸

3.5.2.- SOBRE LA CRESTA ÓSEA.

Otro efecto del tratamiento ortodóncico podría ser la pérdida de la altura del hueso alveolar, dado que la presencia de aparatos ortodóncicos incrementa el grado de inflamación gingival, incluso con una buena higiene, este posible efecto secundario del tratamiento podría parecer aún más frecuente. Por fortuna, no es frecuente observar una pérdida excesiva de altura en el hueso alveolar como complicación del tratamiento. En una muestra importante de paciente, la pérdida de altura del borde alveolar fue inferior a 0.5 mm y casi nunca fue superior a 1 mm.⁸

A pesar de ser un riesgo para los tejidos periodontales, las fuerzas pesadas pueden ser usadas por profesionales prudentes. Su aplicación produce el

fenómeno de la hialinización, a consecuencia de la sobrecarga, y sirve como anclaje del elemento dentario.¹²

3.5.3.- ALTERACIONES PULPARES

Aunque las reacciones de la pulpa al tratamiento ortodóncico son mínimas, puede producirse una respuesta inflamatoria leve y transitoria de la misma, al menos al inicio del tratamiento.

Ocasionalmente se publican casos de pérdida de la vitalidad dental durante el tratamiento ortodóncico. Suele haber una historia de traumatismo dental previo, aunque también puede deberse a un mal control de las fuerzas ortodóncicas. Si un diente está sometido a una fuerza intensa y constante, se produce una secuencia de movimientos bruscos al permitir la reabsorción basal unos cambios cada vez mayores. Un movimiento brusco lo bastante importante del ápice radicular puede interrumpir los vasos sanguíneos a su entrada. También se ha podido observar una pérdida de la vitalidad cuando los incisivos se inclinan distalmente hasta el punto de que el ápice de la raíz llega a salir del proceso alveolar el moverse en dirección contraria.

Dado que el factor fundamental en el movimiento ortodóncico de los dientes es la respuesta del ligamento periodontal, no de la pulpa, es perfectamente factible mover los dientes sometidos a tratamiento endodóncico.⁸

3.5.4.- MOVILIDAD DENTAL

La movilización ortodóncica de los dientes no solo requiere la remodelación del hueso adyacente a los dientes, sino también una reorganización del propio ligamento periodontal. Las fibras se desinsertan de la superficie del hueso y el cemento y se vuelven a insertar después.

Una respuesta previsible al tratamiento ortodóncico es un moderado aumento de la movilidad. No obstante, cuanto más intensas sean fuerzas ortodóncicas, mayores serán la reabsorción basal previsible y la movilidad.

Una movilidad excesiva es un indicio de que se están aplicando fuerzas demasiado intensas. Esta situación puede suceder porque el paciente hace mucha carga sobre un diente que se ha movido a una posición de oclusión traumática. Si un diente queda demasiado móvil durante el tratamiento ortodóncico, deben interrumpirse todas las fuerzas hasta que su movilidad disminuya a niveles moderados. A diferencia de la reabsorción radicular, la movilidad excesiva suele corregirse por sí sola y sin dejar secuelas.⁸

3.5.5.- DOLOR

Al contrario de las fuerzas leves, que en el momento de aplicación no provocan dolor y dejan al paciente con una ligera molestia apenas para masticar 2 o 3 días, las fuerzas pesadas pueden ser muy dolorosas. En estos casos la sensibilidad es más grande, con dificultad para la alimentación y persistencia de la sintomatología por varios días.¹²

CAPÍTULO 4.- Efectos esqueléticos de las fuerzas ortodóncicas.

La aplicación de fuerzas ortodóncicas sobre los dientes tiene la capacidad de irradiarse hacia el exterior y afectar a regiones óseas distantes; por no ser un entorno aislado, sino que el complejo maxilomandibular es un todo, solo haremos una breve descripción de cómo las fuerzas se pueden irradiar y afectar el desarrollo de la maxila o de la mandíbula sin ahondar mucho en el tema.

4.1.- SOBRE EL TERCIO MEDIO FACIAL

Restricción del crecimiento de la maxila.

Los puntos importantes de crecimiento de la maxila (además de los procesos dentoalveolares), aquellos en los que se podría alterar la expresión del crecimiento, son las suturas que unen a la maxila con el cigomático, las placas pterigoideas y la región frontonasal, así como la sutura que divide el paladar por la mitad. Estas suturas son parecidas en algunos aspectos al ligamento periodontal, pero sin una estructura tan compleja ni tanta densidad colagenosa.

Para modificar el crecimiento excesivo de la maxila, el tratamiento deberá basarse en aplicar una fuerza que se oponga a las fuerzas naturales que separan las suturas, limitando la separación que pudiera producirse para modificar el crecimiento insuficiente, habría que sumar una fuerza adicional a las fuerzas naturales, aumentando la separación que se pudiera producir e incrementado el crecimiento.

Resulta difícil medir la compresión o la tensión que sufren las suturas, y no hay forma de saber lo que se necesita en teoría para altera el crecimiento. La experiencia clínica sugiere que la aplicación de fuerzas moderadas sobre los dientes superiores puede impedir el crecimiento anterior de la

maxila, pero se necesitan fuerzas de mayor intensidad para separar las suturas y estimular el crecimiento. Cuando se aplica una fuerza a los dientes, las suturas solo reciben una pequeña parte de la presión que actúa sobre el ligamento periodontal (L. P.), ya que las primeras tienen una superficie mucho mayor. Por este motivo, incluso las moderadas fuerzas que se recomiendan para restringir el crecimiento anterior del maxilar tienden a ser de mayor magnitud que las recomendadas únicamente para el movimiento dental. Por ejemplo, una fuerza de 250 g por lado (500 g en total) es probablemente el mínimo para impedir el desplazamiento anterior de la maxila, y es frecuente aplicar esta fuerza o una superior solo sobre los primeros molares a través de un arco facial.

El efecto de esta mayor fuerza sobre la dentición es motivo justificado de preocupación. Durante el tratamiento de modificación del crecimiento, no es deseable el movimiento dental; lo que se pretende es corregir la discrepancia de la maxila y no mover los dientes para camuflarla.

Una fuerza intensa y continuada puede dañar las raíces dentales y el periodonto. Las fuerzas intensas e intermitentes tienen menos probabilidades de producir lesiones; además las fuerzas intermitentes inducen menos movimiento dental, debido probablemente a que el estímulo para la reabsorción basal se difumina durante los periodos en los que se retira la fuerza intensa. Podemos deducir lógicamente que para limitar los daños dentales conviene evitar la aplicación de fuerzas intensas y constantes sobre el maxilar.

Dado que la movilización de los dientes es un efecto indeseable, convendría que la aplicación intermitente de fuerzas intensas produjese un mayor efecto esquelético que dental.

En la movilización dental existe un umbral definido para la duración de las fuerzas: no se producirá nada de remodelación ósea salvo que apliquemos una fuerza sobre un diente durante al menos 6 h diarias. Se ignora si se

aplica a las suturas un umbral de duración parecido, pero la experiencia clínica sugiere que podría ser así.

Hasta hace poco tiempo, no se consideraba importante el momento del día en el que se aplicaba la fuerza. En función de los resultados obtenidos en animales experimentales y en seres humanos, parece claro que el crecimiento a corto plazo se caracteriza por fluctuaciones en la velocidad de crecimiento, incluso a lo largo de un mismo día. Se sabe desde hace algún tiempo que, en los niños en desarrollo, la hormona del crecimiento se libera fundamentalmente a última hora de la tarde, por lo que no debe sorprendernos que la adición de nuevo tejido óseo a las placas epifisarias de los huesos largos se produzca fundamentalmente durante la noche. Se ignora si el crecimiento facial sigue el mismo patrón, pero es muy posible que sí. Sin embargo, la liberación de la hormona del crecimiento comienza a media tarde y probablemente convenga insistir en que el paciente empiece a utilizar un aparato funcional inmediatamente después de la merienda, en vez de esperar a la hora de acostarse.

Aumento del crecimiento de la maxila.

La estimulación del crecimiento anterior de la maxila mediante la aplicación de una tensión sobre las suturas no ha dado tan buenos resultados clínicos como la restricción del crecimiento. Las dificultades para estimular el crecimiento anterior de toda la maxila reflejan probablemente nuestra incapacidad para producir una fuerza suficiente que separe las suturas posteriores y superiores en niños mayores, pero eso no es todo. Otra parte del problema radica en el grado de interdigitación de las espículas óseas a través de las líneas de sutura. En las medidas en que las suturas se van interdigitando más con la edad, cada vez es más difícil separarlas. En un adolescente es posible aplicar suficiente fuerza a través del paladar con un tornillo de expansión para abrir una sutura mesopalatina moderadamente interdigitada, pero la fuerza extraoral producida por una máscara facial no puede generar tanta fuerza sobre el extenso sistema de suturas situado por

encima y por debajo del maxilar, una vez que se ha alcanzado un grado de interdigitación moderado (fig. 39).⁸

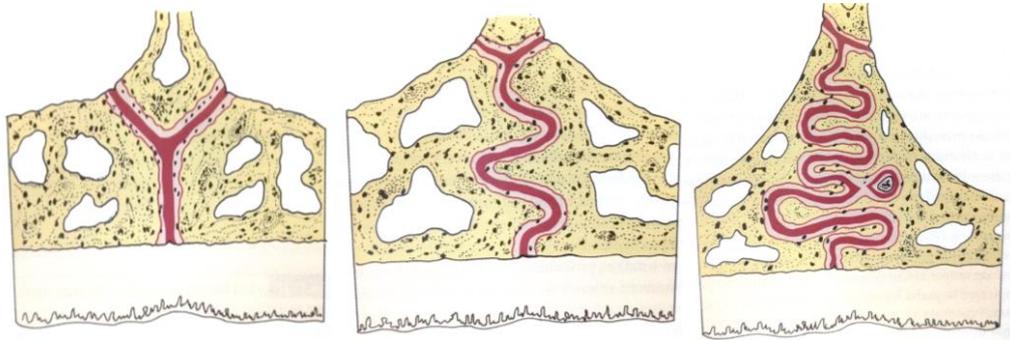


Fig. 39.- Grado de interdigitación de las suturas conforme avanza la edad.

La movilización dental no es deseable cuando lo que se pretende es modificar el crecimiento de alguna forma, pero es muy problemática cuando se intenta desplazar anteriormente el maxilar. El anclaje esquelético elimina por completo el movimiento dental no deseado, pero esto no debería entenderse como que no habría restricciones en la cantidad de cambios esqueléticos posibles. Después de todo, el crecimiento anterior parece estar muy controlado por la matriz de tejido blando en la que esta embebida la maxila. La experiencia clínica hasta la fecha sugiere que, sin intervención quirúrgica, no parece que vaya a producirse un desplazamiento anterior de la maxila de más de 4 – 5 mm.

4.2.- SOBRE LA MANDÍBULA.

Si la mandíbula, como sucede con el maxilar, crece fundamentalmente como respuesta al crecimiento de los tejidos blandos circundantes, debería ser posible alterar su crecimiento de forma muy parecida a como se hace con la maxila mediante retrusión posterior o tracción anterior. Esto es así hasta cierto punto, aunque el anclaje de la mandíbula al resto del esqueleto facial a través de la ATM es muy diferente al sistema de suturas de la maxila.

No debe sorprendernos que la respuesta de la mandíbula a las fuerzas transmitidas a la ATM también sea bastante diferente.

Restricción del crecimiento mandibular.

Las tentativas para restringir el crecimiento mandibular mediante la aplicación de una fuerza compresiva sobre el cóndilo mandibular nunca han dado resultados muy satisfactorios. Los experimentos con monos, en los que se puede emplear fuerzas bastante intensas y prolongadas, sugieren que las fuerzas restrictivas pueden detener el crecimiento mandibular y provocar una remodelación de la fosa temporal. La movilización dental no representa un problema importante, ya que las fuerzas se aplican sobre el mentón y no sobre los dientes inferiores. Las dificultades para utilizar este método en los niños pueden derivarse en sus deseos de cooperar, teniendo en cuenta la duración y la magnitud de las fuerzas necesarias (a menudo son inadecuadas y tienden a ser dolorosas).

Podemos decir que el control del crecimiento mandibular excesivo es un importante problema sin resolver en la Ortodoncia actual. En estos momentos, no podemos restringir el crecimiento mandibular con unos resultados ni remotamente parecidos a los que se obtienen con tratamientos similares en el maxilar.

Aumento del crecimiento mandibular.

Por otra parte, el cóndilo experimenta una traslación anterior, alejándose en el hueso temporal durante la función normal, y se puede traccionar de la mandíbula colocándola y manteniéndola en una posición de protrusión durante periodos prolongados con fuerzas moderadas y perfectamente tolerables. Si la teoría actual es correcta, esta medida debería estimular el crecimiento.

Si definimos la estimulación del crecimiento como una aceleración del mismo, de forma que la mandíbula crece más rápido mientras esta protruida, se puede demostrar que muchos pacientes experimentan una

estimulación del crecimiento. Si definimos la estimulación como la obtención, al finalizar el periodo de crecimiento, de una mandíbula con un tamaño mayor al que habría alcanzado sin el tratamiento, es mucho más difícil demostrar un efecto positivo. Muchos informes han encontrado que el tamaño final de la mandíbula es muy similar en pacientes tratados y no tratados.

Es posible que la forma exacta en que se mantiene adelantada la mandíbula fuera de la fosa tenga importancia a la hora de determinar la respuesta. Existen dos mecanismos para conseguir la protrusión. Uno de ellos es pasivo, es decir, la mandíbula se mantiene adelantada mediante un aparato ortodóncico. El otro es activo, esto es, el paciente responde al aparato empleando sus propios músculos (sobre todo el pterigoideo externo) para mantener la mandíbula adelantada. Se pensaba que la estimulación (activación) de los músculos era muy importante desde que se inició el tratamiento con aparatos funcionales, de aquí el nombre genérico de *funcional* y el más específico de *activador*.

Hasta cierto punto, el adelantamiento de la mandíbula activa la musculatura mandibular tanto de los elevadores como de los músculos menos potentes que intervienen en la protrusión. Algunos especialistas sostienen que es importante tomar la mordida constructiva para un aparato funcional adelantando la mandíbula solo unos milímetros, ya que de este modo se consigue la máxima activación muscular. Si se adelanta la mandíbula una distancia considerable, 1 cm o más, los músculos tienden a quedar eléctricamente silenciados en vez de activados. Sin embargo, los aparatos fabricados a partir de las mordidas constructivas tan exageradas pueden tener bastante eficacia clínica y pueden ser tan eficaces para modificar el crecimiento mandibular (y maxilar) como los fabricados con avances más reducidos. En resumen, no es necesaria la activación muscular para conseguir modificar el crecimiento. Lo que cabe preguntar es si la activación muscular mejora la eficacia de estos aparatos, no si es necesaria para su funcionamiento.

Cuando se protruye (o se retrae) la mandíbula, pueden producirse cambios en la ATM, tanto en el lado temporal como en el lado mandibular, debido a que la fosa articular se remodela posteriormente al tiempo que la mandíbula se alarga y en ocasiones el desplazamiento anterior de la articulación contribuye notablemente a la corrección de ciertos problemas esqueléticos. Sin embargo, no hay datos que sugieran que el adelantamiento de la zona de la ATM sea un factor importante en la respuesta clínica habitual a los aparatos funcionales.

Para mantener la mandíbula adelantada de forma pasiva, es necesaria una fuerza de varios cientos de gramos. Si la musculatura se relaja, la fuerza de reacción se distribuye por la maxila y por los dientes superiores e inferiores en la medida en que el aparato haga contacto con ellos. La restricción del crecimiento anterior del maxilar que se produce durante el tratamiento con aparatos funcionales es otra muestra de que no deben aplicarse fuerzas demasiado intensas que afecten a la maxila. Para potenciar los efectos esqueléticos y limitar los dentales, conviene mantener las fuerzas reactivas alejadas de los dientes en la medida de lo posible.

Desde esta perspectiva, el hecho de que el paciente utilice activamente su musculatura para adelantar la mandíbula o la haga descasar pasivamente en el aparato puede influir o no en el crecimiento mandibular, pero sí lo hace en el movimiento dental y puede determinar los efectos sobre el maxilar. La diferencia entre protrusión activa y pasiva se aprecia muy claramente en el aparato de Herbst, un aparato funcional fijo. Con este aparato, el cóndilo está desplazado anteriormente en todo momento, pero la intensidad de la fuerza que actúa sobre los dientes está controlada en gran medida por el propio paciente; este puede utilizar sus músculos para mantener la mandíbula adelantada, actuando el aparato solo como estímulo para que lo haga, o bien el aparato puede mantener la mandíbula adelantada pasivamente, sin ninguna contribución muscular. Si los músculos mantienen la mandíbula adelantada, los dientes apenas sufren alguna fuerza reactiva y se

desplazan muy poco; si la recolocación mandibular es totalmente pasiva, la fuerza que actúa sobre los dientes puede desplazarlos suficientemente.⁸

CAPÍTULO 5.- Placas activas.

Los aparatos removibles usado en la actualidad fueron desarrollados antes de la segunda guerra mundial. En aquel momento había dos elementos: la placa activa y el activador, el primero empleaba fuerzas del interior del aparato y el otro las musculares.²²

Como aparatos removibles, son denominados aquellos que pueden ser removidos por el paciente y utilizados de forma intermitente. Dentro de ellos están los aparatos funcionales, retenedores, mantenedores de espacio y muchos aparatos que pueden ser retirados de la boca. Sin embargo, hacemos aquí referencia a un tipo de aparatos removibles que poseen dos características que definen y determinan la denominación de placas activas:

1. *Placa* por ser una lámina o plancha que se superpone a dientes y mucosa alveolar y está confeccionada con material acrílico.
2. *Activa* por ejercer fuerzas mecánicas que directamente provocan el movimiento dentario.

5.1.- HISTORIA.

Parece ser que fue Kniesel, en 1836, el primer autor que describió una placa removible para mover dientes. Poco después, en 1848, el alemán Linderer recomendada, para corregir las “posiciones oblicuas” de los dientes, una placa de caucho vulcanizado en la que iban incluidos unas barras o resortes metálicos “para inducir presiones sobre las encías y las apófisis alveolares.”⁹

En el mismo periodo, el británico Robinson, presento una lámina de caucho con dos resortes helicoidales en posición transversal que trataban de abrir y separar los rebordes alveolares: posteriormente le añadió un arco labial, que cubría las caras labiales de los incisivos que hacían protrusión, para ensanchar las arcadas y situar los dientes en retrusión simultánea.⁹

Tiene importancia histórica la placa de Coffin, aquel entonces se hacía con alambra para cuerdas de piano.

Norman Kingsley, describió su placa para “saltar la mordida” en 1880. Fue el precursor de los modernos aparatos funcionales. Pierre Robin construyó en 1902 la primera placa hendida con un tornillo incorporado que él había diseñado. La placa tenía también una bisagra en el extremo posterior de la división para provocar una expansión excéntrica.

En Inglaterra J. H. Badcock describió en 1911 una placa de expansión con un eficiente tornillo diseñado por él, pero en las tres décadas siguientes estas placas fueron eclipsadas por los aparatos fijos de Edward H. Angle, que dominaron el mundo ortodóncico. Solo permaneció el contenedor de Hawley.²²

Ya en este siglo, es justo reconocer la extraordinaria aportación del austriaco Martin Schwarz, que amplió las posibilidades terapéuticas de lo que denominó y universalizó como “placa activa”.

En su acepción actual, la placa removible es un aparato que fácilmente se puede quitar al paciente, pero que está firmemente sujeto a los dientes de anclaje para ejercer una presión sobre ciertos dientes o grupos de dientes. Se construye con acrílico y alambre de acero inoxidable, hay que considerar para su descripción tres componentes fundamentales: la base acrílica, los ganchos de sujeción y los elementos activos.⁹

5.2.- INDICACIONES

Los aparatos removibles se llaman así porque son fácilmente extraídos de la boca por el propio paciente; este hecho tiene ciertas ventajas y algunas limitaciones, por lo que es oportuno apuntar las indicaciones de las placas removibles en comparación con el uso de otro tipo de aparatos mecánicos:

1. Desde un punto de vista genérico, las placas están indicadas para lo que en la clínica se conoce como pequeños “movimientos

ortodóncicos”. Son desplazamientos cortos de ciertos dientes para resolver problemas más bien circunscritos de malposición o mala alineación dentarias. Se puede aplicar tanto en terapéutica interceptiva como en correctiva, pero queda reducida a la indicación del caso de maloclusión local.

2. En casos de *compresión dentoalveolar*, simétrica o asimétrica, la incorporación de un tornillo a la placa permite la expansión de la arcada dentaria, sobre todo en la maxila; la prolongación delacrílico con aletas linguales facilita la concentración de la acción en áreas específicas.
3. Las *interferencias oclusales* en las que la interdigitación con los dientes antagonistas impide el movimiento del diente o dientes afectado es una indicación idónea para la placa con plano de mordida anterior o posterior. Al prevenir el contacto oclusal, y levantar la mordida, se facilita el desplazamiento dentario (por medio de resortes o arcos labiales) o la extrusión de dientes incluidos.

Junto a las posibilidades y ventajas también existen otras limitaciones en el uso de las placas, que vienen dictadas por su propio diseño:

- a) Al aplicar una fuerza en un punto de la corona provoca el *movimiento coronal*, pero no controla el desplazamiento labiolingual o mesiodistal de la raíz; consigue una inclinación simple de la corona que se vuelca en la dirección de la fuerza.
- b) Difícilmente se pueden corregir *giroversiones* en que se necesita aplicar un par de fuerzas, a menos que se retrate de incisivos en los que la forma aplanada de la corona permite ejercer una tracción doble y simultánea por labial y lingual.
- c) No tiene acción directa para *movimientos verticales* de intrusión o extrusión que exigen otro ritmo y control en la aplicación de las fuerzas.
- d) Al ser removibles es necesaria la *cooperación del paciente*, que puede prescindir del aparato a su entera voluntad. Aunque las

fuerzas intermitentes son siempre más fisiológicas y menos nocivas, hay ciertos movimientos que necesitan una acción continua e ininterrumpida.⁹

5.3.- COMPONENTES.

La placa activa contiene una cantidad de componentes básicos:

1. La base
2. Los retenedores
3. Elementos activos:
 - a) Arco vestibular
 - b) Resortes
 - c) Tornillos

El operador debe seleccionar una combinación de todos estos elementos a fin de construir el aparato para un tratamiento en particular. La elección se hace de acuerdo con los requerimientos del caso, las posibilidades mecánicas ofrecidas por las distintas partes y la preferencia del ortodoncista.

5.3.1.- LA BASE ACRÍLICA.

La base está hecha generalmente de acrílico y su objetivo principal es triple: 1) como base de operaciones para llevar todas las partes que trabajan, 2) para servir como anclaje, y 3) para ser una parte activa del aparato mismo, según lo indique el problema ortodóncico específico.

Como base de operaciones. La placa superior está en contacto con las caras palatinas de todos los dientes, excepto cuando se la recorta con algún fin especial. La colocación de tornillos para distintos objetivos de tratamiento, o la necesidad de estabilización, hacen que sea necesario cubrir todo el paladar.

Cuando hay una finalidad especial la placa puede extenderse cubriendo los dientes posteriores y formando bloques de mordida. Los límites de la placa

inferior están determinados por la altura del proceso alveolar. La retención depende de los retenedores y demás elementos del aparato ortodóncico en sí. La placa debe hacerse más gruesa en la zona alveolar inferior. Una placa moldeada en una zona retentiva de esta región podría ser imposible de insertar o dolorosa para los tejidos gingivales.

Como unidad de anclaje y parte activa o de trabajo. Su contacto con los dientes y el paladar aumenta decisivamente el anclaje obtenido con los retenedores y el arco vestibular. Las placas divididas por tornillos suministran anclaje además de servir como partes de trabajo. Otra parte de trabajo de la placa puede ser un plano de mordida construido en ella hasta nivel de la oclusión. El plano de mordida puede estar inclinado para formar un plano guía que tiene por objeto llevar la mandíbula hacia delante o contenerla en esa posición. El plano de mordida superior es un instrumento sumamente útil en el tratamiento de la alteración de la articulación temporomandibular (ATM), la enfermedad periodontal, el bruxismo y la sobremordida profunda.²² (Fig. 40)



Fig. 40.- Base acrílica de una placa activa²³

5.3.2.- GANCHOS/RETENEDORES

La aposición y adhesión de los tejidos, y la extensión del acrílico entre los dientes o por debajo de la zona de su mayor convexidad, aumentan el anclaje, pero rara vez son suficientes, casi todas las placas están fijadas a los dientes por medio de retenedores. El más antiguo y durante mucho tiempo el más usado es el gancho – flecha de A. M. Schwarz.²²

Los retenedores evitan el desplazamiento en cualquier sentido y contribuyen a lograr una mayor estabilidad. Algunos tipos de retenedores y más empleados en las placas activas son:

Gancho en punta de flecha: esta insertada entres dos dientes en contacto proximal, exactamente debajo de sus áreas de contacto.

*Gancho en punta de flecha modificado (Adams): está hecho para ajustar un solo diente y que no se calza por debajo de los puntos de contacto de dos dientes adyacentes.*²⁴

En los últimos años se ha dado a menudo preferencia a otros diseños de retenedores. Entre estos el gancho triangular es el más difundido. Similares en su acción son dos ganchos fabricados en forma industrial: retenedor de bola y el gancho perno flecha. Existe también el retenedor en ojalillo, similar al gancho triangular. Ocasionalmente puede utilizarse un retenedor circunferencial simple.

A pesar de las cualidades y de ser el gancho preferido por los ortodoncistas, el gancho Adams no debe ser de uso exclusivo, pues elegir el adecuado dependerá del tipo de tratamiento, características del paciente, cooperación de él, entre muchos factores más.²² (Fig. 41)



*Fig. 41.- Diferentes tipos de retenedores.*²⁵

5.3.3.- ARCO VESTIBULAR

El alambre o arco vestibular puede tener dos funciones: una ejemplificada por el contenedor de Hawley, es sostener la placa en su sitio y contener los dientes, o sea una función pasiva; la otra es servir como elemento activo para el movimiento de los dientes. No obstante, en esta función sirve también simultáneamente para estabilizar el aparato. La mayor parte del tiempo desempeña un doble papel: algunas partes del alambre contienen dientes y otras los mueven. Todo alambre vestibular, aun el de menor calibre, es capaz de ejercer una presión considerable, suficiente para provocar daños a la pulpa y a la zona periapical. El operador debe tener conciencia de ese hecho y recordar que el arco vestibular es la parte de los aparatos removibles, generalmente inocuos, que tiene más probabilidades de causar un daño irreparable.

Para producir retención del arco vestibular sigue generalmente el diseño del contenedor de Hawley, abarcando los seis dientes anteriores con sus brazos unidos alacrílico de la placa entre el canino y el primer premolar. El arco puede, no obstante, estar restringido a los cuatro incisivos o a cualquier parte del sector anterior, o puede extenderse hacia distal hasta el segundo premolar y aun el primer molar.²² (Fig. 42)



42.- Diferentes tipos de arcos vestibulares.²⁵

5.3.4.- RESORTES

La fuerza ortodóncica de la placa removible proviene de los resortes, tornillos o gomas elásticas. Los resortes son los elementos activos, contruidos con alambre, que producen, tras su activación, el movimiento dentario. La carga elástica del resorte se realiza mediante el desplazamiento a una posición próxima al lugar en que se desea mover el diente; al encajar la placa, el alambre queda sobre el diente y ejerce presión en una de sus caras.

La fuerza que ejerce el resorte es directamente proporcional a la distancia que existe entre la posición pasiva de carga y la posición activa en contacto dentario; es también proporcional al diámetro e inversamente proporcional a la longitud del alambre.⁹ (Fig. 43)

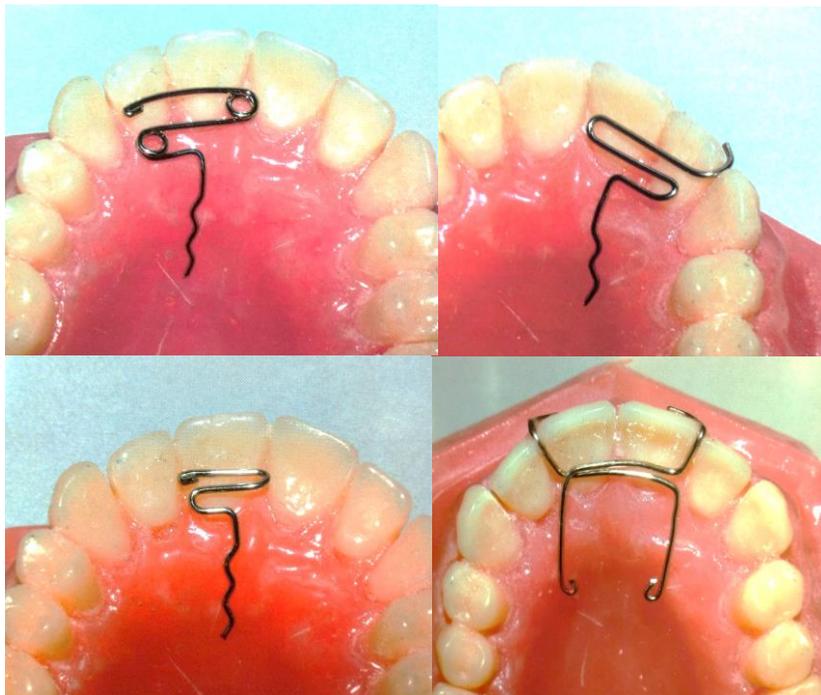


Fig. 43.- Diferentes tipos de resortes.²⁵

5.3.5.- TORNILLOS

La propia placa puede actuar como unidad activa cuando se divide en varios sectores que quedan unidos entre sí por tornillos o resortes metálicos; la sección de la placa tiene como objetivo aumentar o disminuir la distancia entre sus partes con lo que se consigue modificar el diámetro sagital o transversal del arco dentario.

De acuerdo con el sentido de corte, o apertura, las placas pueden servir como aparatos de:

- 1) Acción simétrica o asimétrica.
- 2) Contracción o expansión.
- 3) Expansión uniforme o en abanico.
- 4) Expansión doble o triple.

El tornillo de expansión que se usa en la actualidad es el de Fisher o variaciones de este. Consta de dos guías paralelas y una parte activa en el centro, con una tuerca y varios orificios para su activación. Al girar la tuerca con la llave, las dos mitades del cuerpo del tornillo se separan entre sí, moviendo los segmentos del acrílico. Una vuelta completa (360°) corresponde a una separación de 1 mm, equivalente a una expansión en la maxila de igual dimensión. La activación de un tope a otro hace girar el tornillo un cuarto de vuelta (90°), equivalente a la cuarta parte de 1 mm. La apertura máxima del tornillo es de 10 a 12 mm.⁹

5.3.5.1.- Unidireccional

Cuando solo deseamos producir expansión a nivel de algunos molares de un solo lado, podemos confeccionar un aparato de expansión unilateral, a sabiendas de que el movimiento a realizar es de expansión dentoalveolar. En algunas ocasiones, cubrir las caras oclusales de los molares puede facilitar el movimiento al destrabar la intercuspidación de los mismos.²⁶

Cuando el espacio de que dispone el tornillo es limitado para un movimiento distal, se facilita la construcción con tornillos especiales divididos en partes desiguales con toda la espiral de un solo lado; este tipo de tornillo posibilita un movimiento distal de hasta 8 mm.²² (Fig. 44)

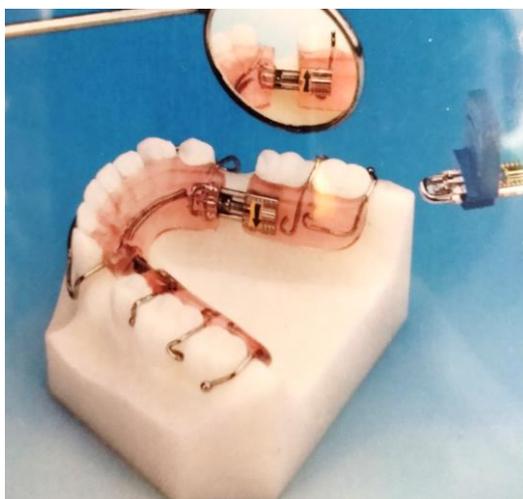


Fig. 44.- Tornillo unidireccional.²⁷

5.3.5.2.- Bidireccional

Cuando necesitamos corregir una mordida cruzada, ya sea unilateral o bilateral, podemos utilizar este tipo de expansiones. Es bueno hacer notar que la mayoría de las mordidas cruzadas posteriores son bilaterales, pero que, al ocluir el paciente, toma una posición de acomodamiento, desplazando la mandíbula lateralmente para producir algún engranaje entre sus dientes, por lo que al observarlo en oclusión probablemente veremos solo un lado cruzado; lo recomendable es hacer que el paciente cierre lentamente para observar la trayectoria de desplazamiento de los dientes y la posible desviación lateromandibular al ocluir.

El tornillo central deberá ubicarse a la altura de los primeros premolares, lo más profundo que sea posible hacia el paladar, paralelo al plano oclusal, y siguiendo la dirección del rafe medio. Dependiendo de la forma y profundidad del maxilar, pueden ser usado tornillos más anchos o más angostos.

Es importante tener en cuenta que, si se coloca algún arco vestibular, deberá mantenerse con una separación de 0.5 a 1 mm, ya que el arco, al activar el tornillo, ira comprimiendo a los incisivos, pudiendo producir una excesiva retrusión de los dientes anteriores o una vestibularización de los caninos que tienden a salirse por el espacio del asa canina del arco.²⁶ (Fig. 45)

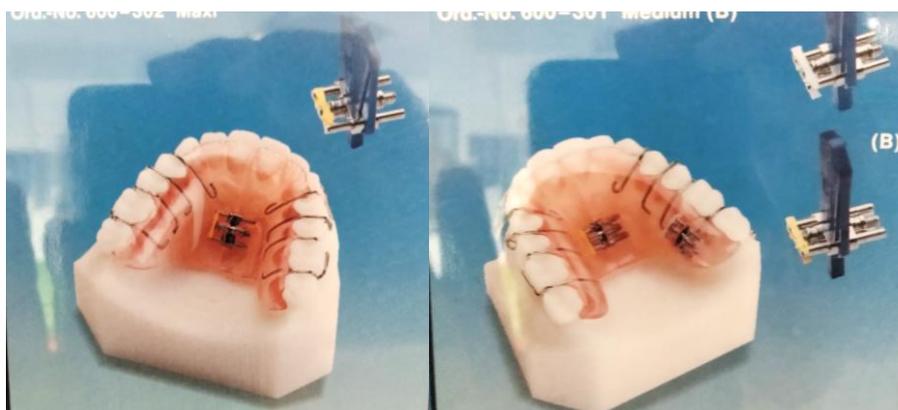


Fig. 45.- Tornillo bidireccional.²⁷

5.3.5.3.- Tridireccional

Con tres brazos independientes entre sí que se activan por separado; compuesto por un tornillo transversal de doble paso combinado con un tornillo protrusivo independiente para placas en forma de “Y”.²⁸ (Fig. 46)



Fig. 46.- Tornillo tridireccional.²⁷

5.3.5.4.- Expansión excéntrica /abanico

La placa superior hendida habitual puede adaptarse para su expansión simétrica mediante la incorporación de un trozo de alambre en el extremo distal de la placa dividida. Cuando se abre el tornillo, las dos partes de la placa se mantienen juntas en el extremo posterior. El tornillo permite cierta libertad y la placa puede abrirse hacia adelante en abanico unos 4 mm. Con un tornillo especial construido para este fin puede lograrse una apertura de 8 mm. El tornillo está formado por dos partes: una bisagra y un tornillo especial que permite una ligera rotación dentro del disco. Otra construcción incorpora la bisagra con el tornillo en una pieza. Esta última es más estable y las maniobras de laboratorio son más sencillas.

Para la expansión inferior excéntrica, se dispone de un tornillo diseñado por G. Müller. Pero la expansión tiene una ligera componente sagital. Esto produce una tendencia a expulsar los ganchos, que deben adaptarse en concordancia con esto.²² (Fig. 47).



Fig. 47.- Tornillo de abanico.²⁷

5.4.- ACTIVACIÓN

La mayoría de los tornillos de expansión producen 0.2 mm de apertura por cada cuarto de vuelta; la activación se repite, por término medio, una vez a la semana, lo que viene a significar una apertura de 1 mm al mes,

aproximadamente, y la intensidad de fuerzas aplicada a cada diente dependerá del número de dientes englobados en el desplazamiento.

El tornillo debe activarse una vez por semana. Hasta conseguir una armonía oclusal, o bien hasta el agotamiento del tornillo, lo cual conllevará a la confección de una nueva placa.⁹

5.5.- ANÁLISIS DE LA FUERZA APLICADA EN LAS PLACAS ACTIVAS.

Cuando se hace girar un tornillo 90°, la separación lograda es de 0.2 mm. Esto significa estrechar la membrana periodontal 0.1 mm de cada lado. Se ha argumentado que tan pequeña reducción del espacio no interrumpe la circulación sanguínea, creándose así las condiciones ortodóncicas ideales para la transformación ósea.

Existen evidencias clínicas que aseguran que el movimiento así realizado resulta inocuo y eficiente. No obstante, hay otros factores a tener en cuenta. A pesar del reducido tamaño de los tornillos ortodóncicos modernos, un aparato que contenga al menos uno es considerablemente más grueso que el que no lo contiene. A menos que se tenga especial cuidado durante la construcción, es fácil engrosar toda la bóveda palatina, aun cuando el tornillo esté situado a su lado.²⁴

Normalmente, el tornillo es activado en un cuarto de giro, semanalmente. El paciente percibe esta activación en la forma de rigidez y tensión del periodonto. Si los ajustes se realizan con intervalos demasiado cortos, al tratar de realizar expansión muy rápida, puede ser que el paciente experimente molestias y no use el aparato, o este sea difícil de insertar. En este sentido, los aparatos removibles con tornillos se autorregulan, siendo útiles en paciente cooperadores que no pueden ser controlados en plazos breves. Para facilitar su uso se debe marcar en el aparato una flecha en la dirección de la apertura y acordar un día y hora en la semana para que él o sus padres lo activen.²⁵

Los tornillos son milimétricos y cada un cuarto de vuelta al tornillo activa el aparato 0.25 mm, es decir, se activa 1 mm cada 4/4 de vuelta. Los tornillos son activados un cuarto de vuelta una o dos veces por semana, dependiendo del dolor y de la colaboración del paciente. Si el paciente no ha utilizado el aparato, se tendrá que desactivar el tornillo, lo que debe ser advertido al paciente y a sus padres y se deberá hacer constar en el expediente para que sepamos porque no adelante un tratamiento. Ésta es una manera sencilla para demostrar el uso del aparato por parte del paciente y una demostración para los padres de si este ha sido utilizado correctamente o no.²⁵

Se debe calcular la discrepancia dentoalveolar y la discrepancia cefalométrica para realizar el plan de tratamiento. A partir de este plan se decidirán las acciones que debe realizar la placa activa y a partir de los objetivos de la misma, realizar el diseño. Para expansión: se utilizan los tornillos de expansión en sus distintas variedades. Se debe tener muy en cuenta el corte de la resina según el movimiento que esté indicado. Para movimiento de incisivos se utilizarán los tornillos unidireccionales. Los resortes son muy útiles para movimientos vestibulares, mesiales y distales y los arcos vestibulares para movimientos linguales. Las rotaciones se pueden corregir combinando la acción de un arco vestibular con la acción de un resorte formando así un par de fuerzas.²⁹

CONCLUSIONES

- ✚ La historia de la ortodoncia y ortopedia craneofacial y la invención de las placas activas han evidenciado un importante desarrollo en la forma de brindar tratamientos más efectivos y rápidos; desde la placa con resorte de Coffin, el tornillo expansor de Angell, la placa activa de Martin Schwarz, hasta la incorporación de novedosos tornillos (aproximadamente 200 tornillos en el mercado actual).
- ✚ Saber el tipo de células y sustancias que intervienen en la biomecánica ortodóncica son importantes a la hora de hacer el diagnóstico de nuestro paciente pues si hay condiciones que no favorezcan el desarrollo de estos, será necesario modificar el tratamiento y con ello el pronóstico del paciente.
- ✚ Conocer las bases biológicas del movimiento dental brindan al clínico la posibilidad de hacer un correcto tratamiento ortodóncico en el que los movimientos dentales serán controlados y no provocarán daños al paciente.
- ✚ Hacer un correcto diagnóstico, selección de aditamentos, confección, control y activación de las placas activas se reflejan en un tratamiento rápido y efectivo donde paciente percibirá de manera satisfactoria su evolución y se motivará para su cooperación.
- ✚ Realizar la activación, un cuarto de vuelta una vez a la semana equivale a 0.25 mm (1 mm de ganancia al mes), es la forma correcta reportada en la literatura por Cannut, donde no se ocasionan daños al ligamento periodontal y se consigue una adecuada remodelación ósea, con ello, el tratamiento será más efectivo.
- ✚ La cooperación del paciente y de los padres es fundamental para llevar a cabo un tratamiento exitoso; el correcto uso de la placa activa, la higiene, compromiso con las indicaciones, activaciones periódicas por parte del clínico y una comunicación efectiva se reflejan en un paciente que mejorara su calidad de vida.

PROPUESTA

Por cuestiones de tiempo y personales, no fue posible realizar una aplicación experimental complementaria a este trabajo; se sugiere que en un futuro se realice una investigación bibliográfica y experimental como sería medir la fuerza que genera un cuarto de vuelta con cada uno de los diferentes tornillos reportados en esta tesina; esto nos permitirá conocer y asentar las bases para una buena aplicación y más efectiva para los alumnos del quinto año, egresados y Cirujanos Dentistas de práctica general, con dicha investigación se dará un reporte en la aplicación de las fuerzas adecuadas durante la aplicación de los diferentes tornillos empleados en las placas activas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Quirós Álvarez, O. Haciendo fácil la Ortodoncia. Caracas, Venezuela: AMOLCA; 2012
- 2.- Vargas Casillas A, Yáñez Ocampo B, Monteagudo Arrieta C. Periodontología e Implantología. México: Panamericana; 2016.
- 3.- Gómez de Ferraris M, Campos Muñoz A, Carda Batalla M, Carranza M, Sánchez Quevedo M. Histología, embriología e ingeniería tisular bucodental. Buenos Aires; Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2009.
- 4.- Yina Li, Laura A. Jacox, Shannyn H. Little, Ching-Chang Ko. Orthodontic tooth movement: The biology and clinical implications. Kaohsiung Journal of Medical Sciences (2018) 34, 207-214
- 5.- https://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_dentario
- 6.- <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/escolar/los-huesos-1500533.html>
- 7.- https://es.123rf.com/photo_47719979_el-proceso-de-remodelaci%C3%B3n-%C3%B3sea-implica-las-siguientes-etapas-resorci%C3%B3n-inversi%C3%B3n-formaci%C3%B3n-mineralizaci%C3%B3n-y-de-des.html
- 8.- Proffit W. Ortodoncia contemporánea. St. Louis, Mo.: Elsevier; 2013.
- 9.- Canut Brusola, J. Ortodoncia clínica y terapéutica. Ámsterdam: Elsevier-Masson; 2000
- 10.- Thelatinlibrary.com. (2019). Newton: Leges Motus from the Principia. [online] Available at: <http://www.thelatinlibrary.com/newton.leges.html> [Accessed 1 oct. 2019]

- 11.- Staley R, Reske N. Fundamentos en ortodoncia. Venezuela: AMOLCA; 2012.
- 12.- Vellini-Ferreira, F. Ortodoncia. Sao Pablo: Artes Médicas; 2004
- 13.- https://www.foyel.com/paginas/2015/09/1671/la_ortodoncia_como_parte_de_la_odontologia_veterinaria/
- 14.- D'Escriván de Saturno L, Torres C M. Ortodoncia en dentición mixta. Venezuela: Amolca; 2007.
- 15.- http://www.zonaortodoncia.com/aparatologia_remov.htm
- 16.- Graber L, Vanarsdall R, Vig K, Huang G. Ortodoncia, Principios y técnicas actuales. España: ElSevier; 2018
- 17.- J.C. Rivero Lesmes, F. Yeste Ojeda, A. Nogal Coloma. Biomecánica en ortodoncia transparente. Rev Esp Ortod. 2018; 48: 5-13
- 18.- Domínguez Camacho Angela, Velásquez Cujar Sergio Andres. Reevaluation of the Strain Pressure Theory: Toward a Better Understanding the Biology of Tooth Movement. Int. J. Odontostomat. 2017 June;11(2): 133-140.
- 19.- Moshabab A. Asiry. Biological aspects of orthodontic tooth movement: A review of literature. Saudi Journal of Biological Sciences 25 (2018) 1027–1032
- 20.- Jack J.G.M. Pilon, Anne M. Kuijpers-Jagtman, Jaap C. Maltha. Magnitude of orthodontic forces and rate tooth movement. An experimental study. Am J Orthod Dentofac Orthop 1996; 110:16-23.)
- 21.- Yijin Ren, Jaap C. Maltha, and Anne Marie Kuijpers-Jagtman (2003) Optimum Force Magnitude for Orthodontic Tooth Movement: A Systematic Literature Review. The Angle Orthodontist: February 2003, Vol. 73, No. 1, pp. 86-92.

- 22.- Graber T, Neuman B. Aparatología ortodóntica removible. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1990.
- 23.- <http://ortodonciatecnodent.com/placas-activas/>
- 24.- Águila F. Tratado de ortodoncia. Venezuela: Amolca (Actualidades Médico Odontológicas Latinoamericanas); 2000.
- 25.- Echarri Lobiondo P, Clark W. Tratamiento ortodóntico y ortopédico de primera fase en dentición mixta. Madrid: Ripano; 2009
- 26.- Quirós Álvarez O. Bases biomecánicas y aplicaciones clínicas en ortodoncia interceptiva. Caracas: AMOLCA; 2006.
- 27.- Dentaurum
- 28.- Cordero N. Elaboración del manual descriptivo de los procedimientos para la fabricación de la placa activa de Schwarz (tesina). México: UNAM, 2002.
- 29.- Escobar Muñoz F. Odontología pediátrica. Madrid: Ripajo; 2012.